การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

นางสาวปาลิดา ฉิมคล้าย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEMS ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE

Miss. Palida Chimklai

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering Program in Industrial Engineering

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์
โดย	นางสาวปาลิดา ฉิมคล้าย
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปาลิดา ฉิมคล้าย : การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ (APPLICATION OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEMS ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ.ดร. ปารเมศ ชุติมา, 732 หน้า.

สายการประกอบแบบสองด้านใช้กันมากในสายการประกอบผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น ซึ่งในสายการประกอบแบบนี้จะมีการทำงานทั้งด้านซ้าย (Left) และด้านขวา (Right) ของชิ้นงาน ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน เป็นปัญหา NP-Hard ซึ่งยากต่อการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้น

งานวิจัยนี้ได้นำเสนออัลกอริทึมใหม่ สำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ วิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) และทำการพัฒนาโดยใช้ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) โดยวัตถุประสงค์ที่พิจารณามี 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับวิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค จากผลการทดสอบพบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบดีกว่าอัลกอริทึมอื่น

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ปาลิดา ฉิมคล้าย

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2553

5170380421 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : PARTICLE SWARM OPTIMIZATION / GENETIC ALGORITHM / ASSEMBLY LINE BALANCING / TWO-SIDED ASSEMBLY LINE / MULTI-OBJECTIVES

PALIDA CHIMKLAI : APPLICATION OF PARTICLE SWARM OPTIMIZATION ALGORITHM FOR MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEMS ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 732 pp.

Two-sided assembly lines are typically found in the production of large-sized products, such as automobiles and trucks. Two-sided assembly lines use both (left and right) sides of the line in parallel. Two-sided Assembly Line Balancing Problems (TALBP) is classified in an NP-Hard class; therefore it is difficult to obtain an optimal solution when the problem size increases.

The objective of this research was to evaluate the performance of a new evolutionary method called Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge (PSONK) and Local Search. This approach was applied to multi-objectives on mixed-model TALBP. Four objectives were considered including minimum number mated-stations, minimum number workstations, minimum work relatedness and minimum workload balance between workstations.

The performance of PSONK was compared with COMSOAL, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), Memetic Algorithm (M-NSGA-II), COIN, and Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO). The experimental results show that PSONK gives the best solutions for large-sized problems.

Department : Industrial Engineering Student's Signature ปาลิดา จิมคลาย

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถสำเร็จลุล่วงได้ ด้วยคำแนะนำและความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา ผู้เป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นต่างๆ ด้วยความรักและเอาใจใส่ตลอดเวลาการดำเนินงานวิจัย รวมทั้งได้รับความกรุณาจาก ประธานสอบวิทยานิพนธ์ ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และรองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย ริจิรวนิช ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณทุกท่านไว้ ณ โอกาสนี้

ขอขอบคุณ เพ็ญพักตร์ ปิ่นกุมภีร์ และ ภาณุวัฒน์ โอฬารวิวัฒน์ชัย สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกๆ ด้าน รวมทั้งทีมงานที่ช่วยเหลือซึ่งกันและกันมาโดยตลอด

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ที่คอยให้กำลังใจ เอาใจใส่และสนับสนุนผู้วิจัยด้วยความรัก ตลอดระยะเวลาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฐ

สารบัญภาพ..... ศ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขั้นตอนการวิจัย..... 3

1.4 ขอบเขตการวิจัย..... 3

1.5 ลักษณะปัญหา..... 5

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 7

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย..... 7

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป..... 9

2.2 ลักษณะของสายการประกอบแบบเส้นตรง..... 9

2.3 ลักษณะของสายการประกอบแบบสองด้าน..... 10

2.4 ประเภทของสายการประกอบ..... 11

2.5 หลักการจัดสมดุลสายการประกอบ..... 14

2.6 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ..... 16

2.7 หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสม..... 19

2.8 ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 21

2.9 การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 23

2.10 การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด..... 26

บทที่ หน้า

2.11 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 29
2.12 สรุปท้ายบท..... 37

3 ทฤษฎีเกี่ยวกับ COMSOAL และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 38
3.1 วิธี COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line)..... 38
3.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 39
3.3 ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 40
3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธี COMSOAL..... 53
3.5 สรุปท้ายบท..... 54

4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 55
4.1 เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GAs)..... 55
4.2 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 58
4.3 ตัวอย่างการนำวิธี NAGAII ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 62
4.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม 94
4.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)..... 95
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 97
4.7 สรุปท้ายบท..... 112

5 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 113
5.1 การค้นหาเฉพาะที่..... 113

บทที่ หน้า

5.2 เมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithms : MAs) 119
5.3 ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 120
5.4 ตัวอย่างการนำวิธี M-NSGA-II ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 124
5.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม… 169
5.6 สรุปท้ายบท..... 170

6 ทฤษฎีเกี่ยวกับอัลกอริทึมการบรรจวบ และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 172
6.1 อัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence : COIN)..... 172
6.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 179
6.3 ตัวอย่างการนำวิธี COIN ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 182
6.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ 208
6.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)..... 209
6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 210
6.7 สรุปท้ายบท..... 223

7 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 225
7.1 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization).... 225
7.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 233

บทที่ หน้า

7.3 ตัวอย่างการนำวิธี DPSO ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 236
7.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 254
7.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)..... 255
7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 256
7.7 สรุปท้ายบท..... 263

8 การพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้ความรู้เชิงลบ และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 264
8.1 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK)..... 264
8.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 274
8.3 ตัวอย่างการนำวิธี PSONK ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 278
8.4 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) 317
8.5 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 318
8.6 ตัวอย่างการนำวิธี PSONK ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 321

บทที่ หน้า

8.7 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่..... 372
8.8 สรุปท้ายบท..... 374

9 การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 375
9.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 375
9.2 การค้นหาคำตอบของปัญหา 12 ขั้นงาน..... 380
9.3 การค้นหาคำตอบของปัญหา 65 ขั้นงาน..... 393
9.4 การค้นหาคำตอบของปัญหา 148 ขั้นงาน..... 410
9.5 การค้นหาคำตอบของปัญหา 205 ขั้นงาน..... 427
9.6 การค้นหาคำตอบของปัญหา 183 ขั้นงาน..... 446
9.7 สรุปท้ายบท..... 451

10 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 454
10.1 สรุปงานวิจัย..... 454
10.1.1 ลักษณะของปัญหา..... 454
10.1.2 การประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม..... 454
10.1.3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ..... 457
10.1.4 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 458
10.1.5 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์..... 461
10.1.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหา..... 464
10.2 ข้อเสนอแนะ..... 465

รายการอ้างอิง..... 466

บทที่ หน้า

ภาคผนวก..... 474
ภาคผนวก ก รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง..... 475
ภาคผนวก ข ผลการทดลอง..... 498
ภาคผนวก ค ผลวิเคราะห์การทดลอง..... 703
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ..... 723
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 732

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย......................................	4
3.1	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน.........................	42
3.2	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).......................	43
3.3	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)……….	44
3.4	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1…….................……...............................……….	44
3.5	การจัดสรรงานลงสถานีงานสำหรับลำดับขั้นงานที่ 1……..............................	45
3.6	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์………...................................	48
3.7	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)	49
3.8	การเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุด…...........................…......................................	50
3.9	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์…...	50
3.10	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)	51
3.11	การรวมสตริงคำตอบ….........................…..	52
3.12	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)	53
3.13	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด…...........................…..	53
4.1	ตัวอย่างกลุ่มสตริงคำตอบและค่าความเหมาะสม…......................................	57
4.2	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน….....................	63
4.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).......................	63
4.4	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)……….	66
4.5	การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1..	67
4.6	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์..	68
4.7	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)..	69
4.8	การเรียงลำดับค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 ใน Front ที่ 1..	69
4.9	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ..	70
4.10	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)................................	71
4.11	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน..	72
4.12	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ..............	73
4.13	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์..............................	74

ตารางที่		หน้า
4.14	ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	77
4.15	สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน.....	78
4.16	สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	79
4.17	ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูกที่การรวมกัน....	80
4.18	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	80
4.19	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	81
4.20	เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance.....	82
4.21	สตริงคำตอบรุ่นลูกที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป.....	82
4.22	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์.....	83
4.23	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	84
4.24	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	85
4.25	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	85
4.26	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	86
4.27	ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	89
4.28	สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน.....	90
4.29	สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	90
4.30	ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ทำการรวมกัน	91
4.31	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	91
4.32	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	92
4.33	เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance.....	93
4.34	สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป.....	93
4.35	รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	96
4.36	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	100
4.37	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	102
4.38	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	105
4.39	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	108
4.40	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.....	111

ตารางที่		หน้า
4.41	พารามิเตอร์สำหรับแต่ละปัญหา.....	112
5.1	หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria).....	118
5.2	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน.....	125
5.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).....	125
5.4	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์.....	128
5.5	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	129
5.6	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	129
5.7	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	130
5.8	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	131
5.9	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	131
5.10	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	131
5.11	ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	133
5.12	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่.....	133
5.13	หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria).....	134
5.14	สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	134
5.15	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์.....	135
5.16	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่.....	136
5.17	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	136
5.18	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	137
5.19	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	138
5.20	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	138
5.21	ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	141
5.22	สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน.....	142
5.23	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	143
5.24	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	143
5.25	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	144
5.26	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	145
5.27	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....	145

ตารางที่ หน้า

5.28 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 145

5.29 ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 147

5.30 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่..... 147

5.31 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)..... 148

5.32 สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 148

5.33 การรวมสตริงคำตอบ..... 149

5.34 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ..... 149

5.35 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์..... 150

5.36 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ..... 151

5.37 เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance..... 151

5.38 สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป..... 152

5.39 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์..... 153

5.40 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ..... 154

5.41 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)..... 154

5.42 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน..... 155

5.43 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ..... 156

5.44 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์..... 156

5.45 ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน..... 159

5.46 สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน..... 160

5.47 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ..... 160

5.48 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)..... 161

5.49 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน..... 161

5.50 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ..... 162

5.51 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 162

5.52 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 162

5.53 ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน..... 164

5.54 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่..... 164

ตารางที่		หน้า
5.55	หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)….	165
5.56	สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....	165
5.57	การรวมสตริงคำตอบ.....	166
5.58	ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ.....	166
5.59	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์.....	167
5.60	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	168
5.61	สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป.....	168
6.1	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน.....	174
6.2	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางเริ่มต้น.....	174
6.3	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางหลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดี.....	178
6.4	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางหลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่.....	179
6.5	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน.....	183
6.6	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).....	183
6.7	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)…..	184
6.8	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix).....	185
6.9	การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน……..	186
6.10	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)……	187
6.11	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1.....	188
6.12	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์.....	189
6.13	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	190
6.14	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่.....	190
6.15	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี.....	193
6.16	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี.....	194
6.17	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่.....	195

ตารางที่		หน้า
6.18	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่	197
6.19	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด	198
6.20	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์	198
6.21	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	199
6.22	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่	200
6.23	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี	201
6.24	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี	203
6.25	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่	204
6.26	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่	206
6.27	การรวมสตริงคำตอบ	206
6.28	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	207
6.29	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด	207
6.30	รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในอัลกอริทึมการบรรจวบ	210
6.31	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ	212
6.32	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ	215
6.33	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ	218
6.34	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ	221
6.35	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ	223
6.36	พารามิเตอร์สำหรับแต่ละปัญหา	224
7.1	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน	227
7.2	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม	227
7.3	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบที่ 1 $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$	229
7.4	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบที่ 5 $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$	229
7.5	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มที่ 1	231

ตารางที่ หน้า

7.6 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มที่ 2..... 231
7.7 ตารางตำแหน่งของกลุ่มที่ 1..... 231
7.8 ตารางตำแหน่งของกลุ่มที่ 2..... 231
7.9 ตาราง Sigmoid ของกลุ่มที่ 1..... 232
7.10 ตาราง Sigmoid ของกลุ่มที่ 2..... 232
7.11 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน..... 237
7.12 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)..... 237
7.13 ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1..... 238
7.14 ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 2..... 239
7.15 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1..... 240
7.16 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์..... 241
7.17 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร..... 242
7.18 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด..... 243
7.19 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1..... 243
7.20 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2..... 244
7.21 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 1..... 244
7.22 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 2..... 245
7.23 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1..... 245
7.24 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2..... 246
7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์..... 247
7.26 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1..... 248
7.27 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2..... 249
7.28 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร..... 250
7.29 การรวมสตริงคำตอบ..... 251
7.30 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1..... 251
7.31 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2..... 252
7.32 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 1..... 252
7.33 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 2..... 253
7.34 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1..... 253

ตารางที่		หน้า
7.35	ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2.....	254
7.36	รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	256
7.37	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	257
7.38	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	259
7.39	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	260
7.40	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	262
7.41	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	263
8.1	ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน.....	266
8.2	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางเริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม.....	266
8.3	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม.....	266
8.4	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดีในส่วน Local……	271
8.5	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่ในส่วน Local…..	271
8.6	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดีในส่วน Global…..	272
8.7	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่ในส่วนGlobal….	273
8.8	ตารางความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของกลุ่มที่ 1 หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบ.....	273
8.9	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน.....	279
8.10	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)….....	279
8.11	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)…..	280
8.12	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix).....	280
8.13	การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน.....	281
8.14	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).....	282
8.15	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)….....	283

ตารางที่		หน้า
8.16	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1	284
8.17	การจัดสรรงานลงสถานีงาน	285
8.18	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์	286
8.19	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1	288
8.20	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1	288
8.21	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2	289
8.22	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2	289
8.23	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร	291
8.24	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร	291
8.25	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด	291
8.26	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1	293
8.27	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1	294
8.28	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	294
8.29	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	295
8.30	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1	298
8.31	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1	300
8.32	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	301
8.33	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	302
8.34	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1	302
8.35	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2	303
8.36	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์	304

ตารางที่		หน้า
8.37	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1...	305
8.38	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2.....	307
8.39	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2.....	307
8.40	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร.....	308
8.41	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร.....	308
8.42	การรวมสตริงคำตอบ.....	309
8.43	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบ.....	309
8.44	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	310
8.45	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1.....	311
8.46	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1.....	311
8.47	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	311
8.48	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	312
8.49	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1.....	313
8.50	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1.....	314
8.51	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	315
8.52	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	316
8.53	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1.....	316
8.54	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2.....	317
8.55	เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน.....	322
8.56	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix).....	322
8.57	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix).....	323

ตารางที่		หน้า
8.58	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix).....	324
8.59	สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ ของฝูงที่ 1 ก่อนนำไปซ่อมแซมคำตอบ	327
8.60	สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ของฝูงที่ 2 ก่อนนำไปซ่อมแซมคำตอบ	328
8.61	สตริงคำตอบหลังการซ่อมแซมของฝูงที่ 1.....	329
8.62	สตริงคำตอบหลังการซ่อมแซม ของฝูงที่ 2.....	330
8.63	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ ของฝูงที่ 1.....	331
8.64	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ ของฝูงที่ 2.....	332
8.65	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1.....	334
8.66	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1.....	335
8.67	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2.....	336
8.68	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2.....	337
8.69	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร.....	337
8.70	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร.....	338
8.71	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	339
8.72	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1.....	341
8.73	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1.....	343
8.74	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	343
8.75	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	344
8.76	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1.....	346
8.77	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1.....	348
8.78	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ.....	349

ตารางที่		หน้า
8.79	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	350
8.80	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1	350
8.81	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2	351
8.82	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์	352
8.83	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1	352
8.84	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2	353
8.85	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร	353
8.86	การรวมสตริงคำตอบ	354
8.87	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบ	355
8.88	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด	355
8.89	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1	356
8.90	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1	356
8.91	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	357
8.92	ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	357
8.93	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1	359
8.94	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1	359
8.95	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	360
8.96	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ	361
8.97	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1	361

ตารางที่		หน้า
8.98	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2.....	362
8.99	สตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่.....	362
8.100	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่.....	363
8.101	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ.....	364
8.102	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ.....	365
8.103	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 1	365
8.104	หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)….....	366
8.105	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ.....	367
8.106	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ.....	367
8.107	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 2	368
8.108	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ.....	368
8.109	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ.....	368
8.110	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 3	369
8.111	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ.....	369
8.112	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ.....	369
8.113	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 4	370
8.114	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ.....	370
8.115	สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ.....	370
8.116	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 5	371
8.117	สตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	371
9.1	รายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย.....	375
9.2	ผลการวิเคราะห์จำนวนเจนเนอเรชัน.....	379

ตารางที่		หน้า
9.3	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	380
9.4	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	380
9.5	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	380
9.6	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	381
9.7	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	381
9.8	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	381
9.9	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	382
9.10	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	383
9.11	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5	383
9.12	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	384
9.13	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	384
9.14	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	384
9.15	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	385
9.16	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	385

ตารางที่		หน้า
9.17	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	385
9.18	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	386
9.19	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	387
9.20	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7	387
9.21	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	388
9.22	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	388
9.23	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	389
9.24	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	389
9.25	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	389
9.26	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	390
9.27	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	390
9.28	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	391
9.29	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8	392
9.30	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	393

ตารางที่		หน้า
9.31	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	393
9.32	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	394
9.33	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	394
9.34	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	395
9.35	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	395
9.36	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	395
9.37	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	397
9.38	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326	397
9.39	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	398
9.40	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	399
9.41	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	399
9.42	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	400
9.43	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	400
9.44	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490	401

ตารางที่ หน้า

9.45 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 401
9.46 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 402
9.47 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 403
9.48 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 404
9.49 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 404
9.50 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 405
9.51 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 405
9.52 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 406
9.53 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 406
9.54 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 407
9.55 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 408
9.56 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 65 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 409
9.57 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 410
9.58 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 410

ตารางที่		หน้า
9.59	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	411
9.60	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	411
9.61	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	412
9.62	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	412
9.63	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	413
9.64	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	414
9.65	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204	415
9.66	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	416
9.67	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	416
9.68	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	416
9.69	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	417
9.70	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	417
9.71	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	418
9.72	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	418

ตารางที่		หน้า
9.73	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	419
9.74	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306	420
9.75	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	421
9.76	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	421
9.77	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	422
9.78	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	422
9.79	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	423
9.80	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	423
9.81	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	424
9.82	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	425
9.83	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408	426
9.84	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	427
9.85	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	427
9.86	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	428

ตารางที่		หน้า
9.87	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	429
9.88	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	429
9.89	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	430
9.90	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	431
9.91	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	432
9.92	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888	433
9.93	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	434
9.94	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	434
9.95	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	434
9.96	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	435
9.97	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	436
9.98	คำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	436
9.99	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	437
9.100	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	438

ตารางที่		หน้า
9.101	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266	439
9.102	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	440
9.103	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	441
9.104	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	441
9.105	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	442
9.106	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	442
9.107	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	443
9.108	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	443
9.109	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	444
9.110	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454	445
9.111	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22	446
9.112	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22	446
9.113	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22	446
9.114	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22	447

ตารางที่		หน้า
9.115	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22.....	447
9.116	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22.....	448
9.117	กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22.....	448
9.118	true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22.....	450
9.119	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22.....	450
9.120	การเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม.....	453

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ก่อนหลังของภาระงาน.....	10
2.2	คำตอบที่เหมาะสมในกรณีสายการประกอบแบบเส้นตรง.....	10
2.3	คำตอบที่เหมาะสมในสายการประกอบแบบสองด้าน.....	10
2.4	ประเภทของสายการประกอบ แยกตามจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์.....	12
2.5	ผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ.....	14
2.6	ผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดและความแตกต่างของวัตถุประสงค์.....	15
2.7	การจำแนกกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน.....	17
2.8	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์.....	18
2.9	การจำแนกกลุ่มและความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์.....	19
2.10	การค้นหาพื้นที่คำตอบในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	23
2.11	วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting….....	25
2.12	Crowding Distance.....	26
3.1	ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL.....	40
3.2	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน.....	41
3.3	สายการประกอบแบบสองด้าน.....	46
3.4	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting……....	49
3.5	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting.....	51
3.6	การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	52
4.1	ขั้นตอนพื้นฐานของเจนเนติกอัลกอริทึม.....	56
4.2	การรีโปรดักชันอย่างง่ายด้วยวงล้อรูเล็ต.....	58
4.3	ขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II.....	61
4.4	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน.....	62
4.5	การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น.....	64
4.6	สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงาน.....	65

ภาพที่		หน้า
4.7	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting.....	68
4.8	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	72
4.9	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2.....	75
4.10	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4.....	76
4.11	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 3.....	78
4.12	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5.....	78
4.13	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบ	81
4.14	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting.....	84
4.15	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	85
4.16	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 2, 3.....	87
4.17	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 4.....	88
4.18	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 1.....	89
4.19	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 2.....	89
4.20	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบ	92
4.21	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	98
4.22	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	99
4.23	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	99
4.24	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	100
4.25	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	101

ภาพที่		หน้า
4.26	กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	101
4.27	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	102
4.28	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	103
4.29	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	103
4.30	กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	104
4.31	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	104
4.32	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	105
4.33	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	106
4.34	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	106
4.35	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	107
4.36	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	107

ภาพที่		หน้า
4.37	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	108
4.38	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	109
4.39	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	109
4.40	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	110
4.41	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	110
4.42	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	111
5.1	การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt.....	115
5.2	การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 3-Opt.....	115
5.3	การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี Or-Opt.....	116
5.4	การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี Double-Bridge.....	116
5.5	ขั้นตอนพื้นฐานของเมมเมติกอัลกอริทึม และเจนเนติกอัลกอริทึม.....	120
5.6	ขั้นตอนการทำงานของ M-NSGA-II.....	123
5.7	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน.....	124
5.8	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting.....	128
5.9	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	130
5.10	การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1.....	132
5.11	การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2.....	132
5.12	การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3.....	132
5.13	การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4.....	132
5.14	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting.....	135
5.15	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน.....	137

ภาพที่		หน้า
5.16	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2	139
5.17	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4	140
5.18	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 4	141
5.19	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5	141
5.20	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน	144
5.21	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 1	146
5.22	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 2	146
5.23	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 3	146
5.24	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 4	146
5.25	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting	150
5.26	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting	153
5.27	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน	155
5.28	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2	157
5.29	การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4	158
5.30	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 3	159
5.31	การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5	159
5.32	วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน	161
5.33	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 1	163
5.34	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 2	163
5.35	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 3	163
5.36	การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 4	164
5.37	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting	167
6.1	ลักษณะพื้นที่ของคำตอบที่ใช้ในงานวิจัยในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์	172
6.2	ขั้นตอนพื้นฐานของอัลกอริทึมการบรรจวบ	173
6.3	ขั้นตอนการทำงานของ COIN	181

ภาพที่		หน้า
6.4	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน	182
6.5	วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน	186
6.6	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting	189
6.7	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting	199
6.8	การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ	207
6.9	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set	211
6.10	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement	211
6.11	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution	212
6.12	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set	213
6.13	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set	214
6.14	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement	214
6.15	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution	215
6.16	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set	215
6.17	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set	216
6.18	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement	216
6.19	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution	217

ภาพที่		หน้า
6.20	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	217
6.21	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	218
6.22	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	219
6.23	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	219
6.24	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	220
6.25	กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	220
6.26	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set.....	221
6.27	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement.....	222
6.28	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	222
7.1	ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	226
7.2	ขั้นตอนการทำงานของ DPSO.....	235
7.3	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน.....	236
7.4	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของประชากร.....	242

ภาพที่ หน้า

7.5 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 248
7.6 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 249
7.7 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของประชากร 250
7.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set 257
7.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set 258
7.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement 258
7.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution 259
7.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set 260
7.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set 261
7.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement 261
7.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution 261
7.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set 262
8.1 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ .. 265
8.2 ขั้นตอนการทำงานของ PSONK 277
8.3 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน 278

ภาพที่		หน้า
8.4	วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน.....	282
8.5	สายการประกอบแบบสองด้าน.....	285
8.6	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4.....	287
8.7	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6.....	287
8.8	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4.....	288
8.9	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6.....	289
8.10	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4	290
8.11	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6	290
8.12	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	305
8.13	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4.....	306
8.14	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6.....	306
8.15	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4	307
8.16	ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6	308
8.17	การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	309
8.18	ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่.....	320
8.19	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน.....	321

ภาพที่ หน้า

8.20 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-1..... 325
8.21 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-2..... 325
8.22 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-3..... 325
8.23 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-1..... 326
8.24 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-2..... 326
8.25 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-3..... 326
8.26 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4……. 333
8.27 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6..... 334
8.28 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4..... 335
8.29 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6..... 336
8.30 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ..... 354
8.31 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 1.. 363
8.32 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 2.. 363
8.33 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 3.. 364
8.34 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 4.. 364
8.35 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 1.. 366
8.36 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 2.. 366
8.37 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 3.. 367
8.38 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 4.. 367

ภาพที่ หน้า

9.1 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 12 ขั้นงาน..... 376
9.2 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 65 ขั้นงาน..... 377
9.3 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 148 ขั้นงาน..... 377
9.4 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 205 ขั้นงาน..... 378
9.5 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 183 ขั้นงาน..... 379
9.6 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5..... 382
9.7 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7..... 386
9.8 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8..... 391
9.9 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326..... 396
9.10 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 4 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 9 สถานีงาน..... 396
9.11 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490..... 402
9.12 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544..... 408
9.13 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204..... 413
9.14 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 14 สถานีงาน..... 414
9.15 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306..... 419
9.16 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408..... 424

ภาพที่ หน้า

9.17 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888..... 432
9.18 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266..... 438
9.19 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454..... 444
9.20 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22..... 449
9.21 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 22 สถานีงาน..... 449
9.22 ตัวอย่างการลู่เข้าของกลุ่มคำตอบในแต่ละเจนเนอเรชัน..... 452

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันสูง หนึ่งในนั้นคืออุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ เนื่องจากความต้องการของลูกค้ามีความหลากหลาย จึงทำให้ต้องมีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์อยู่เสมอ ดังนั้นระบบการผลิตจึงต้องมีความยืดหยุ่นสูง สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมจึงมีความสำคัญเพื่อที่จะสามารถประกอบรถยนต์ที่มีความหลากหลายทั้งโมเดล สี และทางเลือกต่างๆ ได้ในสายการผลิตเดียวกัน

สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-sided Assembly Lines) เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก โดยสายการประกอบแบบสองด้านจะมีการทำงานทั้งด้านซ้าย (Left-Side) และด้านขวา (Right-Side) ซึ่งสายการประกอบจะมีลักษณะการทำงานแบบขนานกัน ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับสายการประกอบเส้นตรงแล้ว สายการประกอบแบบสองด้านนั้นจะมีสายการผลิตสั้นกว่า โดยสามารถลดเวลาการผลิต ลดต้นทุนของเครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ในการติดตั้งซึ่งสามารถใช้ร่วมกันได้ระหว่างคู่สถานีงาน (Mated-Station) และลดจำนวนเวลาในการเริ่มเครื่อง (Set-up Time) (Lee, Kim and Kim, 2001) ซึ่งการที่จะแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ให้มีประสิทธิภาพ สามารถตอบสนองความต้องการได้แท้จริงนั้น จำเป็นต้องมีการพิจารณาองค์ประกอบและวัตถุประสงค์ต่างๆ ประกอบกัน เช่น การหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด การหาจำนวนเวลาว่างงานน้อยที่สุด การหาผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด หรือการหาความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งการที่จะพิจารณาวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์พร้อมกันนั้นมีความยุ่งยากและซับซ้อนเป็นอย่างมาก เนื่องจากปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมเป็นปัญหา NP-hard แบบ Combinatorial Optimization โดยการแก้ปัญหาจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเพิ่มขึ้น เมื่อขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น จากการสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน พบว่า มีการประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) (Kim, Kim and Kim, 2000), การประยุกต์ใช้วิธี branch-and-bound (Wu et al., 2008), การประยุกต์ใช้ Enumerative Algorithm (EA) (Xiaofeng, Erfei and Ye, 2008), และวิธี Ant Colony Heuristic (ACH) ภายใต้ข้อจำกัดการจัดสรรพื้นที่ และข้อจำกัดของตำแหน่ง (Baykasoglu and Dereli, 2008), การประยุกต์ใช้ Goal Programming และ Fuzzy Goal Programming (Ozcan and Toklu, 2009a) และการ

ประยุกต์ใช้ Genetic Algorithm (GA) ภายใต้ปัญหาประเภทที่ 2 (Kim, Song and Kim, 2009) ซึ่งล้วนแล้วแต่เป็นการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านภายใต้วัตถุประสงค์เพียงหนึ่งวัตถุประสงค์เท่านั้น จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ขึ้น โดยมีการเสนอวิธีการหาคำตอบแบบ Tabu Search (TS) โดยมีตัววัดผล คือ Line Efficiency (LE) และ Smoothness Index (SI) จากผลการเปรียบเทียบคำตอบกับ GA, GAPR, EA และ ACO พบว่า GA ให้คำตอบที่ดีที่สุด (Ozcan and Toklu, 2009b)

ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ภายใต้ปัญหาประเภทที่ 1 (Type I Problem) ซึ่งเป็นการจัดสรรงานลงในสถานีงานให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด เมื่อมีการกำหนดรอบเวลาการทำงาน โดยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ซึ่งเป็นวิธีใหม่ ที่มีแนวคิดมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนก ซึ่งพัฒนาโดย Kennedy and Eberhart (1995) โดยใช้หลักการการจดจำคำตอบที่ดีที่ได้พบ ซึ่งจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วิธี PSO ให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับ GA (Liao, Tseng and Luarn, 2007) งานวิจัยนี้จึงได้ทำการพัฒนาวิธี PSO ให้ดีขึ้น โดยการนำความรู้เชิงลบเข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้กระบวนการค้นหาคำตอบหลีกเลี่ยงการมุ่งไปสู่คำตอบที่ไม่ดี โดยมีชื่อเรียกว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งอาศัยหลักการความน่าจะเป็นในการหาคำตอบ โดยงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อให้มีจำนวนคู่สถานีงานและจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบกับอัลกอริทึมอื่นๆ ได้แก่ วิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม และอัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence Algorithm : COIN)

คำถามสำหรับงานวิจัยนี้ที่จะนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหา มี 2 ปัญหา คือ

1) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม และอัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN) วิธีใดให้คำตอบที่ดีที่สุด

2) ถ้าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (PSONK) ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมการบรรจวบ จะมีวิธีใดบ้างที่จะพัฒนาให้มีคำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิม

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลที่ได้จากการนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

1.3 ขั้นตอนการวิจัย

ขั้นตอนการวิจัยมีดังนี้

1) ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2) ศึกษาการใช้โปรแกรม MATLAB
3) สร้างอัลกอริทึม และเขียนโปรแกรม โดยใช้โปรแกรม MATLAB
4) ทดสอบและแก้ไขโปรแกรมที่เขียนขึ้นให้มีความถูกต้อง
5) ประเมินผลการแก้ปัญหาโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น
6) สรุปผลและวิเคราะห์ผล
7) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตของการวิจัยสามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

1) ศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม และสายการประกอบแบบสองด้านเท่านั้น
2) ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่ทำการศึกษา เป็นการหาจำนวนสถานีงานที่เหมาะสมและเป็นการจัดกลุ่มให้แต่ละสถานีงานโดยมีวัตถุประสงค์ 4 ประการคือ
   - เพื่อให้มีจำนวนคู่สถานีงานน้อยที่สุด
   - เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
   - เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

3) การจัดสมดุลสายการประกอบจะนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge with Local Search : M-PSONK)

4) ในการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลจะใช้ข้อมูลที่ได้จากการนำกรณีศึกษาของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของบริษัท ธนบุรีประกอบรถยนต์ จำกัด เข้ามาใช้ในการศึกษาร่วมกับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่ได้จากงานวิจัยที่ผ่านมารวม 5 ปัญหา โดยมีการกำหนดรอบเวลาการทำงานของแต่ละปัญหาดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย

กรณีศึกษาที่	ความสัมพันธ์ก่อนหลังของปัญหา	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชนิด)	จำนวนงาน	รอบเวลาในการทำงาน (นาที)
1	Kim et al. (2000)	2	12	5, 7, 8
2	Lee et al. (2001)	3	65	326, 490, 544
3	Bartholdi (1993)	4	148	204, 306, 408
4	Lee et al. (2001)	4	205	1888, 2266, 2454
5	Case Study*	2	183	22

* หมายเหตุ ในกรณีศึกษาที่ 5 เป็นปัญหาจริงของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของบริษัท ธนบุรีประกอบรถยนต์ จำกัด

5) วิธีการประเมินประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบที่ได้จากปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านของอัลกอริทึมต่างๆ ที่ใช้ในการวิจัยนี้ได้ใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะ 3 ตัว คือ ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

6) ในกระบวนการค้นหาคำตอบไม่ได้ให้คำตอบที่ดีที่สุด แต่เป็นคำตอบที่สามารถใช้งานได้ดี

1.5 ลักษณะปัญหา

ลักษณะของปัญหาในงานวิจัยมีดังนี้

1) ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการกำหนดขั้นงาน (Work Element) ให้กับสถานีงานที่มีการทำงานทางด้านซ้ายและด้านขวาของสายการประกอบ ซึ่งยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์เครื่องจักรใดๆ ในสถานีการทำงาน ทำให้งานต่างๆ สามารถจัดลงสู่สถานีงานใดก็ได้
2) มีข้อมูลเข้า (Input) ได้แก่ ขั้นการทำงาน (Work Element) รอบเวลาทำงาน (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน (Precedence Relationships) เวลาการทำงาน (Processing Time) และด้านของขั้นงานที่สามารถทำได้
3) ทุกสถานีงานมีความสามารถในการทำงานเท่ากัน
4) เวลาทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงาน และไม่ขึ้นกับสถานีงานนั้นๆ
5) การจัดสมดุลสายการประกอบนี้ จะทำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 4 ประการ คือ
   - เพื่อให้มีจำนวนคู่สถานีงาน (m) น้อยที่สุด

$$Minimum\ m \tag{1.1}$$

   - เพื่อให้มีจำนวนสถานีงาน (n) น้อยที่สุด

$$Minimum\ n \tag{1.2}$$

   - เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$Maximum\ IWR = \frac{n}{\sum_{j=1}^{n} SN_j} \tag{1.3}$$

หรือ

$$Minimum\ MIWR = n - \frac{n}{\sum_{j=1}^{n} SN_j} \tag{1.4}$$

เมื่อ n คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด

j คือ สัญลักษณ์กำหนดสถานีงาน

SN_j คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงานที่ j

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- เพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$Minimum\ B_b = \frac{n}{n-1}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{b=L}^{R}\left(\frac{S_{kb}}{WIT} - \frac{1}{n}\right)^2 \qquad (1.5)$$

เมื่อ n คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด

k คือ สัญลักษณ์กำหนดคู่สถานีงาน

LL คือ จำนวนคู่สถานีงาน

b คือ สัญลักษณ์กำหนดด้านของสถานีงาน

L คือ สถานีงานด้านซ้าย

R คือ สถานีงานด้านขวา

S_{kb} คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยบนคู่สถานีงาน k ด้าน b

WIT คือ เวลาว่างงานของสายการผลิตแบบถ่วงน้ำหนัก

6) ข้อกำหนดที่ต้องพิจาณาในการแก้ปัญหา มีดังนี้

- สายการประกอบจะมีการทำงาน 2 ด้าน คือ ด้านซ้าย และด้านขวาของสายการประกอบ โดยงานต่างๆ จะถูกจัดลงสถานีงานในด้านที่กำหนดไว้
- ความสัมพันธ์ก่อนหลังของภาระงานสำหรับแต่ละผลิตภัณฑ์มีความคล้ายคลึงกัน จึงสามารถรวมความสัมพันธ์ก่อนหลังของภาระงานเป็น 1 ผลิตภัณฑ์ได้
- การกำหนดงานให้กับสถานีงานต้องไม่ขัดกับข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน
- ขั้นงานแต่ละขั้นงานจะถูกจัดลงสถานีงานได้เพียง 1 สถานีงานเท่านั้น
- ในแต่ละสถานีงาน จะมีคนทำงานเพียง 1 คน
- ในแต่ละสถานีงานสามารถทำงานได้หลายขั้นงาน แต่เวลารวมของการทำงานในสถานีงานนั้นๆ ต้องไม่เกินรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time)
- ระยะเวลาในการข้ามไปทำงานในงานถัดไปกำหนดให้มีช่วงเวลาในการเดินทางเท่ากับ 0 วินาที
- เวลาทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดสรรขั้นงาน และไม่ขึ้นกับสถานีงานนั้นๆ
- เครื่องจักรในแต่ละสถานีงานมีความสามารถในการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์เท่ากัน
- ไม่มีการทำงานเพื่อส่งไปยังคงคลัง
- ไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น

- ในการจัดสรรขั้นงานให้กับสถานีงาน มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ดังนั้นในการจัดด้านการทำงานให้กับงานที่สามารถทำในด้านใดก็ได้ จึงกำหนดให้งานลงในด้านที่สามารถเริ่มงานได้ก่อน

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัยฉบับนี้ คือ

1) ทำให้การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านมีประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้น และลดระยะเวลาในการแก้ปัญหา
2) เป็นแนวทางในการตัดสินใจในการจัดสถานีงานลงในระบบสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์
3) สามารถเป็นแนวทางในการพัฒนาอัลกอริทึมอื่นๆ ให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น
4) สามารถนำผลที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบด้วยการทฤษฎีการจัดสมดุลของสายการประกอบ วิธีการหาค่าเหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดสอบค่าพารามิเตอร์ การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของอัลกอริทึม และผลสรุปงานวิจัยและข้อเสนอแนะ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 เสนอทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบ วิธีการหาค่าเหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบโดยประยุกต์ใช้วิธี COMSOAL งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมการบรรจวบ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

บทที่ 3 อธิบายหลักการ ขั้นตอนและวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธี COMSOAL สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ รวมถึงแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

บทที่ 4 อธิบายหลักการ ขั้นตอนและวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

บทที่ 5 อธิบายหลักการการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ขั้นตอนและวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ รวมถึงแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

บทที่ 6 อธิบายหลักการ ขั้นตอนและวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

บทที่ 7 อธิบายหลักการ ขั้นตอนและวิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง รวมถึงแสดงตัวอย่างการคำนวณเพื่อนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

บทที่ 8 นำเสนอหลักการและแนวทางในการแก้ปัญหาด้วยอัลกอริทึมใหม่ ที่เรียกว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) และการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น พร้อมทั้งแสดงตัวอย่างการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

บทที่ 9 นำผลที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบด้วยตัววัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการหาอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

บทที่ 10 สรุปผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ และอภิปรายข้อเสนอแนะ เพื่อพัฒนางานวิจัยนี้ต่อไปในอนาคต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

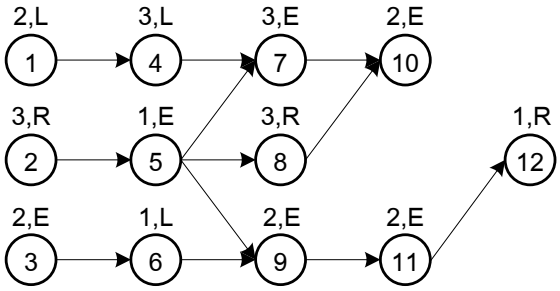
บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับสายการประกอบ วิธีการหาค่าเหมาะสมในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบ ทั้งนี้เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ รวมไปถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยจะแบ่งออกเป็น 7 ส่วน คือ (1) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง (2) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน (3) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธี COMSOAL (4) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (5) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม (6) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจุกล่องและ (7) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ซึ่งจะกล่าวในตอนท้ายของบท

2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป

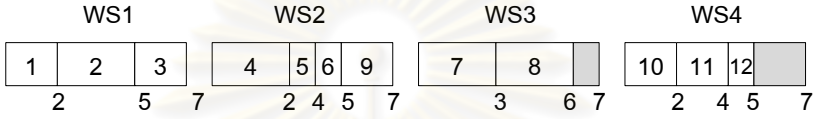
สายการประกอบ (Assembly Line) เป็นระบบการผลิตที่ใช้ในอุตสาหกรรม ประกอบไปด้วยสถานีงาน (Workstation) โดยส่วนใหญ่จะพบสายการประกอบแบบต่อเนื่อง ซึ่งชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะเคลื่อนย้ายไปยังสถานีงานเพื่อทำการประกอบตามขั้นงานการประกอบ (Assembly Operation) ของสถานีงานนั้นๆ ตามลำดับ และจะย้ายจากสถานีงานดังกล่าวไปยังสถานีงานต่อไป และในขณะเดียวกันสถานีงานเดิมจะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ถัดไปเข้ามาแทน โดยในแต่ละสถานีงานจะมีเวลาการประกอบไม่เกินรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time)

2.2 ลักษณะของสายการประกอบแบบเส้นตรง

สายการประกอบแบบเส้นตรง (Straight Lines) หรือสายการประกอบแบบหนึ่งด้าน (One-sided Assembly Lines) เป็นสายการประกอบที่มีทิศทางการเข้าและออกของงานในทิศทางเดียวกัน โดยไม่มีการย้อนกลับไปยังสถานีงานก่อนหน้า โดยจะทำงานเพียงด้านใดด้านหนึ่งของสายการประกอบเท่านั้น ดังตัวอย่างปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงโดยใช้ปัญหา 12 ขั้นงานของ Kim et al. (2000) ดังรูปที่ 2.1 จะได้จำนวนสถานีงานของสายการประกอบแบบเส้นตรงทั้งหมด 4 สถานีงาน ดังรูปที่ 2.2



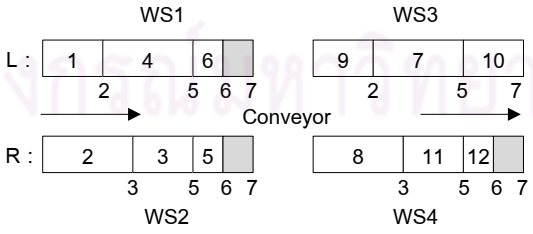
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ก่อนหลังของภาระงาน (Kim et al., 2000)



รูปที่ 2.2 คำตอบที่เหมาะสมในกรณีสายการประกอบแบบเส้นตรง

2.3 ลักษณะของสายการประกอบแบบสองด้าน

สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-sided Assembly Lines) เป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น โดยจะมีงานที่ประกอบทางด้านซ้าย (Left) งานที่ประกอบทางด้านขวา (Right) และงานที่สามารถประกอบได้จากทั้งสองด้าน (Either) ของสายการประกอบ ซึ่งจากสายการประกอบแบบสองด้านจะทำให้สายการผลิตสั้นลงกว่าระบบการผลิตที่มีลักษณะแบบเส้นตรง สามารถลดเวลาการผลิต ลดต้นทุนของเครื่องมือและอุปกรณ์ และลดการเคลื่อนที่ของคนงาน (Bartholdi, 1993) ดังตัวอย่างปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยใช้ปัญหา 12 ขั้นงานของ Kim et al. (2000) ดังรูปที่ 2.1 โดยกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 7



รูปที่ 2.3 คำตอบที่เหมาะสมในสายการประกอบแบบสองด้าน

จากรูปที่ 2.2 แสดงจำนวนสถานีงานของสายการประกอบแบบเส้นตรง มีทั้งหมด 4 สถานีงาน ส่วนในรูปที่ 2.3 มีจำนวนสถานีงานของสายการประกอบแบบสองด้านเท่ากับ 4 สถานีงาน

หรือ 2 คู่สถานีงาน (Mated-Station) จะเห็นได้ว่าสายการประกอบแบบสองด้านจะสั้นกว่าระบบการผลิตแบบเส้นตรง ซึ่งจะทำให้ประหยัดพื้นที่ และลดเวลาในการผลิตอีกด้วย

2.4 ประเภทของสายการประกอบ

สายการประกอบสามารถแบ่งออกได้หลายประเภท โดยพิจารณาจากหลายองค์ประกอบดังนี้

2.4.1 ประเภทของสายการประกอบ โดยพิจารณาจากจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์

แบ่งเป็น 3 แบบ (Hakansson, Skoog and Eriksson, 2008) ได้แก่

1) **สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว** (Single-Model Assembly Lines)

เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับประกอบผลิตภัณฑ์เพียงหนึ่งผลิตภัณฑ์ โดยส่วนใหญ่จะใช้สำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียวซึ่งทำการผลิตเป็นจำนวนมาก

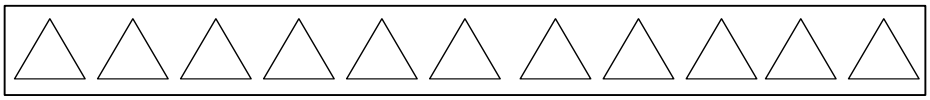
2) **สายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์** (Multi-Model Assembly Lines)

เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับประกอบผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีลักษณะการประกอบที่ใกล้เคียงกัน สามารถทำการผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยจะทำการประกอบทีละชุดผลิตภัณฑ์ (Batch) ตามลำดับที่ได้วางไว้ โดยในช่วงที่มีการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ต้องมีการปรับตั้งเครื่องใหม่ (Set Up)

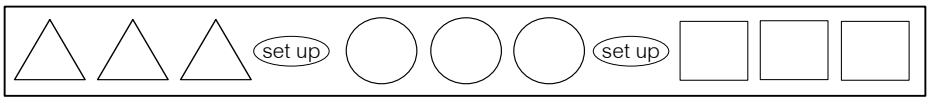
3) **สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม** (Mixed-Model Assembly Lines)

เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับประกอบผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป โดยผลิตภัณฑ์จะเข้าสู่สายการประกอบแบบปะปนกัน และระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบใหม่

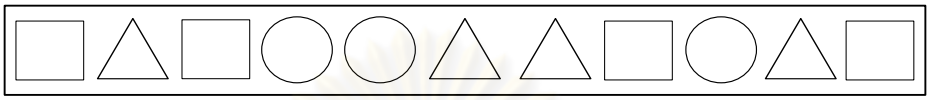
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก. สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว



ข. สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์



ค. สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม

รูปที่ 2.4 ประเภทของสายการประกอบ แยกตามจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์

ถ้าหากขนาดของชุดผลิตภัณฑ์ (Batch Size) ในสายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ สายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์นั้นจะมีลักษณะคล้ายกับสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว แต่ถ้าขนาดของชุดผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็ก สายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์จะมีลักษณะคล้ายกับสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม

2.4.2 **ประเภทของสายการประกอบ โดยพิจารณาจากการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน** แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1) **สายการประกอบที่มีการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ** (Manual Transfer)

เป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปอีกสถานีงานหนึ่งด้วยมือ ซึ่งอาจจะเกิดปัญหาการไหลของงานไม่สม่ำเสมอ รอบเวลาการทำงานไม่คงที่ เนื่องจากต้องมีการรอคอยงาน เพราะไม่มีงานป้อน (Starving) หรือไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้โดยเพิ่ม Buffer ระหว่างสถานีงาน เพื่อทำให้สายการประกอบมีความต่อเนื่องมากยิ่งขึ้น

2) **สายการประกอบที่มีการเคลื่อนย้ายงานด้วยสายพาน** (Moving Conveyor)

เป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปอีกสถานีงานหนึ่งโดยใช้สายพาน ซึ่งมีทั้งแบบต่อเนื่อง และไม่ต่อเนื่อง โดยการเคลื่อนย้ายแบบไม่ต่อเนื่องเป็นเป็นการเคลื่อนย้ายงานทันทีเมื่อทำงานชิ้นนั้นเสร็จ ซึ่งปัญหาที่เกิดเป็นเหมือนกับการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ ส่วนการเคลื่อนย้ายแบบต่อเนื่องเป็นการเคลื่อนย้ายงานไปพร้อมๆ กับสถานีงานต่างๆ อย่างต่อเนื่อง ปัญหาที่เกิดโดยมากเกิดจากไม่มีงานป้อน และการมีงานล้นมือ เนื่องจากงานต้องมีการส่งไปอย่างต่อเนื่องไม่ว่างานจะเสร็จสมบูรณ์หรือไม่ก็ตาม

การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ และการเคลื่อนย้ายงานด้วยสายพานจะพบปัญหาเดียวกันคือ การไม่มีงานป้อน (Starving) เนื่องจากการที่คนงานได้ทำงานของตนเสร็จแล้ว แต่ต้องรอคอยงานจากสถานีงานก่อนหน้าซึ่งคนงานในสถานีงานนั้นยังทำงานไม่เสร็จ ส่วนในการเคลื่อนย้ายงานด้วยสายพานแบบต่อเนื่องจะพบปัญหางานงานล้นมือ (Congestion) ซึ่งมีสาเหตุมาจากงานที่ไม่เสร็จสมบูรณ์ถูกส่งมายังสถานีงานถัดไป ทำให้คนงานในสถานีงานถัดไปต้องแก้ไขหรือซ่อมแซมชิ้นงานนั้นให้เสร็จก่อน แต่การเคลื่อนย้ายงานด้วยสายพานมีข้อดีคือ จะไม่เกิดปัญหาการไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) เนื่องจากชิ้นงานจะเคลื่อนย้ายไปยังสถานีงานต่างๆ พร้อมกันอย่างต่อเนื่อง

2.4.3 **ประเภทของสายการประกอบ โดยพิจารณาจากลักษณะเวลาทำงานของสถานีงาน** แบ่งเป็น 2 แบบ ได้แก่

1) **สายการประกอบแบบก้าวเดิน** (Paced Line)

เป็นสายการประกอบที่กำหนดเวลาการทำงานคงที่เท่ากับรอบเวลาการทำงาน ไม่ว่าจะทำงานนั้นเสร็จหรือไม่ก็ตาม ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์นั้นจะต้องถูกส่งไปยังสถานีงานถัดไป ซึ่งจะเห็นได้ว่าผลิตภัณฑ์ที่ได้อาจไม่สมบูรณ์ จึงทำให้คนงานในสถานีงานถัดไปต้องแก้ไขหรือซ่อมแซมชิ้นงานนั้นให้เสร็จก่อน และจึงเริ่มประกอบชิ้นงานในส่วนของตน

2) **สายการประกอบแบบไม่ก้าวเดิน** (Unpaced Line)

เป็นสายการประกอบที่ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะถูกส่งไปยังสถานีงานถัดไปได้ต่อเมื่อทำงานนั้นเสร็จแล้ว ดังนั้นเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานอาจจะมากกว่าหรือน้อยกว่ารอบเวลาการทำงานก็ได้ จึงทำให้เกิดปัญหาการไม่มีงานป้อน (Starving) และการไม่มีที่ส่งงาน (Blocking)

สายการประกอบแบบก้าวเดินมีข้อดีคือ ชิ้นงานจะถูกส่งไปยังสถานีงานต่างๆ พร้อมกัน โดยมีรอบเวลาการทำงานคงที่ แต่มีข้อเสียคือชิ้นงานที่ถูกส่งไปนั้นอาจจะยังไม่เสร็จสมบูรณ์ จึงต้องแก้ไขหรือซ่อมแซมชิ้นงานนั้นให้เสร็จก่อน ส่วนในสายการประกอบแบบไม่ก้าวเดินมีข้อดีคือ ชิ้นงานที่ถูกส่งไปนั้นเป็นชิ้นงานที่เสร็จสมบูรณ์แล้ว จึงไม่ต้องมีการแก้ไขหรือซ่อมแซมอีก แต่มีข้อเสียคือ เวลาที่ใช้ประกอบชิ้นงานในแต่ละสถานีงานไม่เท่ากัน จึงต้องมีการรอคอยงานเพราะไม่มีงานป้อน (Starving) หรือไม่มีที่ส่งงาน (Blocking)

2.5 หลักการจัดสมดุลสายการประกอบ

การจัดสมดุลสายการประกอบ เป็นการจัดสรรขั้นงานลงในสถานีงานต่างๆ ให้มีความสมดุลกัน โดยใช้ทรัพยากรที่มีอยู่ให้มีประสิทธิภาพมากที่สุด

2.5.1 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

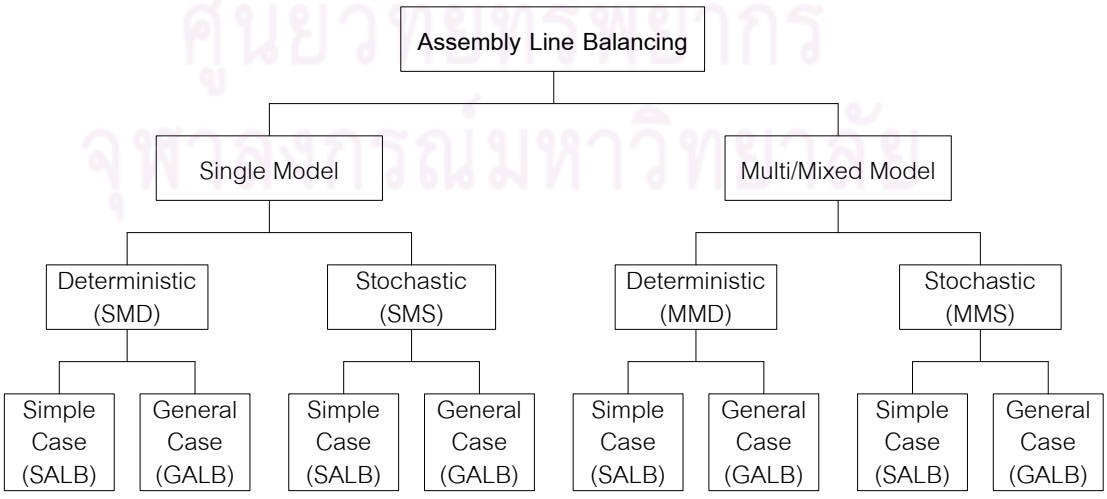
ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสามารถจำแนกได้เป็น 4 ประเภท (Ghosh and Gagnon, 1989) ดังนี้

1) Single Model Deterministic (SMD) เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว และมีการกำหนดเวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานที่แน่นอน

2) Single Model Stochastic (SMS) เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว ที่เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานไม่คงที่ ซึ่งตรงกับความเป็นจริงในอุตสาหกรรมแบบ Manual ที่คนงานใช้เวลาในการทำงานไม่แน่นอน

3) Multi/Mixed Model Deterministic (MMD) เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และมีการกำหนดเวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานที่แน่นอน ซึ่งโดยปกติแล้วข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงานในสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมจะมีลักษณะคล้ายกัน ทำให้เวลาออกแบบสายการประกอบจึงมักออกแบบให้เหลือเพียงข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงานแบบเดียว

4) Multi/Mixed Model Stochastic (MMS) เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ที่เวลาการทำงานของแต่ละขั้นงานไม่คงที่ จึงเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อน



รูปที่ 2.5 ผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

2.5.2 ประเภทของวัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลสายการประกอบ

วัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลสายการประกอบ ได้มีการแยกลักษณะโดยการพิจารณาข้อจำกัดและความแตกต่างของวัตถุประสงค์ ดังนี้

2.5.1.1 Simple Assembly Line Balancing Problems (SALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบอย่างง่าย เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรงที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์เดียว (Becker and Scholl, 2006)

1) Type 1 (SALB-1) เป็นปัญหาการจัดสรรขั้นงานลงในสถานีงาน เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด โดยมีการกำหนดรอบเวลาการทำงานมาให้

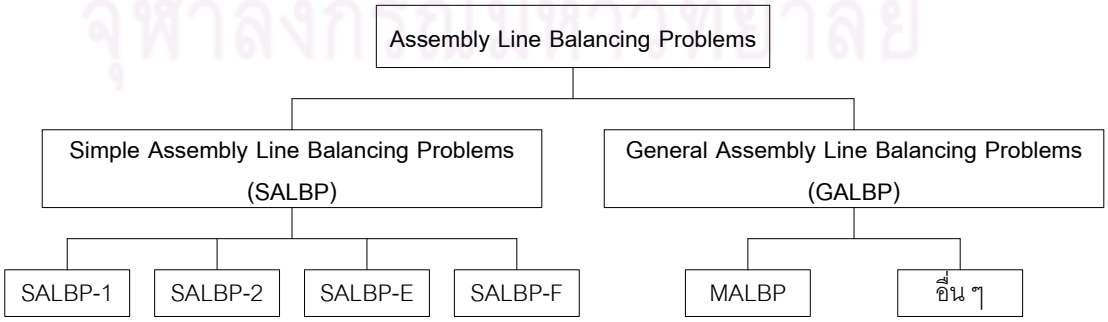
2) Type 2 (SALB-2) เป็นปัญหาการจัดสรรขั้นงานลงในสถานีงาน เพื่อให้มีรอบเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด โดยมีการกำหนดจำนวนสถานีงานมาให้

3) Type E (SALB-E) เป็นปัญหาการจัดสรรขั้นงานลงในสถานีงาน เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานและมีรอบเวลาการทำงานน้อยที่สุด โดยพิจารณา Type 1 และ Type 2 รวมกัน

4) Type F (SALB-F) เป็นปัญหาที่มีความเป็นไปได้ (Feasibility) ในการจัดสรรขั้นงานลงในสถานีงานเมื่อมีการกำหนดจำนวนสถานีงานและรอบเวลาการทำงาน

2.5.1.2 General Assembly Line Balancing Problems (GALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบทั่วไป เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีข้อจำกัด (Restriction) เพิ่มขึ้น (Becker and Scholl, 2006) เช่น ข้อจำกัดเกี่ยวกับการรวมขั้นงาน (Zoning Restriction) ข้อจำกัดของสถานีงานที่ต้องเป็นสถานีงานแบบขนาน (Parallel Station) หรือข้อจำกัดด้านขนาดวัสดุคงคลังของแต่ละสถานีงาน (Buffer Size) เป็นต้น โดยปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบทั่วไป ได้แก่ ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed-Model Assembly Line Balancing Problem : MALBP) เป็นต้น



รูปที่ 2.6 ผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดและความแตกต่างของวัตถุประสงค์

2.6 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากในการจัดงานลงในสถานีงานเพื่อให้เหมาะสมกับวัตถุประสงค์ที่ต้องการ การเลือกวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมกับปัญหาจึงมีความสำคัญ โดยการพิจารณาวัตถุประสงค์จะขึ้นอยู่กับเป้าหมายที่ต้องการ ซึ่งในบางครั้งวัตถุประสงค์ที่ใช้อาจมีมากกว่า 1 วัตถุประสงค์ เพื่อให้การจัดสมดุลมีประสิทธิภาพและตอบสนองสิ่งที่ต้องการได้มากขึ้น ซึ่งวัตถุประสงค์ที่เลือกมาพิจารณานั้นอาจมีความขัดแย้งหรือเป็นไปในทิศทางเดียวกันก็ได้ โดยสามารถจำแนกกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

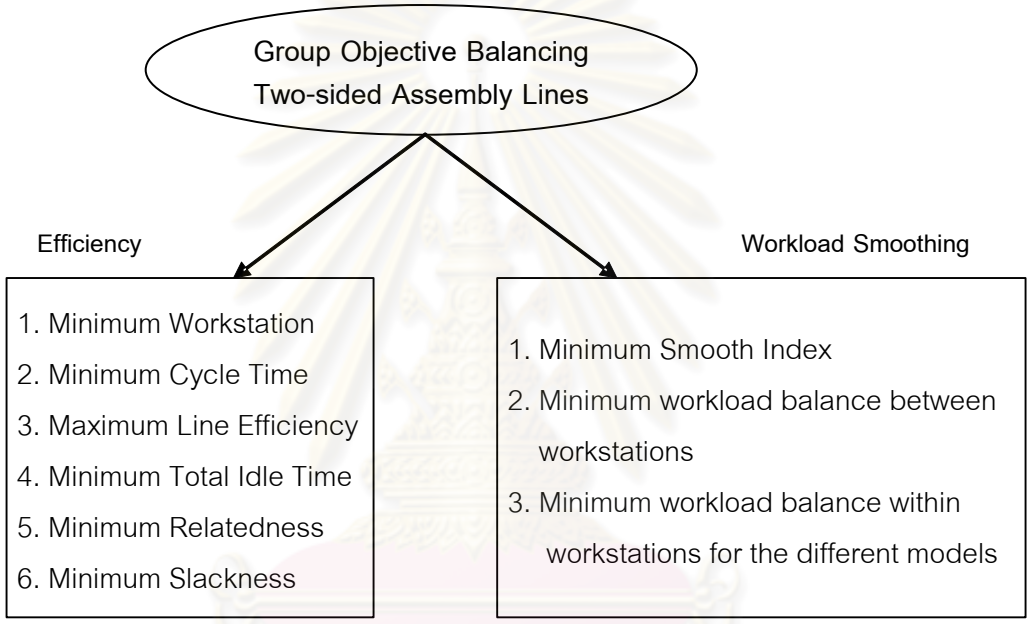
1) **ด้านประสิทธิภาพของสายการประกอบ (Efficiency Line)**

- สถานีงานที่น้อยที่สุด (Minimum Workstation) เป็นวัตถุประสงค์สำคัญ ที่ช่วยลดต้นทุนที่เกิดจากการซื้อเครื่องมือเครื่องจักรและการจ้างคนงาน โดยLee, Kim and Kim (2001)
- รอบเวลาการทำงานน้อยที่สุด (Minimum Cycle Time) เป็นการเพิ่มอัตราผลผลิตทำให้ได้อัตราผลผลิตสูงสุด (Production Rate) โดย Kim, Kim and Kim (2000)
- ประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงที่สุด (Maximum Line Efficiency) เป็นตัววัดประสิทธิภาพของสายการประกอบ โดย Ozcan and Toklu (2009b)
- เวลาสูญเปล่ารวมน้อยที่สุด (Minimum Total Idle Time) เพื่อให้สายการประกอบสามารถผลิตได้สูง เนื่องจากคนและเครื่องจักรไม่เกิดเวลาว่างขึ้น โดย Simaria and Vilarinho (2007)
- ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานน้อยที่สุด (Minimum Relatedness) เพื่อช่วยให้งานในสถานีงานมีความต่อเนื่องกันมากขึ้น โดย Lee, Kim and Kim (2001)
- ความหย่อนของงานในสถานีงานน้อยที่สุด (Minimum Slackness) เพื่อให้สถานีงานสามารถผลิตได้เต็มที่ โดย Lee, Kim and Kim (2001)

2) **ด้านสมดุลของภาระงาน (Workload Smoothing)**

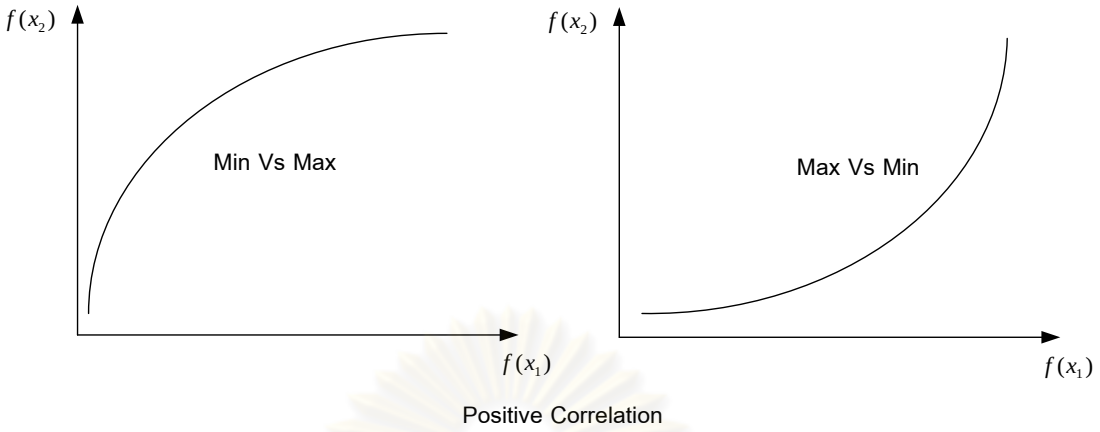
- การปรับเรียบของขั้นงานน้อยที่สุด (Minimum Smooth Index) เพื่อให้ขั้นงานในสถานีงานมีความสมดุลโดยมีเวลาในการทำงานที่ใกล้เคียงกัน โดย Ozcan and Toklu (2009b)

- ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด (Minimum Workload Balance between Workstations) เพื่อให้ภาระงานระหว่างสถานีงานมีความสมดุล โดย Simaria and Vilarinho (2007)
- ความแตกต่างของภาระงานระหว่างผลิตภัณฑ์ภายในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด (Minimum Workload Balance within Workstations for the Different Models) เพื่อให้ภาระงานภายในสถานีงานของแต่ละผลิตภัณฑ์มีความแตกต่างกันน้อยที่สุด โดย Simaria and Vilarinho (2007)

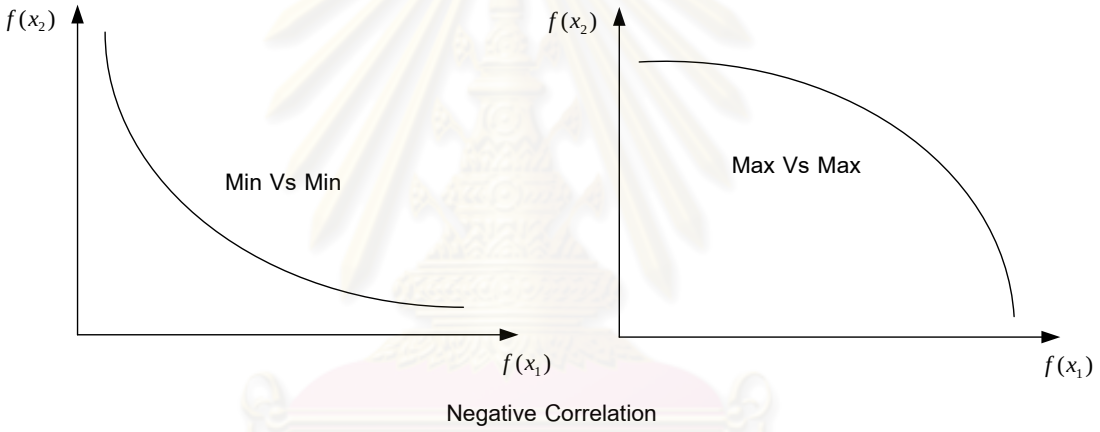


รูปที่ 2.7 การจำแนกกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน

จากการกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ควรพิจารณาวัตถุประสงค์ให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ตามความเป็นจริง โดยการเลือกวัตถุประสงค์มาพิจารณาร่วมกันนั้น บางครั้งอาจทำให้คำตอบที่ได้ไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสมที่สุด จึงควรพิจารณาความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ว่ามีความสัมพันธ์กันในเชิงบวก หรือเชิงลบ ซึ่งวัตถุประสงค์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงบวกนั้นคือ มีคำตอบที่เป็นไปในทิศทางเดียวกัน โดยจะเหมาะกับปัญหาการหาค่าวัตถุประสงค์หนึ่งเป็นค่าต่ำสุด และอีกวัตถุประสงค์หนึ่งเป็นมากสุด (Minimum and Maximum) ส่วนวัตถุประสงค์ที่มีความสัมพันธ์กันในเชิงลบคือ มีคำตอบที่เป็นไปในทิศทางตรงกันข้าม โดยจะเหมาะกับปัญหาการหาค่าต่ำที่สุด (Minimum and Minimum) หรือมากที่สุด (Maximum and Maximum) ดังรูปที่ 2.8



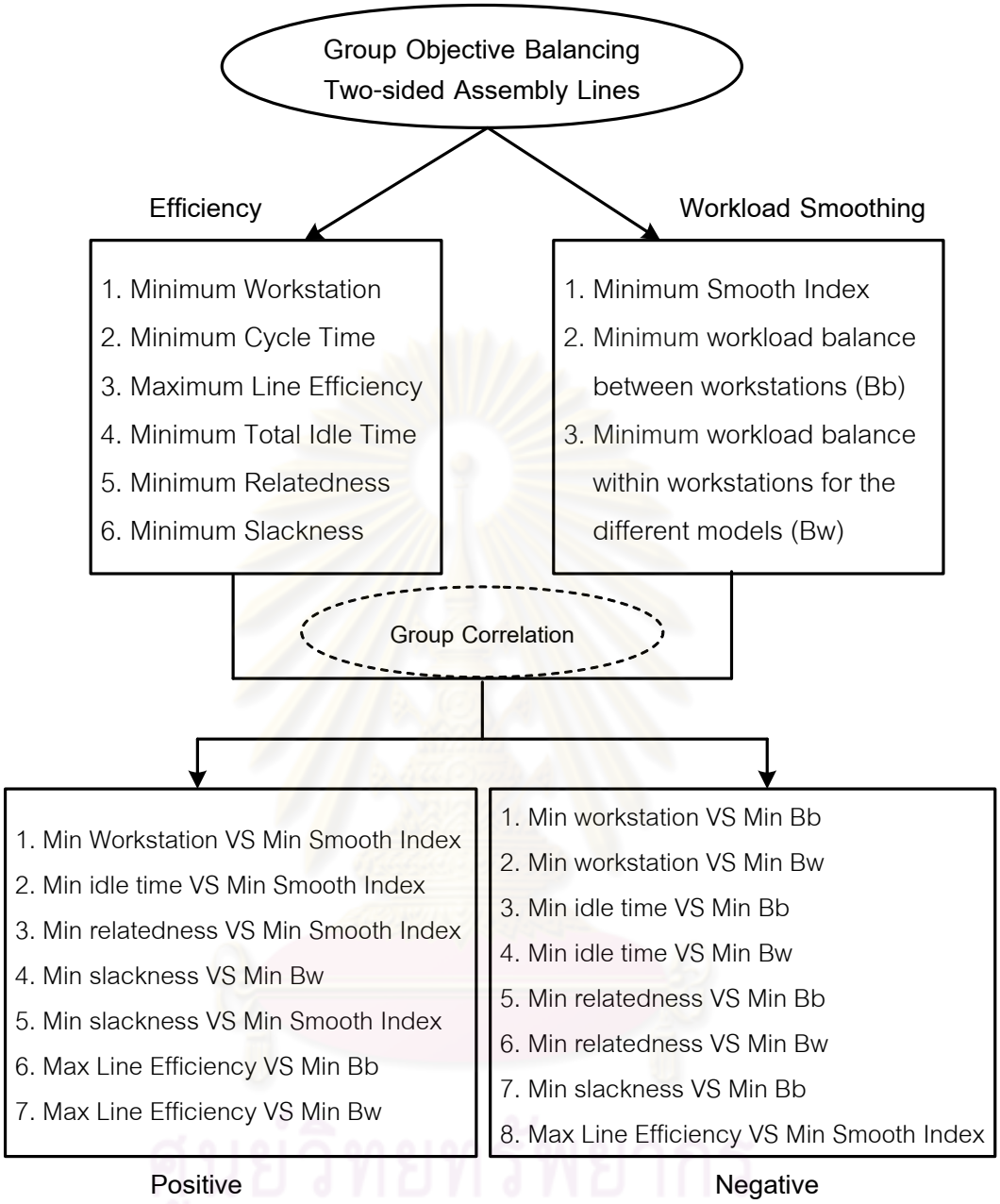
ก. วัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ที่เหมาะกับความสัมพันธ์เชิงบวก



ข. วัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ที่เหมาะกับความสัมพันธ์เชิงลบ

รูปที่ 2.8 ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์

ซึ่งจากการศึกษาความสัมพันธ์ของกลุ่มวัตถุประสงค์ที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้าทำให้ได้ความสัมพันธ์ของกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 การจำแนกกลุ่มและความสัมพันธ์ระหว่างวัตถุประสงค์

2.7 หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด

การหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) เป็นวิธีที่ใช้ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดที่กำหนด โดยแบ่งการหาค่าเหมาะสมออกเป็น 2 ปัญหา คือ ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบวัตถุประสงค์เดียว (Single Objective Optimization Problem) ซึ่งเป็นการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงฟังก์ชันวัตถุประสงค์เดียว และปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization Problem) ซึ่งเป็นการ

ฟังก์ชันพิจารณาวัตถุประสงค์ตั้งแต่ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ขึ้นไปพร้อมๆ กัน ซึ่งการหาค่าเหมาะสมที่สุดนี้ประกอบไปด้วย ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) ข้อจำกัด (Constraints) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions) (Coello Coello, Lamont and Van Veldhuizen, 2002) โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.7.1 ตัวแปรตัดสินใจ

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables) คือ ตัวแปรที่ควบคุมขั้นตอนในการหาค่าเหมาะสมที่สุดให้มีประสิทธิภาพ โดยปกติแล้วในปัญหาการหาค่าเหมาะสมจะมีตัวแปรตัดสินใจมากกว่า 1 ตัว ขึ้นอยู่กับความซับซ้อนของปัญหา โดยมีฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจดังสมการ

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \tag{2.1}$$

หรือเขียนได้เป็น

$$\vec{x} = \left[x_1, x_2, ..., x_n\right]^T \tag{2.2}$$

โดยที่ตัวแปรตัดสินใจจะเป็นตัวแปรที่วัดในเชิงปริมาณ ซึ่งค่าที่นำมาสามารถแสดงเป็นตัวแปร x_j โดยที่ $j = 1,2,...,n$ และเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ n ตัว ซึ่งฟังก์ชันของตัวแปรตัดสินใจสามารถแบ่งได้เป็น 2 แบบ คือ ฟังก์ชันกำหนด (Deterministic Function) คือ ฟังก์ชันที่มีแนวทางในการหาคำตอบที่กำหนดอย่างชัดเจน สามารถนิยามเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ และฟังก์ชันเฟ้นสุ่ม (Stochastic Function) คือ ฟังก์ชันที่มีแนวทางในการหาคำตอบที่ไม่สามารถกำหนดได้อย่างชัดเจน หรือไม่สามารถนิยามเป็นสมการทางคณิตศาสตร์ได้ เช่น ปัญหาการหาเส้นทางเดินที่ดีที่สุดของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) เป็นต้น

2.7.2 ข้อจำกัด

การคัดเลือกตัวแปรตัดสินใจต้องมีความสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ (Constraints) เช่น ข้อจำกัดด้านเวลา เป็นต้น ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ข้อจำกัดจะต้องอยู่ในความเป็นไปได้ของคำตอบที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งสามารถเขียนอยู่ในรูปข้อจำกัดแบบอสมการ (Inequality Constraints) ได้ดังนี้

$$g_i(\vec{x}) \geq a_i, i = 1,2,..., m \quad (2.3)$$

หรือข้อจำกัดแบบสมการ (Equality Constraints)

$$h_i(\vec{x}) = b_i, i = 1,2,..., p \quad (2.4)$$

2.7.3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นตัวกำหนดเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดว่าจะเป็นไปในลักษณะใด โดยมากแล้วฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะเกี่ยวข้องกับการหาค่ามากที่สุด (Maximization) หรือน้อยที่สุด (Minimization) เช่น การหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด เป็นต้น ซึ่งการเลือกฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต้องอาศัยเทคนิคและประสบการณ์ในการแก้ปัญหาเป็นอย่างมาก

2.8 ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ เป็นปัญหาที่จะต้องทำการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์พร้อมๆ กัน เพื่อทำการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

2.8.1 รูปแบบการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ เป็นการค้นหาเซตคำตอบภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) เพื่อหาคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) โดยการหาค่าที่ต่ำที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือมากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือหาค่าที่ต่ำที่สุดในบางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และหาค่าที่มากที่สุดในบางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยจะทำการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมๆ กัน ดังสมการที่ (2.5)

$$f(\vec{x}) = \left[f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}),..., f_k(\vec{x})\right]^T \quad (2.5)$$

โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นรูปแบบที่ใช้จึงเป็นเวคเตอร์คำตอบ $\vec{x}^* = \left[\vec{x}_1^*, \vec{x}_2^*,..., \vec{x}_n^*\right]^T$ ภายใต้ m ข้อจำกัดแบบอสมการ ดังสมการที่ (2.6) หรือภายใต้ p ข้อจำกัดแบบสมการ ดังสมการที่ (2.7)

$$g_i(\vec{x}) \geq 0, i = 1,2,..., m \quad (2.6)$$

$$h_i(\vec{x}) = 0, i = 1,2,..., p \quad (2.7)$$

2.8.2 กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

โดยปกติแล้วการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ประกอบด้วย k วัตถุประสงค์ และ n ตัวแปรตัดสินใจ โดยรูปแบบปัญหาการหาค่ามากที่สุด หรือการหาค่าน้อยที่สุด สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (2.8)

$$Minimize/\,Maximize\ \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}),..., f_k(\vec{x})\} \quad (2.8)$$

สำหรับรูปแบบการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ในที่นี้จะเป็นการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งการค้นหาคำตอบจะถูกกำหนดจากเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ ภายใต้ข้อจำกัดที่จะเป็นสิ่งที่ใช้ในการกำหนดขอบเขตคำตอบที่น้อยที่สุด ดังสมการที่ (2.9)

$$Minimize\ \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}),..., f_k(\vec{x})\} \quad (2.9)$$

ข้อจำกัด $g_i(\vec{x}) \le 0$

โดยที่ $\vec{x}$ คือ เวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

$f_i(\vec{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i

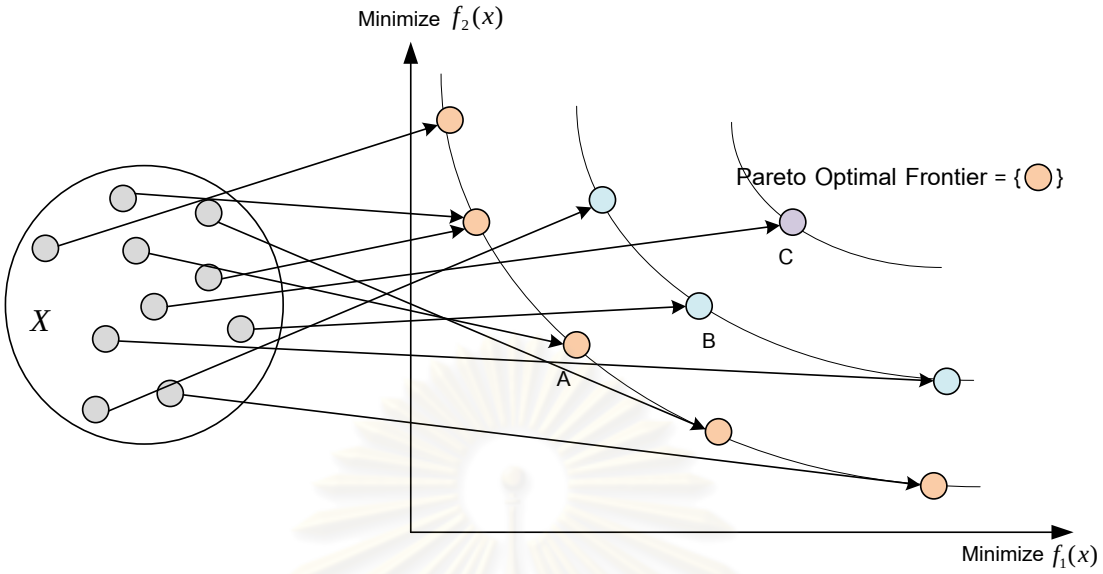
$g_i(\vec{x})$ คือ เวคเตอร์ข้อจำกัดที่ i

ถ้าเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ x ให้คำตอบที่ดีกว่า เวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ y แล้ว จะได้ว่า

$f_i(x) \le f_i(y)$ สำหรับทุกค่า $i \in \{1,2,...,k\}$ และ

$f_i(x) < f_i(y)$ มีอย่างน้อย 1 ค่าของ $i \in \{1,2,...,k\}$

ถ้าคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดที่ดีกว่า หรือเด่นกว่าคำตอบอื่น จะถือว่าคำตอบที่ได้เป็น กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal) และเรียกสมาชิกคำตอบที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดว่า เซตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set) หรือเซตคำตอบที่เด่นกว่า (Non-dominated Set) ซึ่งเซตคำตอบนี้จะเป็นตัวกำหนดพื้นที่ขอบเขตของคำตอบที่เรียกว่าขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Frontier) หรือขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่เด่นกว่าคำตอบอื่น (Non-dominated Frontier) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 การค้นหาพื้นที่คำตอบในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

จากรูปที่ 2.10 เป็นรูปแบบการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาค่าที่น้อยที่สุดของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมกัน โดยกำหนดให้ X เป็นพื้นที่คำตอบ โดยที่เวคเตอร์วัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด (จุดสีส้ม) คือ เวคเตอร์วัตถุประสงค์ที่ไม่มีคำตอบใดที่ดีกว่า หรือเรียกว่า เซตคำตอบที่เด่น (Non-dominated Set) และสมาชิกคำตอบที่เด่นกว่าอื่นนี้จะได้เป็นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Frontier) ซึ่งจากรูปจะเห็นได้ว่าเวคเตอร์คำตอบที่อยู่ด้านในหรือคำตอบที่เป็นจุดสีส้ม เป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Non-dominated Optimal) ซึ่งจาก 3 เวคเตอร์คำตอบ A B และ C สามารถเขียนได้เป็น $A \succ B \succ C$ นั่นคือ A เด่นกว่า B และ B เด่นกว่า C

2.9 การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ มีวัตถุประสงค์เพื่อหาขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด และมีลักษณะการกระจายแบบสม่ำเสมอ โดยการหาเซตคำตอบที่ดีที่สุดในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์นั้นจะเกี่ยวข้องกับเป้าหมาย 2 เป้าหมาย ได้แก่ การกำหนดค่าความแข็งแรงแบบวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการค้นหาขอบเขตของกลุ่มคำตอบ และการกำหนดค่าความหนาแน่น เพื่อดูลักษณะการกระจายของเซตคำตอบบนขอบเขตของกลุ่มคำตอบให้มีความสม่ำเสมอตลอดขอบเขต ไม่เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง

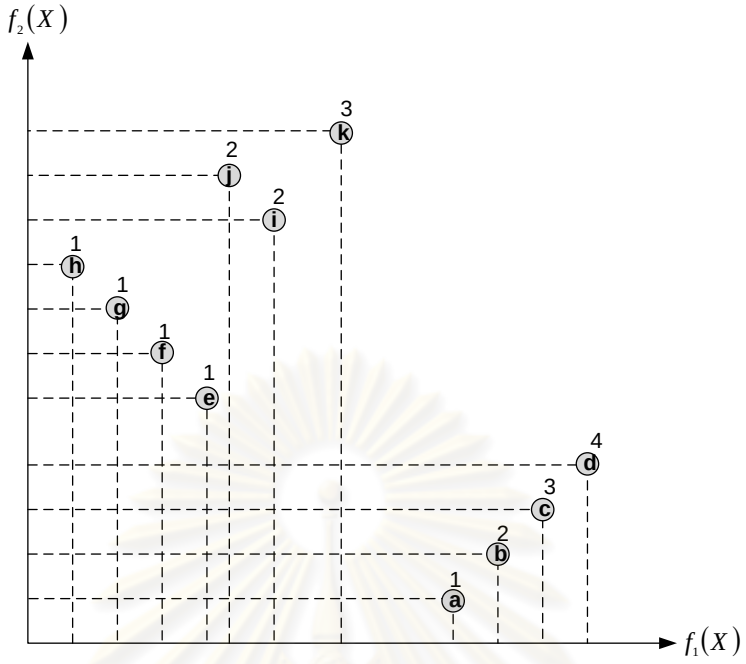
2.9.1 การกำหนดค่าความแข็งแรงแบบวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ จะเป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่สมาชิกของกลุ่มประชากร โดยวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรงในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์มีหลายวิธี (Gen and Cheng, 2000) ได้แก่ วิธีคำนวณค่าแบบเวคเตอร์ (Vector Evaluation Approach), วิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach), วิธีคอมโพรไมส์ (Compromise Approach), วิธีโกล์โปรแกรมมิ่ง (Goal Programming Approach) และวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดจะใช้การจัดอันดับแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) โดยการกำหนดค่าความแข็งแรงภายใต้อันดับคำตอบที่ไม่ใช่ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งคือ เป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ซึ่งสมาชิกที่มีอันดับเดียวกันจะถูกจัดให้อยู่ในกลุ่มคำตอบเดียวกัน โดยกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด จะเป็นกลุ่มคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่า หรือเป็นกลุ่มคำตอบที่เด่นกว่าคำตอบอื่น โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการจัดอันดับของ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting

วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงของคำตอบ โดยการจัดอันดับแบบพาเรโต ซึ่งพัฒนาโดย Goldberg (1989) ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยการจัดอันดับเซตคำตอบในประชากรคำตอบนี้ จะพิจารณาคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดดีกว่า โดยจะจัดอันดับ (Rank) ให้เป็นอันดับที่หนึ่ง จากนั้นจึงตัดเซตคำตอบนี้ออกจากการพิจารณา และพิจาณาเซตของสตริงคำตอบที่เหลือให้เป็นอันดับต่อมา โดยที่กระบวนการจัดอันดับคำตอบจะสิ้นสุดเมื่อคำตอบในประชากรทั้งหมดได้ถูกจัดอันดับแล้ว ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

2.9.2 การกำหนดค่าความหนาแน่น

ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์นั้นมีเป้าหมายที่สำคัญ ได้แก่ เพื่อค้นหาขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด และให้เซตคำตอบมีลักษณะการกระจายสม่ำเสมอ ไม่เกาะกลุ่มอยู่ในบริเวณใดบริเวณหนึ่ง ดังนั้นจึงต้องอาศัยวิธีการสร้างความหลากหลายให้แก่ประชากรคำตอบ (Diversity Population) ซึ่งเป็นการกำหนดค่าความหนาแน่นให้แก่ประชากรคำตอบ หรือการแบ่งปันค่าความแข็งแรง (Fitness Sharing) ซึ่งมีเทคนิคต่างๆ (Konak, Coit and Smith, 2006) ได้แก่ Niched Fitness Sharing Technique, Crowding Distance และ Adaptive Density Estimation เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การกำหนดค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

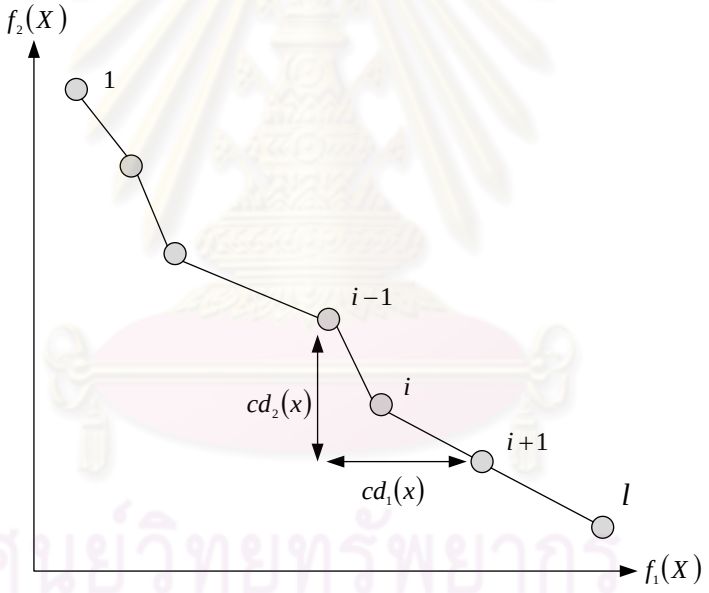
Crowding Distance

การแบ่งปันความแข็งแรงด้วยวิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002) จะทำการคำนวณในสมาชิกประชากรคำตอบที่อยู่ในอันดับเดียวกัน ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างสมาชิกประชากรคำตอบภายในอันดับเดียวกันดังรูปที่ 2.12 ซึ่งค่า Crowding Distance น้อยจะแสดงถึงกลุ่มคำตอบในอันดับนั้นมีการเกาะกลุ่ม ส่วนค่า Crowding Distance มากจะแสดงถึงกลุ่มคำตอบในอันดับนั้นมีการกระจาย โดยมีขั้นตอนการคำนวณ มีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ l แทนจำนวนประชากรคำตอบทั้งหมดในอันดับที่ j และ $x_{[i,k]}$ แทนสมาชิกคำตอบที่ i ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ k ที่ได้รับการเรียงลำดับฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากน้อยไปมาก โดยสมาชิกสตริงคำตอบที่มีลำดับที่ 1 (ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด) และลำดับสุดท้าย (ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด) จะกำหนดให้มีค่า Crowding Distance เป็น Infinity นั่นคือ $cd_k\left(x_{[1,k]}\right)=\infty$ และ $cd_k\left(x_{[l,k]}\right)=\infty$ ส่วนสมาชิกสตริงคำตอบอื่นจะคำนวณค่า Crowding Distance ได้จากสมการ (2.10)

$$cd_k\left(x_{[i,k]}\right)=\frac{f_k\left(x_{[i+1,k]}\right)-f_k\left(x_{[i-1,k]}\right)}{f_k^{\max}-f_k^{\min}} \tag{2.10}$$

ขั้นตอนที่ 2 คำนวณผลรวมของค่า Crowding Distance ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ k ตัว จะได้ว่า $cd(x)=\sum cd_k(x)$



รูปที่ 2.12 Crowding Distance

2.10 การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบเป็นการวัดคุณภาพของคำตอบที่ได้ เพื่อหาค่าเหมาะสมที่สุดในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งมีเป้าหมายที่สำคัญคือ กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal) ต้องมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal) หรือกลุ่มคำตอบที่ได้ควรมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นการวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่

ดีที่สุดจึงเป็นการวัดคุณภาพของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม โดยตัวชี้วัดสมรรถนะที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 ตัว ดังนี้

2.10.1 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal Solution) กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหรือกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Solution) (Kumar and Singh, 2007) โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Convergence = \frac{\sum_{i=1}^{|A^*|} d_i}{|A^*|} \tag{2.11}$$

เมื่อ $$d_i = \min_{j=1}^{|A^*|} \sqrt{\sum_{k=1}^{2} \left(\frac{f_k(x) - f_k(y)}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \right)^2} \tag{2.12}$$

โดยที่ $|A^*|$ คือ จำนวนคำตอบที่แท้จริง

d_i คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y

$f_k^{\max}$ และ $f_k^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด

$f_k(x)$ เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบที่หาได้

$f_k(y)$ เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบที่แท้จริง

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง นั่นคือ อัลกอริทึมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่ดีกว่า

2.10.2 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการวัดการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน (Li and Zheng, 2009) โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Spread = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{|A|-1} \left| d_i - \bar{d} \right|}{d_f + d_l + (|A| - 1)\bar{d}} \tag{2.13}$$

เมื่อ $$d_i = \sqrt{\sum_{k=1}^{2}\left(\frac{f_k(x_i) - f_k(x_{i+1})}{f_k^{\max} - f_k^{\min}}\right)^2} \quad (2.14)$$

โดยที่ d_f และ d_l คือ ระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน (Extreme solution) ของเส้นของเขตของกลุ่มคำตอบที่หาได้

$\overline{d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i

d_i คือ ระยะห่างของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อ $i = 1,2,...,|A|-1$

$|A|$ คือ จำนวนคำตอบที่หาได้

ถ้าตัวตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้นั้นมีการกระจายสม่ำเสมอ

2.10.3 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนของคำตอบที่ได้ที่อยู่ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Frontier) ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริงทั้งหมด (Gen and Lin, 2005) โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Ratio = \frac{\left|S_j - \left\{x \in S_j \mid \exists_y S : y \prec x\right\}\right|}{|S_j|} \quad (2.15)$$

โดยที่ S_j คือ เซตคำตอบที่ j เมื่อ $j = 1,2,...,J$

S คือ การร่วมกันของ j เซตคำตอบ ซึ่ง $S = S_1 \cup S_2 .. \cup S_J$

x คือ เซตคำตอบที่หาได้

y คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$y \prec x$ คือ คำตอบ x เด่นกว่าคำตอบ y

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้นั้นมีคำตอบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.11 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้สำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องโดยได้แบ่งออกเป็น 7 ส่วนดังนี้

1) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง** มีดังนี้

- กรรณิกา ศิลานนท์ (2542) ได้เสนอแนวทางเกี่ยวกับการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Genetic Algorithms : MOGAs) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ และทำการทดสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการค้นหาคำตอบของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และสามารถสรุปได้ว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดได้
- จงกล เอี่ยมมิ (2543) ได้เสนอแนวทางเกี่ยวกับการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GAs) มาประยุกต์ใช้ในการค้นหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และมีเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด และนำผลที่ได้มาทำการเปรียบเทียบกับวิธี COMSOAL พบว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถค้นหาคำตอบที่ดีได้ภายในระยะเวลาที่กำหนด
- Scholl and Klein (1999) ได้ทำการทดสอบประสิทธิภาพของปัญหาจากงานวิจัยอื่นๆ โดยใช้การคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ของวิธี branch and bound ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง (SALBP-1) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด เมื่อกำหนดรอบเวลาการทำงานมาให้ และเปรียบเทียบผลที่ได้
- Becker and Scholl (2006) ได้ทำการอธิบายลักษณะของสายการประกอบ ทั้งสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว สายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม รวมถึงรูปแบบปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง ซึ่งแบ่งไปเป็น 4 ประเภทคือ การหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเมื่อกำหนดรอบเวลาการทำงาน (SALBP-1) การหาจำนวนรอบเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด เมื่อกำหนดจำนวนสถานีงาน (SALBP-2) การหาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและรอบเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด (SALBP-E)

และปัญหาที่กำหนดทั้งจำนวนสถานีงานและรอบเวลาการทำงานมาให้ (SALBP-F)

2) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน** มีดังนี้

- Bartholdi (1993) ได้ทำการพัฒนาโปรแกรมการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านสำหรับโรงงานผลิตรถยนต์ โดยโปรแกรมนี้มีความสามารถสูงสามารถใช้ได้จริง มีวัตถุประสงค์คือ หาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และอธิบายเกี่ยวกับทฤษฎีของสายการประกอบแบบสองด้าน
- Lee, Kim and Kim (2001) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการประกอบ ที่มีลักษณะสายการประกอบแบบสองด้าน โดยเสนอแนวทางการจัดสมดุลสายการประกอบที่ประยุกต์มาจากวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (SALB) และทำการวัดผลการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยดัชนีความสัมพันธ์ของงาน (Index of Work Relatedness) และดัชนีความเหลื่อมล้ำกันของงาน (Index of Work Slackness) จากนั้นนำวิธีการที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกอื่นๆ พบว่า ฮิวริสติกที่เสนอสามารถให้คำตอบที่ดี
- Lapierre and Ruiz (2004) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยจะมีการประกอบจากทั้งด้านซ้าย ด้านขวา ด้านบน และด้านล่างของสายการประกอบ จากนั้นประยุกต์ใช้วิธีการทางฮิวริสติกโดยใช้กฎ LTF STF และ RND มาใช้ในการพัฒนาซอฟต์แวร์บน MsAccess97 และทำการทดลองกับกรณีศึกษา พบว่า ซอฟต์แวร์ที่พัฒนาได้นั้นใช้งานได้ดี โดยเมื่อปัญหาขนาดใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาจะยิ่งมากขึ้นด้วย
- Baykasoglu and Dereli (2008) ได้เสนอแนวทางการนำแอนท์โคโลนี (Ant Colony Heuristic) มาใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้านภายใต้ข้อจำกัดการจัดสรรพื้นที่ (zoning constraints) และข้อจำกัดของตำแหน่ง (positional constraints) โดยเสนอวิธีการคำนวณในการแก้ปัญหาด้วยวิธีของแอนท์โคโลนีฮิวริสติก จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างปัญหาขนาดต่างๆ พบว่าเป็นวิธีการที่ให้ผลลัพธ์ที่ดี
- Simaria and Vilarinho (2007) ได้เสนอแนวทางการนำแอนท์โคโลนีออพติไมซ์เซชัน (Ant Colony Optimization) เข้ามาจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน ที่

มีวัตถุประสงค์เพื่อต้องการจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด รวมถึงเสนอวิธีทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ และได้ทำการเปรียบเทียบผลที่ได้กับ Lee et al. (2001) พบว่า แอนท์โคโลนีออพติไมซ์เซชันอัลกอริทึมนั้นให้ผลลัพธ์ที่ดี

- Wu et al. (2008) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับวิธีการแตกกิ่งและการกำหนดขอบเขตในการแก้ไขปัญหาการจัดสมดุลการผลิตแบบสองด้าน โดยประยุกต์ใช้การเขียนโปรแกรม Visual C 6.0 ซึ่งจากการทดลองกับปัญหาขนาดต่างๆ พบว่า ขนาดของปัญหาเป็นตัวแปรที่สำคัญ เพราะเมื่อจำนวนงานเพิ่มขึ้นจะทำให้พื้นที่ของคำตอบกว้างขึ้น ทำให้ยากในการหาคำตอบที่ดีที่สุด
- Xiaofeng, Erfei and Ye (2008) ได้นำอีนูเมอเรทีฟอัลกอริทึม (Enumerative Algorithm) เข้ามาใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน โดยเริ่มพิจารณาจากการจัดลำดับความสัมพันธ์ของงาน (Precedence Diagram) และนำมาจัดลำดับขั้นงานใหม่โดยใช้กฎเวลาเริ่มงานเร็วที่สุด (Eeriest Start Time) และเวลาเริ่มงานช้าที่สุด (Latest Start Time) จากนั้นได้เสนอแนวทางในการนำอัลกอริทึมที่นำเสนอมารวมกับวิธีฮิวริสติกของฮอฟแมน เพื่อพัฒนาการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน ซึ่งจากการทดลองพบว่าเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพ
- Ozcan and Toklu (2009a) ได้เสนอแนวทางการนำโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming) และโปรแกรมเป้าหมายแห่งความคลุมเครือ (Fuzzy Goal Programming) มาใช้ในการตัดสินใจแบบหลายลำดับขั้นในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน และนำผลมาวิเคราะห์ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดโดยมีการกำหนดรอบเวลาการผลิต รวมไปถึงการพัฒนารูปแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน จากผลงานวิจัยพบว่า การนำโปรแกรมเป้าหมาย และโปรแกรมเป้าหมายแห่งความคลุมเครือ มาใช้ในการตัดสินใจแบบหลายลำดับขั้นนั้นมีความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพ สามารถใช้เป็นทางเลือกในการจัดสมดุลสายการผลิตในสภาวะแวดล้อมที่มีปัจจัยหลากหลายได้
- Ozcan and Toklu (2009b) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้านด้วยวิธีการใช้ซีมูเล็ทเต็ดแอนนิลลิงอัลกอริทึม (Simulated Annealing

Algorithm : SA) กับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม และทำการวัดผลการจัดสมดุลสายการประกอบด้วย Weighted Line Efficiency (WLE) และ Weighted Smoothness Index (WSI) รวมไปถึงได้เสนอการนำ Mixed Integer Programming (MIP) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบสองด้าน ซึ่งวัตถุประสงค์ในการจัดเพื่อทำให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดรอบเวลาการผลิต จากผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จาก SA กับ MIP พบว่า วิธีการใช้ซีมูเล็ทเต็ดแอนนิลลิงอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ และสามารถสรุปได้ว่า ซีมูเล็ทเต็ดแอนนิลลิงอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนด

- Ozcan and Toklu (2009c) ได้ทำการศึกษาวิธีทาบู เซิร์ท (Tubu Search) มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบสองด้าน โดยมีตัววัดผลการจัดสมดุลสายการประกอบ คือ Line Efficiency (LE) และ Smoothness Index (SI) จากผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีค้นหาแบบทาบูกับวิธีต่างๆ เช่น GA, GAPR, EA และ ACO พบว่า วิธีค้นหาแบบทาบูให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อขนาดปัญหาไม่ใหญ่มาก

3) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธี** COMSOAL มีดังนี้

- Ozcan and Toklu (2009d) ได้นำเสนอวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านเมื่อคิด Setup time โดยใช้วิธี Mixed Integer Programming (MIP) และวิธี Computer Method of the Sequencing Operations for Assembly Lines (COMSOAL) จากนั้นนำผลที่ได้จากทั้ง 2 วิธีทำการเปรียบเทียบกัน พบว่า วิธี COMSOAL ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ

- Supaporn Suwannarongsri and Deacha Puangdownreong ได้นำเสนอวิธี M-COMSOAL (modified COMSOAL method) ซึ่งพัฒนาดัดแปลงมาจากวิธี COMSOAL เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยใช้ตัวชี้วัดได้แก่ ความแปรปรวนของภาระงาน และประสิทธิภาพของสายการประกอบ จากผลการ

ทดสอบพบว่า วิธี M-COMSOAL สามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL และมีประสิทธิภาพ อีกทั้งค่าความแปรปรวนของภาระงานยังลดลงอีกด้วย

4) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม** มีดังนี้

- Kim, Kim and Kim (2000) ได้เสนอแนวทางการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GAs) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมกับวิธี Integer Programming (IP) พบว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่น้อยกว่าวิธี Integer Programming เป็นอย่างมาก จากนั้นได้ทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมกับวิธี First-Fit Rule (FFR) พบว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ที่ได้กว่าวิธี FFR จึงสามารถสรุปได้ว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายงานประกอบแบบสองด้านที่มีประสิทธิภาพ
- Kim, Song and Kim (2009) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับสายการประกอบแบบสองด้าน (Two Side Assembly) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเสนอวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ทำให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด เมื่อมีการกำหนดจำนวนสถานีงาน และพัฒนาวิธีการใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จากนั้นจึงสร้างคำตอบของกลุ่มประชากรในเบื้องต้นเพื่อเข้าสู่กระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ ควบคู่กับวิธีการทางคณิตศาสตร์ และได้ทดลองกับวิธีฮิวริสติกตัวอื่นๆ คือ First-Fit Rule (FFR) และ Mixed Integer Programming (MIP) โดยดูผลการทดลองจากส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบที่ให้ผลได้ดีที่สุด พบว่า วิธีการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมคำนวณได้รวดเร็วและได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ
- Mansouri (2005) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดลำดับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ ด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (MOGA) ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยพยายามค้นหาคำตอบโดยใช้ Pareto-Optimal Frontier หรือ Locally Non-dominated Frontier ซึ่งมีวัตถุประสงค์ คือ การหาค่าความผันแปรในการผลิตที่ต่ำที่สุด และการหาค่าในการปรับตั้งเครื่องที่ต่ำที่สุด และได้มีการอธิบายหลักการพื้นฐานของการหาค่า

เหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ และอธิบายหลักการพื้นฐานของตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operator) คือ การครอสโอเวอร์ (Crossover) การอินเวอร์ชัน (Inversion) และการมิวเตชัน (Mutation) ซึ่งช่วยให้กระบวนการค้นหาคำตอบสามารถให้คำตอบที่มีความหลากหลาย

5) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม** มีดังนี้

- Moghaddam, Saremi and Ziaee (2006) ได้เสนอวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm : MA) ในการแก้ปัญหาเส้นทางการเดินทางของรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem with Backhaul : VRPB) และได้เสนอ ฮิวริสติกแบบ Greedy ในการสร้างคำตอบเริ่มต้น เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่มีคุณภาพและใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม อีกทั้งยังเสนอวิธีการวิวัฒนาการ (Evolutionary Operator) ได้แก่ PMX, OX, PBX, OBX และการมิวเตชัน ในการประยุกต์ใช้ร่วมกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) และได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีการทางคณิตศาสตร์ พบว่าวิธี MA ให้คำตอบที่ดีทั้งในด้านคำตอบและเวลาในการคำนวณ

- Moghaddam and Vahed (2006b) ได้เสนอวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm : MA) ในการจัดลำดับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยมีวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการทำงานน้อยที่สุด (total utility work cost) ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวกับความผันแปรของการผลิตทั้งหมด (total production rate variation cost) และค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องน้อยที่สุด (total setup cost) และผลลัพธ์จากการคำนวณพบว่าวิธี MA ให้ผลลัพธ์ที่ดีเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่

- Ovalle and Almanza (2009) ได้เสนอการใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึมมาแก้ปัญหาการการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน ในอุตสาหกรรมผลิตรถจักรยานยนต์ จำนวน 47 ขั้นงาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ หาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

- Parames Chutima and Penpak Pinkoompee (2009) ได้เสนอการนำวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm : MA) สำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์บนสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดย

วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ได้มาจากการประยุกต์ร่วมกันของวิธีเอลโวลูชันนารี่อัลกอริทึม และการค้นหาเฉพาะที่ และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของคำตอบที่ได้ร่วมกับอัลกอริทึม Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA2) และ NSGA II พบว่าวิธีเมมเมติก อัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีกว่า SPEA2 และ NSGA II

6) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ** มีดังนี้

- Warin Wattananpornprom et al. (2009) ได้ทำการศึกษาอัลกอริทึมใหม่ที่ใช้รูปแบบของความน่าจะเป็น ในการค้นหาคำตอบที่ดี ที่มีชื่อว่า Combinatorial Optimization with Coincidence Algorithm (COIN) ซึ่งเป็นการพิจารณาทำการคัดเลือกคำตอบทั้งคำตอบที่ดี และคำตอบที่แย่ เพื่อทำการให้รางวัล และลงโทษ ในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะแบบตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี ภายใต้วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความผันแปรของเวลาภายในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และทำการเปรียบเทียบกับวิธี NSGA-II พบว่า COIN ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพดีกว่า
- De Bonet, Isbell and Viola (1997) ได้อธิบายวิธี Mutual Information Maximizing Input Clustering (MIMIC) ซึ่งประกอบด้วย 2 องค์ประกอบ คือ การสุ่มตัวอย่างเพื่อหาค่าที่เหมาะสม และการประมาณค่าประสิทธิภาพ และได้ทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพร่วมกับวิธี Population Based Incremental Learning (PBIL), Randomized Hill Climbing (RHA) และ Genetic Algorithm (GA) พบว่า วิธี MIMIC มีประสิทธิภาพสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดี

7) **งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค** มีดังนี้

- Coello Coello, Pulido and Lechuga (2004) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยวิธี Particle Swarm Optimization (PSO) โดยใช้กลุ่มฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการทดสอบทั้งหมด 5 กลุ่ม และนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), Pareto Archived Evolution Strategy (PAES) และ Microgenetic Algorithm for Multi-objective Optimization (Micro-GA) โดยพิจารณาตัวชี้วัด 3 ตัว คือ

Generational distance (GD), Spacing (SP) และ Error ratio (ER) จากการทดสอบพบว่า MOPSO ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

- Rameshkumar, Suresh and Mohanasundaram (2005) ได้เสนออัลกอริทึม Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยมีวัตถุประสงค์ คือ มีเวลาปิดงาน (Makespan) ที่น้อยที่สุด โดยอธิบายถึงรายละเอียด และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปทำการเปรียบเทียบกับ GA และ Hybrid Genetic Algorithm (HGA) พบว่า DPSO ให้คำตอบที่ได้กว่า GA และ HGA เมื่อปัญหาขนาดเล็ก แต่เมื่อปัญหาขนาดใหญ่ HGA ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า จากนั้นจึงทำการปรับปรุงอัลกอริทึมโดยการนำการค้นหาเฉพาะที่มาช่วยในการหาคำตอบ พบว่า จากการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดี
- Liao, Tseng and Luarn (2007) ได้พัฒนาอัลกอริทึม Particle Swarm Optimization (PSO) ในการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยอาศัยอนุภาค (particle) และทิศทางในการเคลื่อนที่ (Velocity) เพื่อไปหาคำตอบ และทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึม Continuous PSO และ GA พบว่าวิธี PSO ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับตัวอื่นๆ นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ร่วมกับ PSO (PSO-LS) และนำผลลัพธ์ที่ได้เปรียบเทียบกับ ACO พบว่า PSO-LS ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าสำหรับในบางปัญหา
- Tseng and Liao (2008) ได้เสนอการนำอัลกอริทึม Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) มาใช้ร่วมกับอัลกอริทึม Net Benefit of Movement (NBM) ในการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ Minimize the Total Weighted Earliness and Tardiness และได้ทำการเปรียบเทียบกับ GA และ Hybrid Genetic Algorithm (HGA) พบว่า อัลกอริทึม DPSO ที่นำเสนอให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับตัวอื่นๆ นอกจากนี้ยังได้ประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ร่วมกับ DPSO (DPSO-LS) พบว่า DPSO-LS ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ

2.12 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยแสดงลักษณะของสายการประกอบทั้งแบบเส้นตรงและสายการประกอบแบบสองด้าน ซึ่งจะเห็นได้ว่าสายการประกอบแบบสองด้านช่วยทำให้สายการผลิตสั้นลง สามารถลดเวลาการผลิต ลดต้นทุนของเครื่องมือและอุปกรณ์ และลดการเคลื่อนที่ของคนงาน และอธิบายถึงประเภทของสายการประกอบ, หลักการที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ, วิธีการหาค่าเหมาะสมในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ และการวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ใช้ในงานวิจัย รวมถึงได้รวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยเพื่อใช้เป็นแนวทางในการศึกษาและพัฒนาการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3

ทฤษฎีเกี่ยวกับ COMSOAL และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวิธี COMSOAL และการนำวิธี COMSOAL ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และตัวอย่างการคำนวณ

3.1 วิธี COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line)

วิธี COMSOAL เป็นวิธีการที่ใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีปัญหาขนาดใหญ่ (Arcus ,1996) ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถค้นหาคำตอบที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เทคนิคการสุ่มเลือกขั้นงาน โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดขั้นงานและเวลาการทำงานของขั้นงานในสายการประกอบ

ขั้นตอนที่ 2 สร้าง List A ซึ่งประกอบไปด้วยขั้นงานที่ยังไม่ถูกจัดลงในสถานีงาน ถ้า List A ไม่มีงานใดอยู่เลย แสดงว่างานทุกงานนั้นถูกจัดลงในสถานีงานเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 3 สร้าง List B ซึ่งประกอบด้วยขั้นงานซึ่งไม่มีงานก่อนหน้า โดยได้จากการคัดเลือกขั้นงานมาจาก List A ดังนั้น List B จึงประกอบไปด้วยงานที่พร้อมจัดลงในสถานีงาน

ขั้นตอนที่ 4 สุ่มเลือกขั้นงานจาก List B ลงในสถานีงานปัจจุบัน โดยงานที่ถูกสุ่มเลือกจะสามารถจัดลงในสถานีงานได้ ต่อเมื่อเวลาการทำงานรวมของสถานีงานต้องไม่มากกว่ารอบเวลาการทำงาน และขั้นงานที่ถูกจัดลงสถานีงานแล้วจะถูกเก็บไว้ใน List C

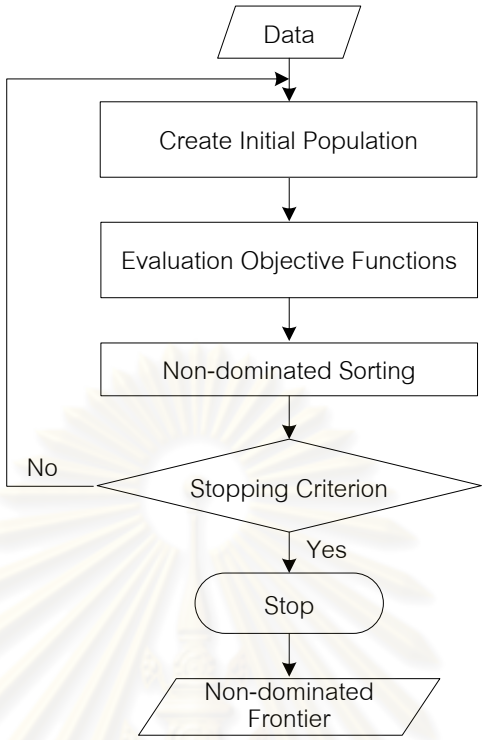
ขั้นตอนที่ 5 ถ้างานไม่สามารถจัดลงในสถานีงานปัจจุบันได้ เนื่องจากเวลาการทำงานรวมของสถานีงานนั้นมากกว่ารอบเวลาการทำงาน ให้สร้างสถานีงานใหม่ขึ้น และย้อนกลับไปทำขั้นตอนที่ 4 จนกระทั่งงานทั้งหมดใน List B ถูกจัดลงสถานีงานเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 6 ลบขั้นงานที่อยู่ใน List C ออกจาก List A และย้อนกลับไปยังขั้นตอนที่ 3

3.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มมาจำนวน Popsize ตัว ด้วยการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)
3. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
4. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่ประชากรคำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989) ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยประชากรคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด
5. **Strategies to Maintain Elitist Solutions in the Population** : เก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ไว้เพื่อจะนำไปทำการปรับปรุง (Update) ในทุกๆ เจนเนอเรชัน ด้วยการเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่ได้จากในรอบก่อนหน้า ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดไว้ ซึ่งประชากรคำตอบที่ดีที่ได้จะกลายเป็นประชากรคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป
6. **Stopping Criteria** : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 6 ใหม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 7
7. **Stop** : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 5 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL

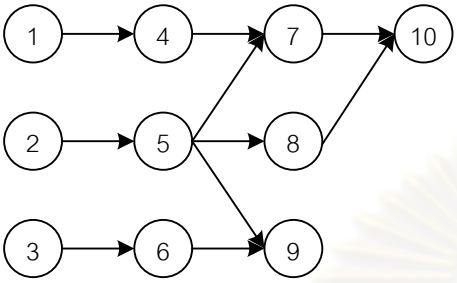
3.3 ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

จากขั้นตอนของ COMSOAL ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านของปัญหาของ Kim et al. (2000) ซึ่งมีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B โดยกำหนดรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานโดยแบ่งออกเป็นชนิดผลิตภัณฑ์ เป็นดังนี้

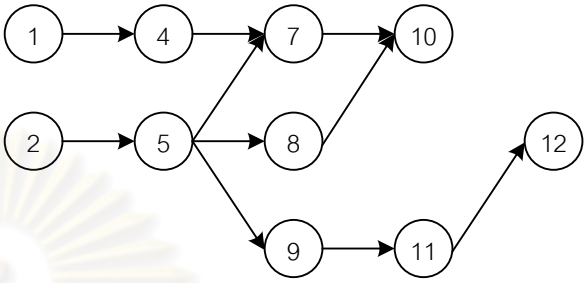
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1 **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

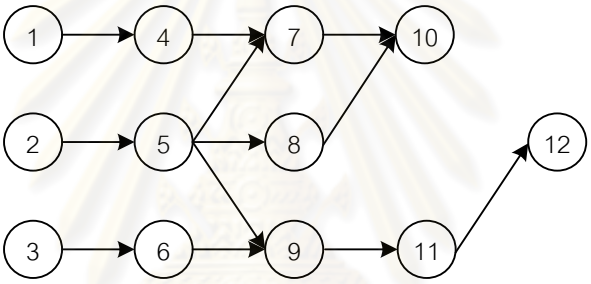
3.3.1.1 **การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม** (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 3.2



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 3.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน ของ Kim et al. (2000)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.3.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

3.3.1.3 การสร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน (Precedence Matrix) จากแผนภาพความสัมพันธ์

การสร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานจะช่วยบอกให้รู้ว่างานใดต้องทำก่อนหรือหลังงานใดบ้าง หรือบอกว่างานนั้นๆ มีงานก่อนหน้า หรืองานที่ต้องทำตามหลังอีกกี่งาน ดังตารางที่ 3.2 จะเห็นได้ว่าลักษณะของตารางจะเป็นเมตริกซ์ ขนาด $m \times m$ โดย m หมายถึงจำนวนขั้นงานทั้งหมด หมายเลขของแถว (Row) หมายถึง งานที่ทำก่อน และหมายเลขของหลัก (Column) หมายถึง งานที่ต้องทำหลัง ซึ่งต้องรอให้งานที่ต้องทำก่อนหน้าเสร็จก่อน ตำแหน่งแถวและคอลัมน์ที่ 1 ถึง m จะประกอบไปด้วยตัวเลข 0 และ 1 โดยที่ 0 หมายถึง งานที่ไม่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างกัน ส่วน 1 หมายถึง งานที่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างกัน เช่น จากรูปที่ 3.2 มีจำนวนขั้นงานทั้งหมด 12 ขั้นงาน สร้างเป็นเมตริกซ์ขนาด 12x12 โดยยกตัวอย่างเช่น แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 4 มีค่าเป็น 1 หมายความว่า งานที่ 1 ต้องทำก่อนงานที่ 4 หรืองานที่ 4 จะเริ่มงานได้ต่อเมื่องานที่ 1 ทำเสร็จแล้ว

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

3.3.1.4 **พารามิเตอร์ของ** COMSOAL ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว

3.3.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้การสุ่มสตริงคำตอบ เท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น (Popsize = 5) โดยสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธี COMSOAL เป็นสตริงลำดับขั้นงาน (Task Sequence) ซึ่งมีขั้นตอนวิธีการสุ่มลำดับขั้นงานดังนี้

- พิจารณาว่าขั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยจะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน ซึ่งในที่นี้จะเห็นได้ว่าผลรวมของคอลัมน์ที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 0
- ถ้ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้ ให้ทำการสุ่มเลือกขั้นงานด้วยค่าความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ซึ่งงานที่ถูกสุ่มเลือกจะนำมาจัดลงลำดับขั้นงานก่อน โดยในที่นี้สุ่มได้ขั้นงานที่ 1
- งานที่ถูกเลือกมาลงในลำดับของขั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานนั้นใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 3.3 ซึ่งทำการเปลี่ยนตัวเลขของแถวที่ 1 เป็น 0 และคอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด

ตารางที่ 3.3 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
2	***1***	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	***1***	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	***1***	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด และจะได้สตริงคำตอบที่ 1 เพื่อนำไปจัดลงในสถานีงาน ดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No.	Task	Selected	Side
1	1 , 2 , 3	1	L
2	2 , 3 , 4	4	L
3	2 , 3	3	E
4	2 , 6	2	R
5	5 , 6	5	E
6	6 , 7 , 8	8	R
7	6 , 7	7	E
8	6 , 10	10	E
9	6	6	L
10	9	9	E
11	11	11	E
12	12	12	R

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้ลำดับงานทั้ง 5 ตัว ดังนี้

Task Sequence 1 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 2 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Task Sequence 3 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 4 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

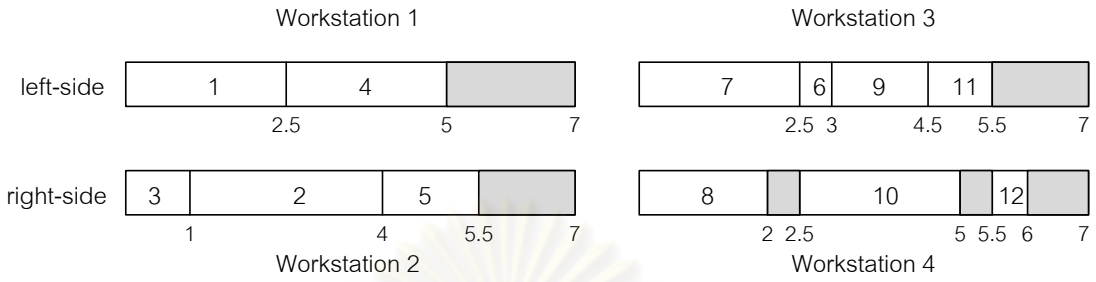
Task Sequence 5 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

จากลำดับขั้นงานที่ 1 (Task Sequence 1) จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 ซึ่งการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาด้านที่งานสามารถทำได้ โดยถ้าด้านของงานนั้นเป็น L จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านซ้าย ถ้าด้านของงานนั้นเป็น R จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านขวา และถ้าเป็น E นั่นคืองานนั้นสามารถทำด้านใดก็ได้ โดยในที่นี้จะจัดลงสถานีงานด้านที่สามารถเริ่มงานได้ก่อน และถ้าเวลาเริ่มงานมีค่าเท่ากันจะใช้วิธีการสุ่มเลือกด้านด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากัน ซึ่งการจัดสรรงานจำเป็นต้องคำนึงถึง Precedence Diagram ด้วย โดยสามารถทำการจัดสรรงานลงสถานีงานได้ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 การจัดสรรงานลงสถานีงานสำหรับลำดับขั้นงานที่ 1

งาน (ด้าน)	งานก่อนหน้า	เวลาขั้นงาน	เวลาเริ่มงาน	เวลารวมเมื่องานถูกจัดสรร	สถานีงาน	ด้าน
1 (L)	-	2.5	0.0	2.5	1	L
4 (L)	1	2.5	2.5	5.0	1	L
3 (E)	-	1.0	0.0	1.0	2	R
2 (R)	-	3.0	1.0	4.0	2	R
5 (E)	2	1.5	4.0	5.5	2	R
8 (R)	5	2.0	0.0	2.0	4	R
7 (E)	4 , 5	2.5	0.0	2.5	3	L
10 (E)	7 , 8	2.5	2.5	5.0	4	R
6 (L)	3	0.5	2.5	3.0	3	L
9 (E)	5 , 6	1.5	3.0	4.5	3	L
11 (E)	9	1.0	4.5	5.5	3	L
12 (R)	11	0.5	5.0	5.5	4	R

จากลำดับขั้นงานที่ 1 (Task Sequence 1) = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
จะได้จำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีงานดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายการประกอบแบบสองด้าน

เมื่อได้งานในแต่ละสถานีงานเรียบร้อยแล้ว จะทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ดังนี้

กำหนดให้ n คือ จำนวนสถานีงาน
m คือ จำนวนคู่สถานีงาน
SN_j คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงาน j
S_{kb} คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยบนคู่สถานงานที่ k ด้าน b
WIT คือ เวลาว่างงานของสายการผลิตแบบถ่วงน้ำหนัก

1. เพื่อให้มีจำนวนคู่สถานีงาน (m) น้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ m \tag{3.1}$$

2. เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด

$$f_2(X) = Minimum\ n \tag{3.2}$$

3. เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$f_3(X) = Minimum\ MIWR = n - \frac{n}{\sum_{j=1}^{n} SN_j} \tag{3.3}$$

4. เพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

$$f_4(X) = Minimum\ B_b = \frac{n}{n-1}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{b=L}^{R}\left(\frac{S_{kb}}{WIT} - \frac{1}{n}\right)^2 \qquad (3.4)$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 1 เท่ากับ 2 คู่สถานีงาน

$$f_1(X) = Minimum\ m = 2$$

ค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 เท่ากับ 4 สถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum\ n = 4$$

และได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

สถานีงานที่ 1 มีข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 1-4 มีค่าเท่ากับ 1

สถานีงานที่ 2 มีข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 3 , 2-5 มีค่าเท่ากับ 2

สถานีงานที่ 3 มีข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 7 , 6-9-11 มีค่าเท่ากับ 2

สถานีงานที่ 4 มีข่ายงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 8-10 , 12 มีค่าเท่ากับ 2

ดังนั้น $f_3(X) = MIWR = n - \dfrac{n}{\sum_{j=1}^{n} SN_j}$

$$f_3(X) = MIWR = 4 - \frac{4}{1+2+2+2}$$

$$f_3(X) = MIWR = 3.4286$$

และได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 คือ ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

ดังนั้น $f_4(X) = B_b = \dfrac{n}{n-1}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{b=L}^{R}\left(\dfrac{S_{kb}}{WIT} - \dfrac{1}{n}\right)^2$

$$f_4(X) = B_b = \frac{4}{3}\left[\left(\frac{2}{7} - \frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{7} - \frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{1.5}{7} - \frac{1}{4}\right)^2 + \left(\frac{2}{7} - \frac{1}{4}\right)^2\right]$$

$$f_4(X) = B_b = 0.0068$$

จากลำดับงานที่ 1 จะได้

1. Task Sequence 1 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีงาน (2 คู่สถานีงาน) ได้แก่

- สถานีงานที่ 1 มีงาน 1 และ 4 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 5.0
- สถานีงานที่ 2 มีงาน 3 , 2 และ 5 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 5.5
- สถานีงานที่ 3 มีงาน 7 , 6 , 9 และ 11 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 5.5
- สถานีงานที่ 4 มีงาน 8 , 10 และ 12 เวลารวมในสถานีงานเท่ากับ 5.0

3. ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 3.4286
4. ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0068

จากลำดับงานทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 3.6

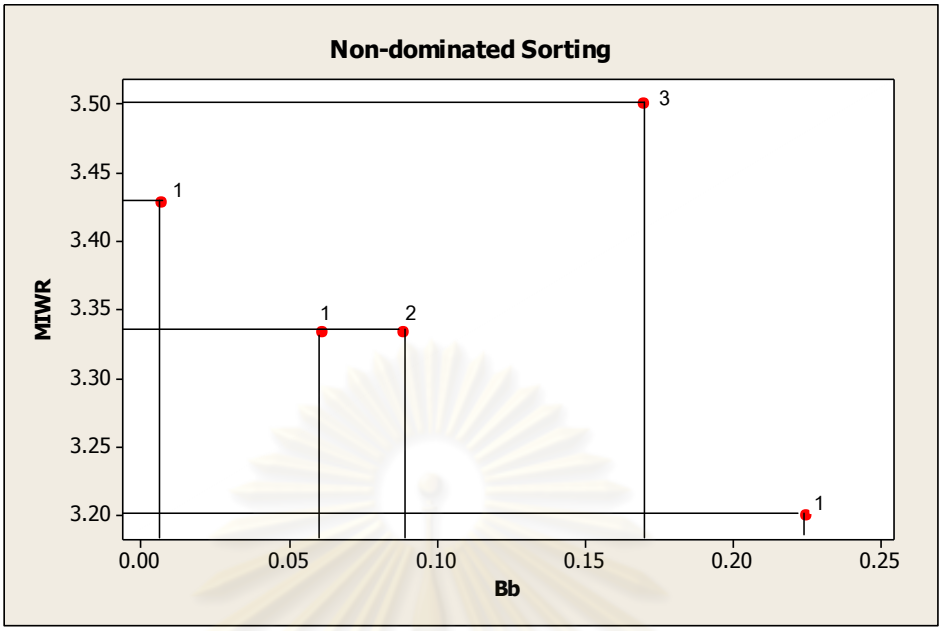
ตารางที่ 3.6 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701

หมายเหตุ วัตถุประสงค์ที่ 2 หรือจำนวนสถานีงาน สามารถคำนวณได้จากวัตถุประสงค์ที่ 3 หรือผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน โดยการปัดเศษขึ้นเป็นจำนวนจริง

3.3.3 การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยจะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง แต่เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้นี้มีค่าจำนวนสถานีงานเท่ากันหมดจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ จะได้ค่าดังรูปที่ 3.4 และตารางที่ 3.7



รูปที่ 3.4 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 3.7 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.4286	0.0068	1
2	3.3333	0.0884	2
3	3.2000	0.2245	1
4	3.3333	0.0612	1
5	3.5000	0.1701	3

3.3.4 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด เป็นเทคนิคที่ทำการเก็บค่าดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากการ Non-dominated Sorting ซึ่งจะทำการเก็บสตริงลำดับขั้นงานที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ต่ำที่สุดจากรอบที่กำลังพิจารณา เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับค่าของสตริงลำดับขั้นงานที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า และทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวที่ได้ดังตารางที่ 3.7 จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด ซึ่งในที่นี้คือ 1 เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่

3.8 ซึ่งสตริงคำตอบที่จัดเก็บในรอบนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าเมื่อพิจารณารอบถัดไป

ตารางที่ 3.8 การเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
3	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
1	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
4	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

3.3.5 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

การแก้ปัญหาในรอบที่ 2 นี้ ทำเช่นเดียวกับในรอบที่ 1 โดยทำการสร้างสตริงคำตอบจำนวน 5 ตัว (Popsize = 5) ได้ดังนี้

Task Sequence 1 = [2 3 1 6 5 4 9 11 12 7 8 10]

Task Sequence 2 = [3 6 1 2 4 5 7 9 11 8 12 10]

Task Sequence 3 = [3 2 1 6 4 5 9 8 11 7 12 10]

Task Sequence 4 = [3 6 1 2 4 5 8 7 10 9 11 12]

Task Sequence 5 = [2 1 3 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

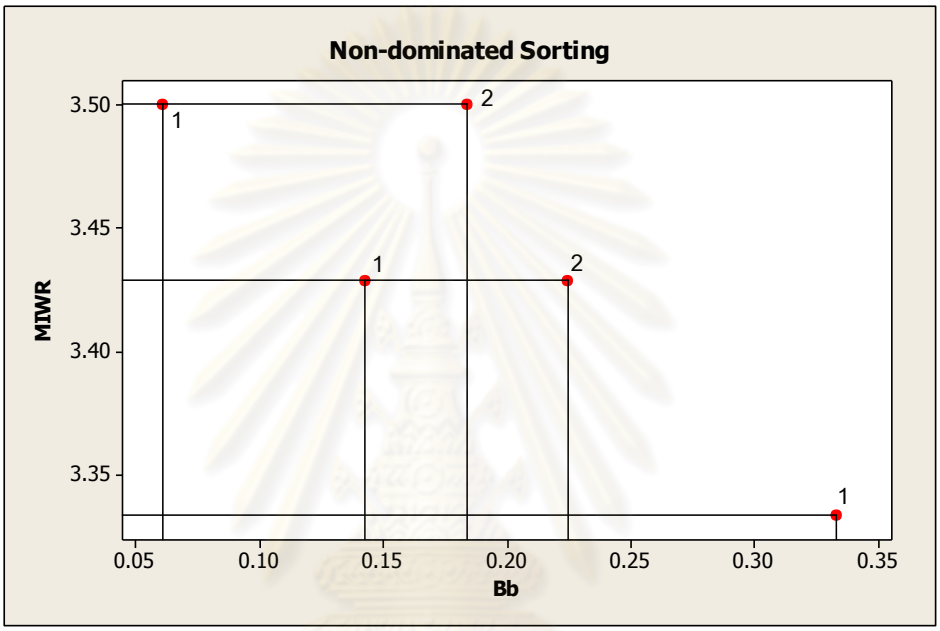
จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.3333	0.3333
2	2	4	3.5000	0.0612
3	2	4	3.4286	0.1429
4	2	4	3.4286	0.2245
5	2	4	3.5000	0.1837

การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยใช้วิธีจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยจะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) จะได้ค่าดังรูปที่ 3.5 และตารางที่ 3.10



รูปที่ 3.5 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 3.10 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.3333	0.3333	1
3	3.4286	0.1429	1
2	3.5000	0.0612	1
4	3.4286	0.2245	2
5	3.5000	0.1837	2

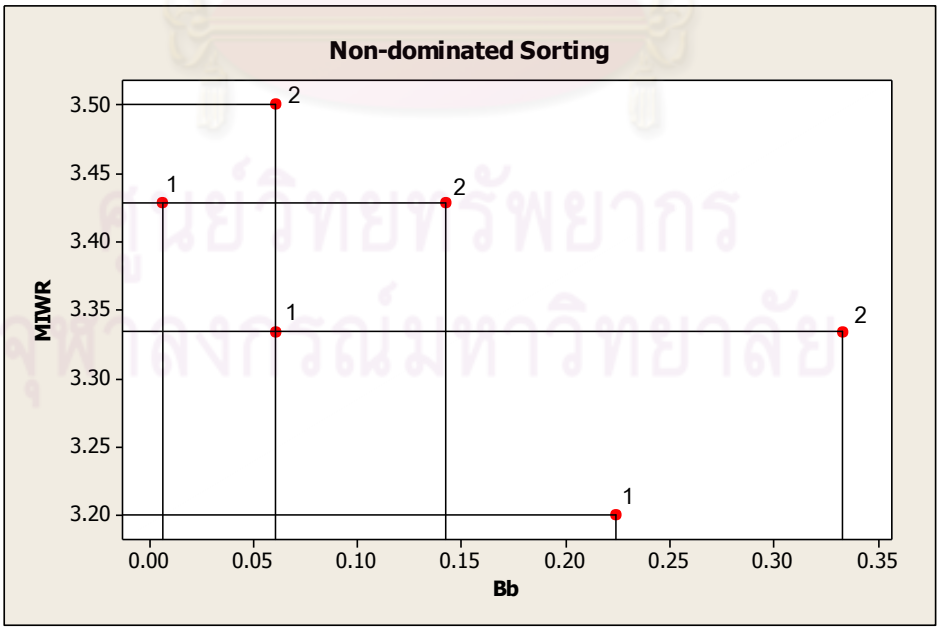
เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เมื่อทำการจัดเรียงแล้ว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด คือ สตริงคำตอบที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งสตริงคำตอบที่จัดเก็บในรอบนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าเมื่อพิจารณารอบถัดไป ดังตารางที่ 3.11

ตารางที่ 3.11 การรวมสตริงคำตอบ

รอบการทำงาน	สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	2	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	3	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
2	1	[2 3 1 6 5 4 9 11 12 7 8 10]
	2	[3 6 1 2 4 5 7 9 11 8 12 10]
	3	[3 2 1 6 4 5 9 8 11 7 12 10]

และทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ดังรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.12



รูปที่ 3.6 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 3.12 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.2000	0.2245	1
3	3.3333	0.0612	1
2	3.4286	0.0068	1
4	3.3333	0.3333	2
6	3.4286	0.1429	2
5	3.5000	0.0612	2

จากสตริงคำตอบทั้ง 6 ตัว จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป จะได้สตริงคำตอบดังตารางที่ 3.13

ตารางที่ 3.13 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
2	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
3	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

3.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธี COMSOAL

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ในวิธี COMSOAL นี้เป็นวิธีการหาค้นหาคำตอบอย่างง่าย จึงมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องไม่มากนัก โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องส่วนใหญ่เป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาคำตอบในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

3.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ หมายถึง จำนวนสตริงคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน ซึ่งหากกำหนดจำนวนประชากรที่มีจำนวนน้อยเกินไปคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสม และถ้าหากกำหนดจำนวนประชากรมากเกินไปจะทำให้เสียเวลา

ในการค้นหาคำตอบนานเกินความจำเป็น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008)

3.4.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะขอเลือกใช้วิธีการจัดอันดับของ Goldberg (1989) (Goldberg's Ranking) หรือ Non-dominated Sorting ในการกำหนดขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Frontier)

ดังนั้นในวิธี COMSOAL นี้จึงไม่มีการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจากเป็นวิธีการค้นหาคำตอบอย่างง่ายโดยใช้เทคนิคการสุ่มด้วยค่าความน่าจะเป็นเท่ากัน

3.5 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวิธี COMSOAL ซึ่งเป็นวิธีการที่มีหลักเกณฑ์ในการใช้คอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และสามารถค้นหาคำตอบที่สามารถยอมรับได้ในทางปฏิบัติได้อย่างรวดเร็ว โดยใช้เทคนิคการสุ่มเลือกงาน และสามารถให้คำตอบที่สามารถยอมรับได้ภายในระยะเวลาที่รวดเร็ว โดยการนำวิธี COMSOAL ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์นั้น สตริงคำตอบที่ใช้ในวิธี COMSOAL เป็นสตริงลำดับขั้นงาน (Task Sequence) ซึ่งสามารถนำลำดับงานที่ได้ไปจัดลงสถานีงานเพื่อคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

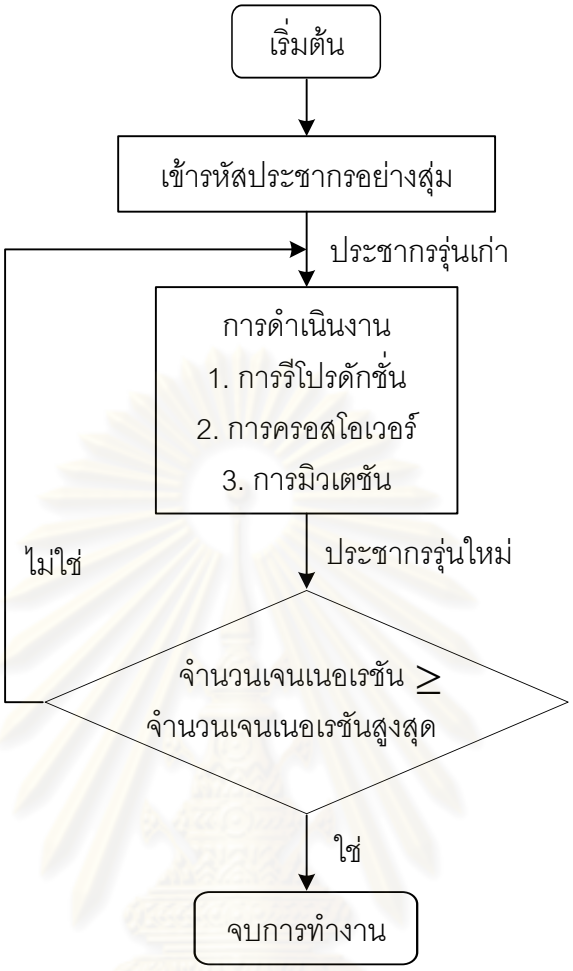
ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และตัวอย่างการคำนวณ รวมถึงการกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยที่แตกต่างกัน 5 ปัญหา

4.1 เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms : GAs)

เจนเนติกอัลกอริทึม เป็นวิธีการทางฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีที่ง่ายในการค้นหาคำตอบของปัญหาต่างๆ เช่น ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัญหาส่วนใหญ่ที่พบเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ดังนั้นการที่จะทำการแก้ปัญหาจึงจำเป็นต้องเสียค่าใช้จ่ายที่สูงมาก วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมนี้จึงเป็นวิธีที่สามารถแก้ปัญหาที่ซับซ้อนได้ โดยคำตอบที่ได้สามารถยอมรับได้ และใช้เวลาในการหาคำตอบไม่นานนัก รวมถึงมีค่าใช้จ่ายไม่สูงมาก

เจนเนติกอัลกอริทึม เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยอาศัยกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics) โดยอาศัยทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่รุ่นลูกหลาน เริ่มจากการคัดเลือกสตริงคำตอบ (String) หรือ โครโมโซม (Chromosome) ออกมาอย่างสุ่ม ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะ (Character) หรือ ยีน (Gene) ที่แตกต่างกันในแต่ละสตริง และนำสตริงคำตอบไปผ่านกระบวนการเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีขั้นตอนพื้นฐานของเจนเนติกอัลกอริทึมดังรูปที่ 4.1 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนพื้นฐานของเจนเนติกอัลกอริทึม

4.1.1 การเข้ารหัสประชากรอย่างสุ่ม

การเข้ารหัสประชากรหรือการแปลงค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปของสตริงที่มีความยาวแนวนอน โดยขึ้นอยู่กับรูปแบบของแต่ละปัญหา ซึ่งอาจใช้วิธีการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง (Binary Coding) หรือแบบอื่นๆ เมื่อกำหนดการเข้ารหัสแล้วจึงทำการสร้างประชากรเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่ม

4.1.2 การดำเนินงาน

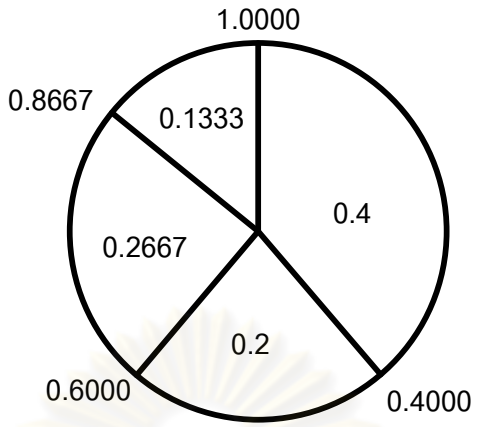
ในขั้นตอนการดำเนินงานนี้จะประกอบไปด้วยการดำเนินงาน 3 ตัว คือ การรีโปรดักชัน (Reproduction) การครอสโอเวอร์ (Crossover) และการมิวเตชัน (Mutation) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- การรีโปรดักชัน เป็นกระบวนการหาความเหมาะสมของสตริงคำตอบ โดยดูจากค่าฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งอาจจะเป็นผลตอบแทน จำนวนสถานีงาน หรือสิ่ง

ที่ต้องการหาค่าที่เหมาะสม (Fitness) อาจจะเป็นค่าสูงสุดหรือต่ำสุด โดยสตริงคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีค่าความน่าจะเป็นในการสร้างสตริงคำตอบรุ่นลูกหลานสูงด้วย ซึ่งพัฒนามาจากทฤษฎีของ ชาร์ส ดาร์วิน ที่ว่าด้วยกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ ตามทฤษฎีผู้อยู่รอดที่มีความเหมาะสม (Survival of Fittest) โดยประชากรที่มีความเหมาะสมตามธรรมชาติจะเป็นผู้อยู่รอดจากการถูกล่า โรคภัย และอุปสรรคอื่นๆ ทำให้สามารถสืบพันธุ์ต่อไปได้ วิธีอย่างง่ายและมีประสิทธิภาพของการรีโปรดักชัน คือ การสร้างวงล้อรูเล็ตซึ่งเริ่มจากสร้างวงล้อให้มีจำนวนช่องเท่ากับจำนวนสตริง โดยที่ขนาดของช่องหรือค่าความน่าจะเป็นมีค่าเป็นสัดส่วนโดยตรงกับค่าความเหมาะสม ดังรูปที่ 4.2 และค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมายแสดงดังตารางที่ 4.1 และในการหมุนวงล้อแต่ละครั้งจะทำให้ได้ตัวแทนในการสืบพันธุ์ (Reproduction Candidate) มา 1 สตริง ตัวอย่างเช่น หมุนวงล้อได้ค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.6893 สตริงคำตอบที่ได้คือ สตริงคำตอบที่ 3 แสดงให้เห็นว่า สตริงคำตอบที่มีค่าความเหมาะสมสูงจะมีโอกาสในการถูกคัดเลือกสูง เพื่อให้เป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในการสร้างสตริงคำตอบรุ่นลูกต่อไป ซึ่งเมื่อทำการหมุนวงล้อจนได้จำนวนสตริงตามที่ต้องการแล้ว สตริงคำตอบจะถูกส่งไปยังการดำเนินการขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างกลุ่มสตริงคำตอบและค่าความเหมาะสม

No.	สตริงคำตอบ	ค่าความเหมาะสม	ความน่าจะเป็น
1	1 2 3 4	6	0.4000
2	2 1 3 4	3	0.2000
3	2 3 1 4	4	0.2667
4	2 3 4 1	2	0.1333
รวม		15	1



รูปที่ 4.2 การรีโปรดักชันอย่างง่ายด้วยวงล้อรูเล็ต

- การครอสโอเวอร์ เป็นกระบวนการนำสตริงคำตอบที่ได้หลังจากการรีโปรดักชันมาทำการจับคู่กับสมาชิกตัวอื่น เพื่อทำการสลับค่ากัน โดยการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบ ซึ่งตำแหน่งที่ทำการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงจะได้มาอย่างสุ่ม
- การมิวเตชัน เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนตำแหน่งภายในสตริง เพื่อให้สตริงคำตอบที่ได้ผ่านกระบวนการรีโปรดักชันและการครอสโอเวอร์มีการเปลี่ยนรูป ซึ่งช่วยป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจเรียกคืน ในบางครั้งคำตอบที่ผ่านการดำเนินงานอาจเข้าไปติดอยู่ในคำตอบเฉพาะที่ ทำให้การเปลี่ยนรูปที่เหมาะสมจะช่วยให้คำตอบสามารถหลุดออกมาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

โดยสตริงคำตอบหลังจากผ่านการดำเนินงานทั้ง 3 ตัว จะเรียกว่า ประชากรรุ่นลูก (New Population) ซึ่งจะกลายเป็นประชากรรุ่นเก่า สำหรับการดำเนินการในเจนเนอเรชันต่อไป ซึ่งกระบวนการจะจะถูกวนซ้ำไปเรื่อยๆ จนถึงจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้

4.2 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ได้แก่ Multi-objective Genetic Algorithm : MOGA, Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II : NSGA-II และ Strength Pareto Evolutionary Algorithm : SPEA ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้เลือกใช้อัลกอริทึมที่ได้รับการยอมรับและเป็นที่นิยมในการ

แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ NSGA-II มาประยุกต์ใช้ ดังรูปที่ 4.3 โดยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

กำหนดให้ t แทนรอบการทำงาน

P_t แทนประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่

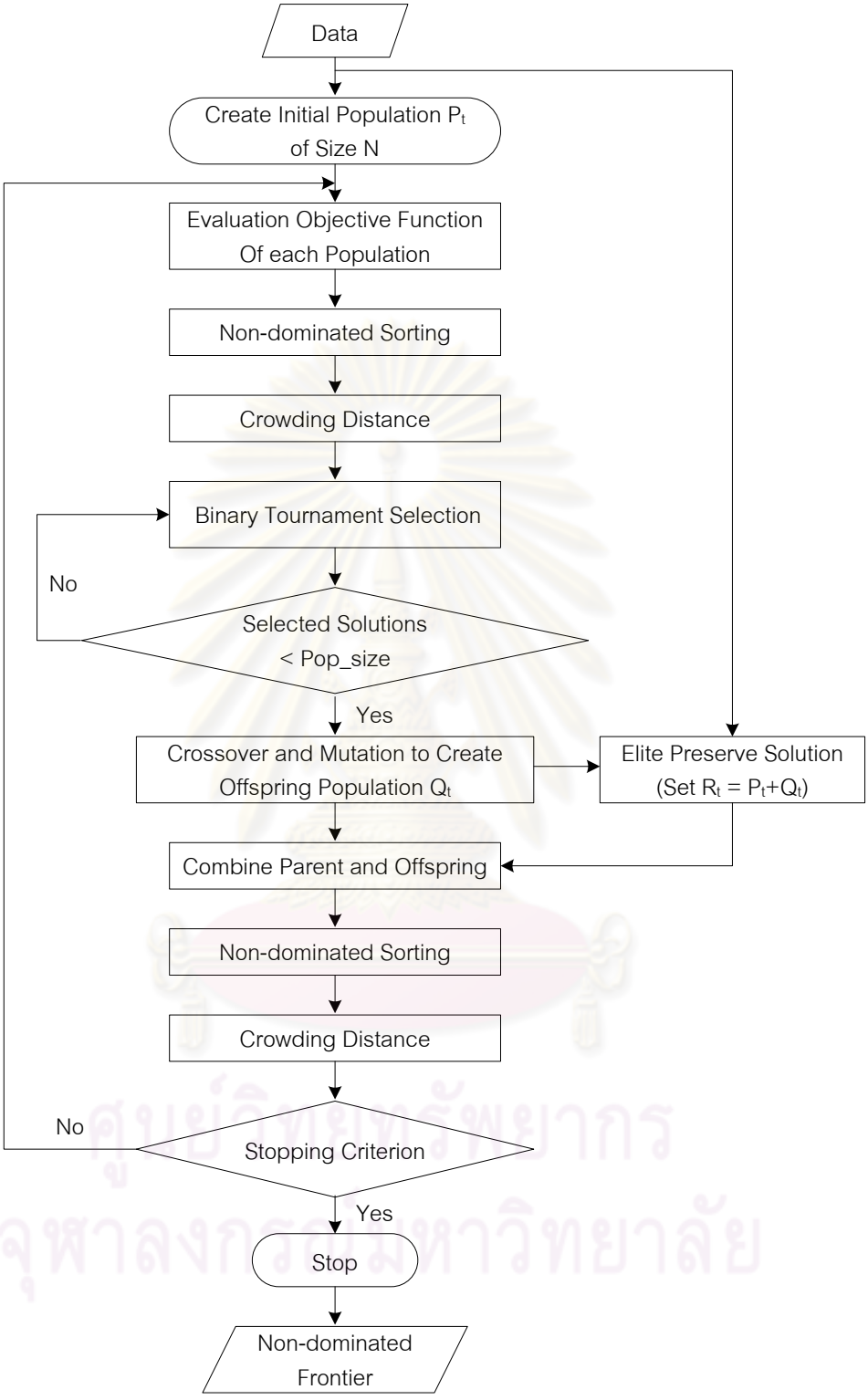
Q_t แทนประชากรคำตอบรุ่นลูกหรือประชากรคำตอบใหม่

R_t แทนการรวมกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่และประชากรคำตอบรุ่นลูก

N แทนจำนวนประชากร

1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มมาจำนวน N ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น P_t (Initial Population)
3. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
4. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่ประชากรคำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยประชากรคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด
5. **Density Information** : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ ด้วยวิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002) โดยประชากรคำตอบที่มีค่า Crowding Distance มาก จะได้รับเลือกให้เข้าสู่ Mating Pool
6. **Selection** : คัดเลือกคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool ด้วยวิธี Binary Tournament Selection โดยคำตอบที่มีความแข็งแรงมาก (มีอันดับที่น้อยกว่า) และมีความหนาแน่นมาก จะมีโอกาสในการถูกเลือกสูง
7. **Crossover** : ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ใน Mating Pool และทำการครอสโอเวอร์ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ P_C โดยส่วนของประชากรคำตอบที่ทำการแลกเปลี่ยนจะได้มาอย่างสุ่ม

8. Mutation : ทำการมิวเตชันประชากรคำตอบด้วยค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ P_m โดยตำแหน่งที่ทำการสลับกันภายในประชากรคำตอบจะได้มาอย่างสุ่ม ประชากรคำตอบใหม่ที่ได้จะเป็นประชากรคำตอบรุ่นลูก
9. Combination Population : ทำการรวมประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ (P_t) และประชากรคำตอบรุ่นลูก (Q_t) ที่ได้รับการปรับปรุงจากการครอสโอเวอร์และการมิวเตชัน ได้เป็นประชากรคำตอบ R_t
10. Selection Next Population : ทำการคัดเลือกประชากรคำตอบ (R_t) สำหรับเจนเนอเรชันถัดไป ที่ได้จากการรวมประชากรคำตอบในขั้นตอนที่ 9 โดยใช้หลักการ Non-dominated Sorting และ Crowding Distance (Dep et al., 2002) ประชากรคำตอบที่มีอันดับหนึ่งจะมีโอกาสได้รับเลือกเป็นคำตอบในเจนเนอเรชันถัดไปสูง และจะมีโอกาสลดหลั่นลงมาตามอันดับที่ ซึ่งถ้าจำนวนประชากรคำตอบในอันดับใดมีจำนวนมากกว่าจำนวนประชากรคำตอบที่ต้องการ (จำนวน N ตัว) จะคัดเลือกประชากรคำตอบโดยพิจารณาค่า Crowding Distance ที่มีค่ามาก
11. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population : เก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 10 ไว้เพื่อจะนำไปทำการปรับปรุง (Update) ในทุกๆ เจนเนอเรชัน ด้วยการเปรียบเทียบกันระหว่างคำตอบที่ได้จากเจนเนอเรชันก่อนหน้า และคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 10 ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดตัวจำนวน N ตัว ซึ่งประชากรคำตอบนั้นที่ได้นั้นจะกลายเป็นประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันถัดไป
12. Stopping Criteria : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 11 ใหม่ และถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 13
13. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 11 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 4.3 ขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II

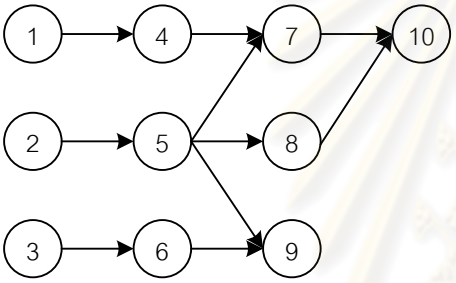
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3 ตัวอย่างการนำวิธี NAGA-II ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

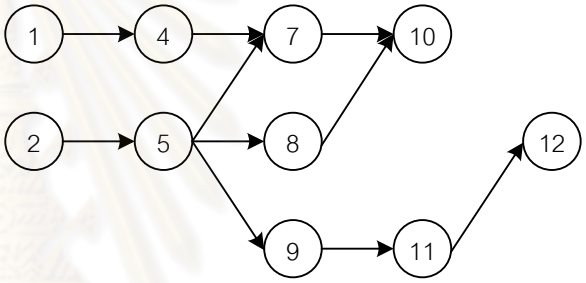
จากขั้นตอนของ NSGA-II ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง ซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ดังนี้

4.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

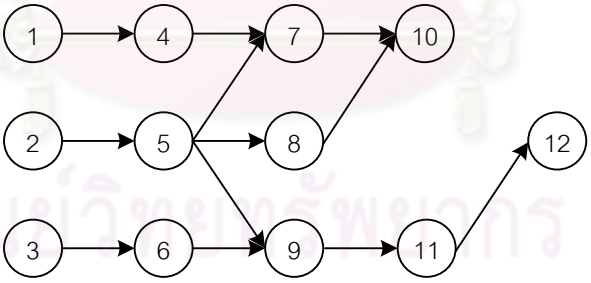
4.3.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 4.4



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 4.4 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

4.3.1.2 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** ซึ่งแสดงดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

4.3.1.3 **สร้างตาราง** Precedence Matrix จากแผนภาพความสัมพันธ์ จะได้

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

4.3.1.4 **พารามิเตอร์ของ** NSGA-II ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
- วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover (WMX)
- วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ 0.7
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เท่ากับ 0.3

4.3.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างสตริงคำตอบของวิธี NSGA-II ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสุ่มสตริงคำตอบโดยวิธีการกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) (Hwang, Katayama and Gen, 2008) เท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น (Popsize = 5) โดยมีขั้นตอนวิธีการสุ่มดังนี้

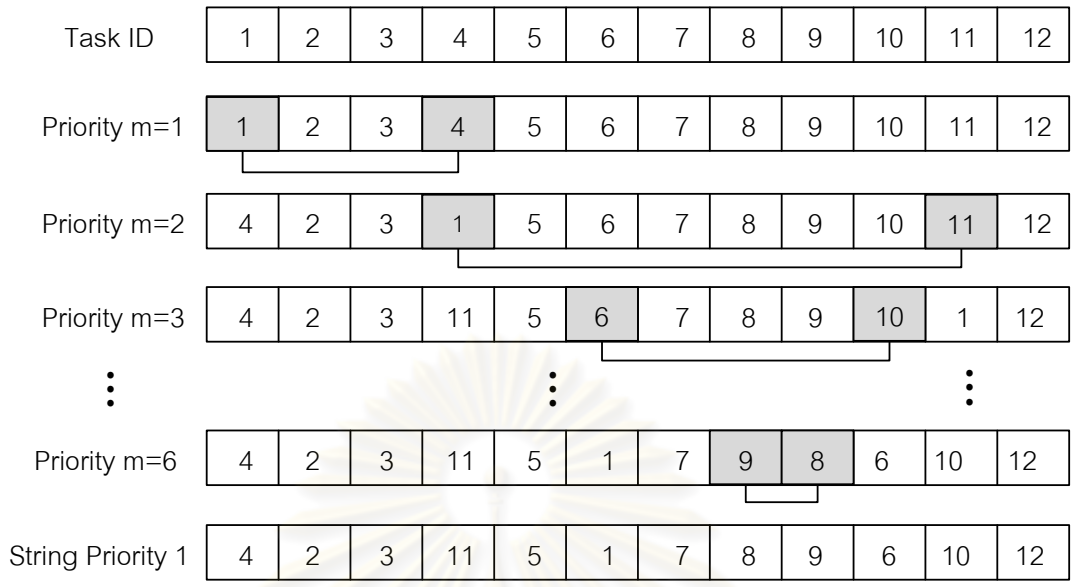
- ใส่ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority Number) โดยเริ่มแรกให้มีค่าเท่ากับขั้นงาน

Task ID	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Priority	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12

รูปที่ 4.5 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น

- สุ่มตำแหน่ง 2 จุด เพื่อทำการสลับค่า โดยจำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งเท่ากับจำนวนครึ่งหนึ่งของงาน หรือ $m/2 = 12/2 = 6$ กำหนดให้ m คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.6 สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงาน

จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงาน 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

String Priority 1 = [4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]

String Priority 2 = [12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]

String Priority 3 = [2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]

String Priority 4 = [5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]

String Priority 5 = [6 2 3 12 4 11 7 8 9 10 1 5]

4.3.3 การถอดรหัสคำตอบ

จากสตริงคำตอบเบื้องต้น 5 ตัวนี้ ยังไม่สามารถนำไปจัดลงสถานีงานได้ ต้องทำการแปลงสตริงคำตอบ (String Priority) ไปเป็นลำดับงาน (Task Sequence) ก่อน ซึ่งขั้นตอนการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงาน มีดังนี้

- พิจารณาว่าขั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยจะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน ซึ่งจากตารางที่ 4.3 พบว่าขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานแรกได้ ได้แก่ ขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า

- จะเห็นได้ว่ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้ ให้พิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงานจากสตริงคำตอบตามตำแหน่งของงานที่เป็นตัวเลือก ซึ่งงานใดที่มีค่าสิทธิในการเลือกงานมากที่สุดจะถูกเลือกลงในลำดับขั้นงานก่อน ซึ่งในที่นี้ดูจากค่าสิทธิในการเลือกงานของสตริงคำตอบที่ 1 พบว่าค่าสิทธิในการเลือกงานของขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 เท่ากับ 4, 2 และ 3 ตามลำดับ จึงทำการเลือกค่าสิทธิในการเลือกงานมากที่สุด คือ ขั้นงานที่ 1
- งานที่ถูกเลือกมาลงในลำดับของขั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานนั้นใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด ซึ่งในที่นี้ ตัดขั้นงานที่ 1 โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานที่ 1 ใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานที่ 1 นั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*1*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
2	*1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	*1*	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	*1*	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	*1*	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	*1*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด

เมื่อพิจารณาจากสตริงคำตอบที่ 1 ทำการถอดรหัสหาลำดับขั้นงานในการทำงานเพื่อนำไปจัดลงในสถานีงาน จะได้ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1

No.	Task	Selected	Side
1	1 , 2 , 3	1	L
2	2 , 3 , 4	4	L
3	2 , 3	3	E
4	2 , 6	2	R
5	5 , 6	5	E
6	6 , 7 , 8	8	R
7	6 , 7	7	E
8	6 , 10	10	E
9	6	6	L
10	9	9	E
11	11	11	E
12	12	12	R

เมื่อทำการแปลงสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว จะได้ลำดับงาน 5 ตัว ดังนี้

Task Sequence 1 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 2 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Task Sequence 3 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 4 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Task Sequence 5 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

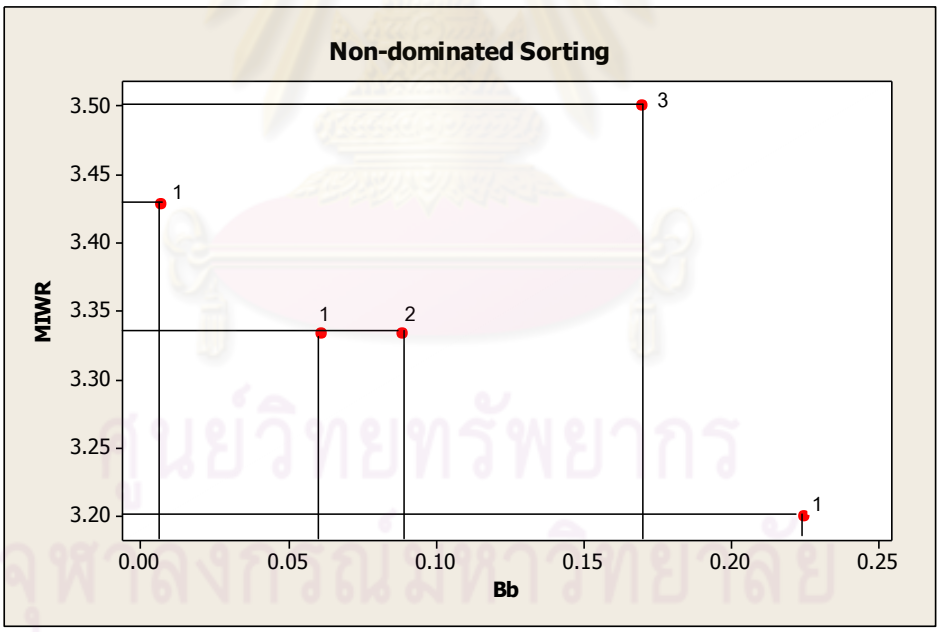
จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว จะทำการจัดลงสถานีงาน และคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยมีวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรงานลงสถานีงานในบทที่ 3 ที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด โดยจากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 4.6 ดังนี้

ตารางที่ 4.6 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701

4.3.4 การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) จะได้ค่าดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 4.7 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.4286	0.0068	1
2	3.3333	0.0884	2
3	3.2000	0.2245	1
4	3.3333	0.0612	1
5	3.5000	0.1701	3

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

การคำนวณหาค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) จะทำการหาค่าสูงสุดและต่ำสุดของวัตถุประสงค์ทั้ง 2 วัตถุประสงค์ โดยจะพิจารณาทีละ Front ซึ่งในที่นี้จะพิจารณา Front ที่ 1 ก่อน

ตารางที่ 4.8 การเรียงลำดับค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 ใน Front ที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	i
3	3.2000	0.2245	1	1
4	3.3333	0.0612	1	2
1	3.4286	0.0068	1	3

จากตารางที่ 4.7 สตริงคำตอบที่ลำดับที่ 1 ($i=1$) หรือมีค่าวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และสตริงคำตอบลำดับสุดท้าย ($i=3$) หรือมีค่าวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบเหล่านี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity)

ส่วนลำดับที่เหลือจะทำการคำนวณหา Crowding Distance ซึ่งในที่นี้คือลำดับที่ 2 โดยคำนวณได้ค่าดังนี้

กำหนดให้ $f_3^{\max}, f_3^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งเท่ากับ 3.4286 และ 3.2000 ตามลำดับ

$f_4^{\max}, f_4^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 4 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำสุด ซึ่งเท่ากับ 0.2245 และ 0.0068 ตามลำดับ

$$cd_1\left(x_{[2,3]}\right)=\left|\frac{f_3\left(x_{[2+1,3]}\right)-f_3\left(x_{[2-1,3]}\right)}{f_3^{\max}-f_3^{\min}}\right|$$

$$cd_1\left(x_{[2,3]}\right)=\left|\frac{3.4286-3.2000}{3.4286-3.2000}\right|=\left|\frac{0.2286}{0.2286}\right|=1.0000$$

และ

$$cd_2\left(x_{[2,4]}\right)=\left|\frac{f_4\left(x_{[2+1,4]}\right)-f_3\left(x_{[2-1,4]}\right)}{f_4^{\max}-f_4^{\min}}\right|$$

$$cd_2\left(x_{[2,4]}\right)=\left|\frac{0.0068-0.2245}{0.2245-0.0068}\right|=\left|\frac{-0.2177}{0.2177}\right|=1.0000$$

ลำดับที่ 2 จะมีค่า Crowding Distance เท่ากับ 1+1 = 2.0000 ในส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 และ 3 มีค่าเดียวจึงกำหนดให้มีค่าเป็นอนันต์ (Infinity) ดังนั้นค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว จึงเป็นดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	Infinity

4.3.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบทำโดยดูจากค่า Fitness ซึ่งถ้าค่า Fitness มากจะถือว่าเป็นสตริงคำตอบที่มีความแข็งแรงจะมีโอกาสที่ถูกคัดเลือกมากกว่าตัวที่มีค่า Fitness น้อย วิธีการคัดเลือกคำตอบที่ใช้ คือ วิธี Binary Tournament Selection ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี Roulette Wheel Selection โดยสตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน Popsize ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อรอการจับคู่และการดำเนินงานต่อไป

4.3.5.1 การสร้างวงล้อรูเล็ต

วงล้อรูเล็ต คือ วงกลมที่มีพื้นที่ขนาด 1 หน่วย โดยได้แบ่งพื้นที่ออกเป็นส่วนๆ ตามจำนวนของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชัน พื้นที่แต่ละส่วนจะมีขนาดเท่ากับความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของสตริงคำตอบแต่ละตัว มีวิธีการสร้างดังนี้

1. หาค่า Fitness รวมของสตริงคำตอบทั้งหมด Popsize ตัว ดังสมการที่ (4.1)

$$F = \sum_{i=1}^{popsize} f(x_i) \tag{4.1}$$

โดยที่ $f(x_i)$ คือ ค่า Fitness ของสตริงตัวที่ i

2. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ (4.2)

$$p_i = \frac{f(x_i)}{F} \qquad i = 1,2,..., popsize \tag{4.2}$$

3. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม (Cumulative Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ (4.3)

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} p_j \tag{4.3}$$

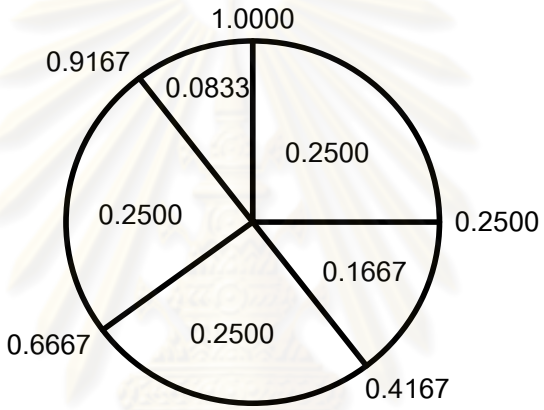
โดยมีการสร้างวงล้อรูเล็ตแสดงได้ดังตารางที่ 4.10-4.11 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.10 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	3	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	3	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	3	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	1	Infinity

ตารางที่ 4.11 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	3	0.2500	0.2500
2	2	0.1667	0.4167
3	3	0.2500	0.6667
4	3	0.2500	0.9167
5	1	0.0833	1
รวม	12	1	



รูปที่ 4.8 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

4.3.5.2 วิธี Tournament Selection

การคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Tournament Selection เป็นการสุ่มสตริงคำตอบจากการหมุนวงล้อรูเล็ตมา 2 ตัว แล้วนำค่า Fitness ของสตริงคำตอบ 2 ตัวนั้นมาเปรียบเทียบกันอีกครั้งหนึ่ง สตริงคำตอบที่ถูกเลือกจึงเป็นตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่า ต่างจากการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Roulette Wheel Selection ซึ่งจะทำการสุ่มสตริงคำตอบจากวงล้อรูเล็ตอย่างเดียว ซึ่งมีโอกาสที่จะสุ่มได้สตริงคำตอบที่มีค่า Fitness น้อย สำหรับขั้นตอนการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Tournament Selection มีดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า คือ r_1
2. ถ้า $r_1 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่ถ้า $q_{i-1} < r_1 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าน้อยกว่าจำนวน Popsize) ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวแรก
3. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า คือ r_2

4. ถ้า $r_2 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ *2* แต่ถ้า $q_{i-1} < r_2 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าน้อยกว่าจำนวน *Popsize*) ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวที่ *2*

5. นำค่า Fitness ของสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวมาทำการเปรียบเทียบกัน ตัวใดมีค่า Fitness มากกว่าให้เลือกตัวนั้นเข้าสู่ Mating Pool

6. ทำตามขั้นตอนข้อที่ 1 ถึง 5 จนกว่าจะได้สตริงคำตอบใน Mating Pool ครบ Popsize ตัว

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 3 1 3 และ 3 ดังตารางที่ 4.12 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ 1-5 ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 4.12 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	Selected
1	0.1834	0.2500	1	3	0.0960	0.2500	1	3	1
2	0.9962	1	5	1	0.4589	0.6667	3	3	3
3	0.2381	0.2500	1	3	0.3058	0.4167	2	2	1
4	0.6531	0.6667	3	3	0.7673	0.9167	4	3	3
5	0.5634	0.6667	3	3	0.9235	1	5	1	3

<u>หมายเหตุ</u> สตริงคำตอบที่ 3 และ 4 มีค่า Fitness เท่ากันคือเท่ากับ 3 ดังนั้นจึงพิจารณาเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Crowding Distance ที่มีค่าเป็นอนันต์ (Infinity) คือ สตริงคำตอบที่ 3

4.3.6 การครอสโอเวอร์

4.3.6.1 การจับคู่สตริงคำตอบ

จากสตริงคำตอบจำนวน Popsize ตัวที่ได้มาหลังการคัดเลือก จะมีสตริงคำตอบบางตัวเท่านั้นที่จะถูกนำมาจับคู่ เพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยจำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาจับคู่ (N_C) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (P_C) ส่วน สตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกนำไปจับคู่จะยังคงสภาพเดิมอยู่ใน Mating Pool เพื่อเป็นประชากรในเจนเนอเรชันต่อไป การจับคู่สตริงคำตอบมีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับสตริงคำตอบแต่ละตัว

2. สตริงคำตอบตัวที่มีค่า r น้อยกว่า P_C จะถูกเลือกไปจับคู่

3. ถ้าไม่มีสตริงคำตอบตัวใดเลยที่ให้ค่า r น้อยกว่า P_C ให้ทำในข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง

4. ถ้ามีสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_C ทั้งหมดจำนวน N_C ตัว โดยที่ N_C เป็นจำนวนคี่ ให้ทำการปรับให้เป็นจำนวนคู่ก่อน โดยมีเงื่อนไขในการปรับดังนี้

- ถ้า N_C เป็นจำนวนคี่ ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง Popsize ให้ทำการสุ่มตัวเลข 0 หรือ 1 มา 1 ค่า ซึ่งถ้าสุ่มได้เลข 1 จะทำการเพิ่มสตริงคำตอบเข้าไปอีก 1 ตัว โดยสุ่มเลือกสตริงคำตอบตัวที่เหลือใน Mating Pool แต่ถ้าสุ่มได้เลข 0 ให้ทำการตัดสตริงคำตอบจากตัวที่เลือกไว้ทิ้ง 1 ตัว
- ถ้า N_C มีค่าเท่ากับ 1 จะทำการเพิ่มสตริงคำตอบเข้าไปอีก 1 ตัวเท่านั้น
- ถ้า N_C มีค่าเท่ากับ Popsize ซึ่งเป็นจำนวนคี่ ให้ทำการตัดสตริงคำตอบที่เลือกไว้ทิ้ง 1 ตัวเท่านั้น

5. เมื่อได้สตริงคำตอบทั้งหมด N_C ตัว ให้นำมาจับคู่ตามลำดับ ซึ่งจะได้จำนวนคู่เท่ากับ $N_C/2$ คู่

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่มค่า r น้อยกว่าค่า P_C ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_C = 0.7$ ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 = 3.5$ หรือ 4 ตัว

ตารางที่ 4.13 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.2870	Selected
2	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.3592	Selected
3	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.4837	Selected
4	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.6278	Selected
5	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.8057	-

ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่นำไปครอสโอเวอร์ คือ สตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 1-2 และ 3-4

4.3.6.2 การครอสโอเวอร์

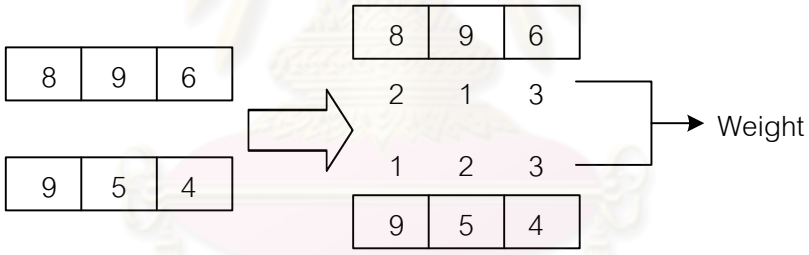
สตริงคำตอบที่ได้ทำการจับคู่จะถูกนำมาทำการครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบซึ่งกันและกัน เพื่อให้เกิดสตริงคำตอบใหม่ โดยสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กัน จะถูกเรียกว่า สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ (Parent) และสตริงคำตอบที่ได้หลังจากการแลกเปลี่ยนจะถูกเรียกว่า สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) ซึ่งวิธีการครอสโอเวอร์มีหลายวิธี เช่น วิธี Partial Match Crossover (PMX), วิธี Cycle Crossover (CX), วิธี Order Crossover (OX) และวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) เป็นต้น ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธีการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX)

นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 8 และ 10

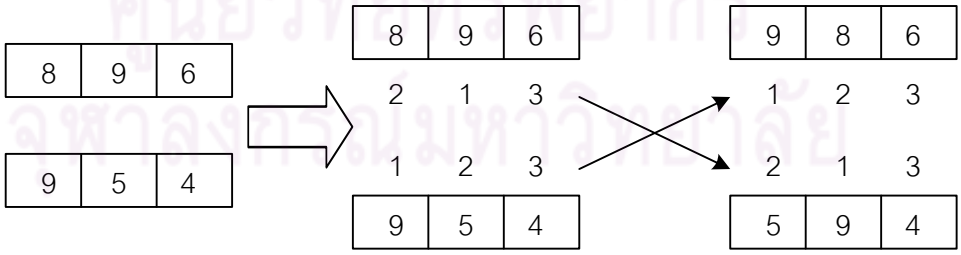
Parent 1 = [4 2 3 11 5 1 7 \|8 9 6\| 10 12]

Parent 2 = [2 1 3 12 6 10 8 \|9 5 4\| 11 7]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [8,10] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.9



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1

รูปที่ 4.9 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 1 = [4 2 3 11 5 1 7 |9 8 6| 10 12]

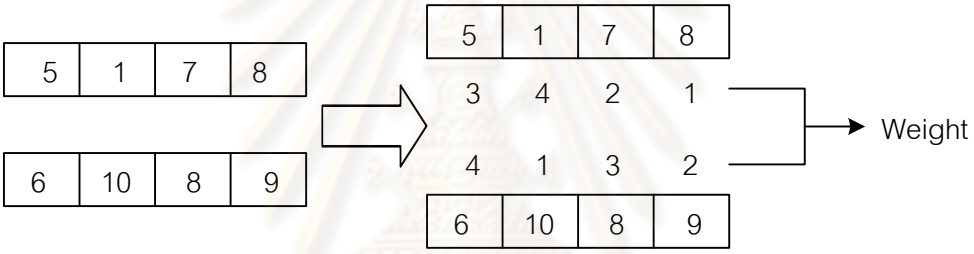
Offspring 2 = [2 1 3 12 6 10 8 |5 9 4| 11 7]

นำสตริงที่ 3 และ 4 ไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 8

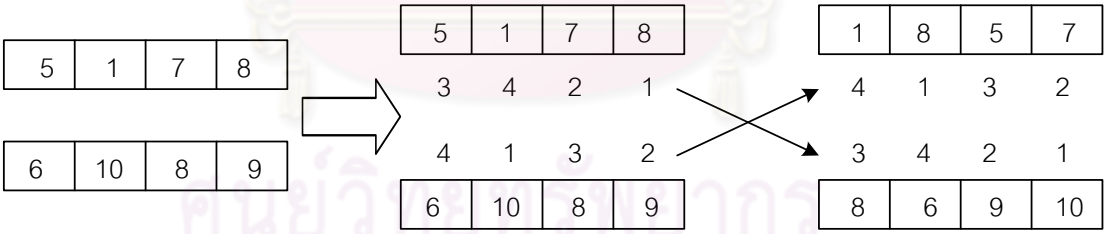
Parent 3 = [4 2 3 11 |5 1 7 8| 9 6 10 12]

Parent 4 = [2 1 3 12 |6 10 8 9| 5 4 11 7]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [5,8] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.10



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยนค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2

รูปที่ 4.10 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 3 = [4 2 3 11 |1 8 5 7| 9 6 10 12]

Offspring 4 = [2 1 3 12 |8 6 9 10| 5 4 11 7]

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

4.3.7 การมิวเตชัน

การมิวเตชัน เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจเรียกคืน ในบางครั้งคำตอบที่ผ่านการดำเนินงานต่างๆ อาจเข้าไปติดอยู่ในคำตอบเฉพาะที่ ทำให้การเปลี่ยนรูปที่เหมาะสมด้วยการมิวเตชันช่วยให้คำตอบสามารถหลุดออกมาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีการมิวเตชันนั้นมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะขอเสนอวิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งสตริงที่ได้จากการมิวเตชันนี้จะไม่ขัดกับข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นค่าสิทธิในการเลือกงาน (String Priority) ซึ่งการพิจารณาว่าสตริงคำตอบตัวใดจะถูกนำมามิวเตชันนั้นขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) โดยเริ่มจากการสุ่มค่า r ซึ่งมีค่าระหว่าง [0,1] ให้กับสตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool จากนั้นทำการเลือกเฉพาะสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_m ไปทำการมิวเตชัน

กำหนดให้ $P_m = 0.3$ ซึ่งจะทำให้ได้สตริงคำตอบ 30% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.3 \times 5 = 1.5$ หรือ 2 ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน ซึ่งสตริงคำตอบนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า P_m จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]	0.3874	-
2	[2 1 3 12 6 10 8 5 9 4 11 7]	0.8392	-
3	[4 2 3 11 1 8 5 7 9 6 10 12]	0.0581	Selected
4	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]	0.9951	-
5	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.2098	Selected

ดังนั้นสตริงคำตอบตัวที่ 3 และ 4 จะถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยวิธี Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งเป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่ง 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 3 โดยสุ่มได้ตัวเลข 3 และ 9 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 3	4	2	3	11	1	8	5	7	9	6	10	12
Offspring 3	4	2	9	11	1	8	5	7	3	6	10	12

รูปที่ 4.11 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 3

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 5 โดยสุ่มได้ตัวเลข 1 และ 7 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 5	2	1	3	12	6	10	8	9	5	4	11	7
Offspring 5	8	1	3	12	6	10	2	9	5	4	11	7

รูปที่ 4.12 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว เพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 4.15 สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]
2	[2 1 3 12 6 10 8 5 9 4 11 7]
3	[4 2 9 11 1 8 5 7 3 6 10 12]
4	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]
5	[8 1 3 12 6 10 2 9 5 4 11 7]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.8 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเก็บค่าดีที่สุดและป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน อาจทำให้เกิดคำตอบที่แย่กว่าคำตอบที่เคยปรากฏในเจนเนอเรชันที่ผ่านมา จึงได้มีการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของกลุ่มสตริงคำตอบชุดใหม่ที่ได้ และทำการเก็บสตริงคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution ซึ่งได้จากการรวมกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ และประชากรคำตอบรุ่นลูกในสถานที่รวมคำตอบ และทำการเก็บคำตอบที่ได้จาก Non-dominated Sorting และทำการปรับปรุง (Update) สตริงคำตอบใหม่ในสถานที่เก็บคำตอบด้วยการย้ายสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตัวเดิมออก และเพิ่มสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตัวใหม่เข้ามา โดยสตริงคำตอบที่ได้ในขั้นตอนนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันต่อไป โดยจากสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ และสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ได้ จะนำมารวมกันและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้เท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 4.16 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
	2	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]
	3	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
	4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
	5	[6 2 3 12 4 11 7 8 9 10 1 5]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]
	7	[2 1 3 12 6 10 8 5 9 4 11 7]
	8	[4 2 9 11 1 8 5 7 3 6 10 12]
	9	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]
	10	[8 1 3 12 6 10 2 9 5 4 11 7]

สตริงคำตอบที่นำมารวมกัน จะทำการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ โดยการแปลงค่าสตริงคำตอบให้เป็นลำดับขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ทำการรวมกัน

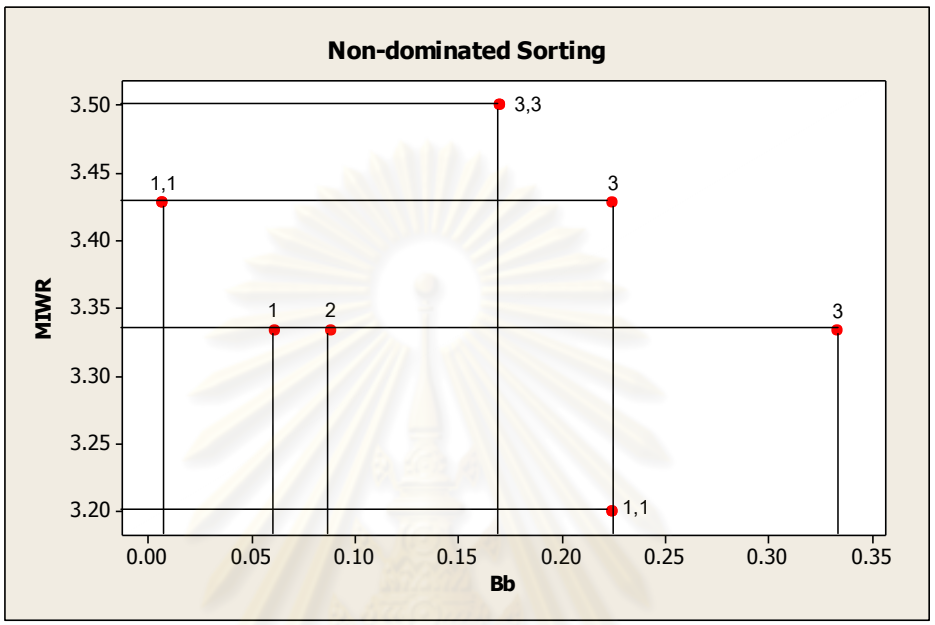
ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	2	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	3	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	4	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
	5	[1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	7	[3 6 1 4 2 5 9 11 7 12 8 10]
	8	[3 6 1 4 2 5 8 7 10 9 11 12]
	9	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	10	[1 4 3 6 2 5 8 9 11 12 7 10]

จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ จะนำมาคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์ ซึ่งได้ค่าดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701
6	2	4	3.4286	0.0068
7	2	4	3.3333	0.3333
8	2	4	3.4286	0.2245
9	2	4	3.2000	0.2245
10	2	4	3.5000	0.1701

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และ คำนวณค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) ได้ดังรูปที่ 4.13 และตารางที่ 4.19



รูปที่ 4.13 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบ

ตารางที่ 4.19 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	0.6667
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	0.7619
6	3.4286	0.0068	1	0.6667
7	3.3333	0.3333	3	Infinity
8	3.4286	0.2245	3	2.0000
9	3.2000	0.2245	1	Infinity
10	3.5000	0.1701	3	0.7619

ทำการเรียงค่า Dummy Fitness จากน้อยไปมาก และภายใน Front ทำการเรียงค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) จากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
9	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
1	3.4286	0.0068	1	0.6667
6	3.4286	0.0068	1	0.6667
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
7	3.3333	0.3333	3	Infinity
8	3.4286	0.2245	3	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	0.7619
10	3.5000	0.1701	3	0.7619

เมื่อทำการจัดเรียงแล้ว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยจะพิจาณาทีละ Front จากน้อยไปมาก ในที่นี้สตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 มีจำนวนสตริงคำตอบ 5 ตัว ซึ่งมีจำนวนเท่ากับสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บ (Popsize = 5) จึงได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 4.21

ตารางที่ 4.21 สตริงคำตอบรุ่นลูกที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

สตริงคำตอบที่	String Priority
3	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
9	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]
4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
6	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]

4.3.9 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

การแก้ปัญหาในรอบที่ 2 นี้ ทำเช่นเดียวกับในรอบที่ 1 โดยนำสตริงคำตอบที่จัดเก็บในรอบที่ 1 มาเป็นสตริงตำตอบเบื้องต้น จากสตริงคำตอบที่ได้ในรอบที่ 1 (ตารางที่ 4.21) นำมาแปลงเป็นลำดับงานได้ดังนี้

Task Sequence 1 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 2 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 3 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Task Sequence 4 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 5 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

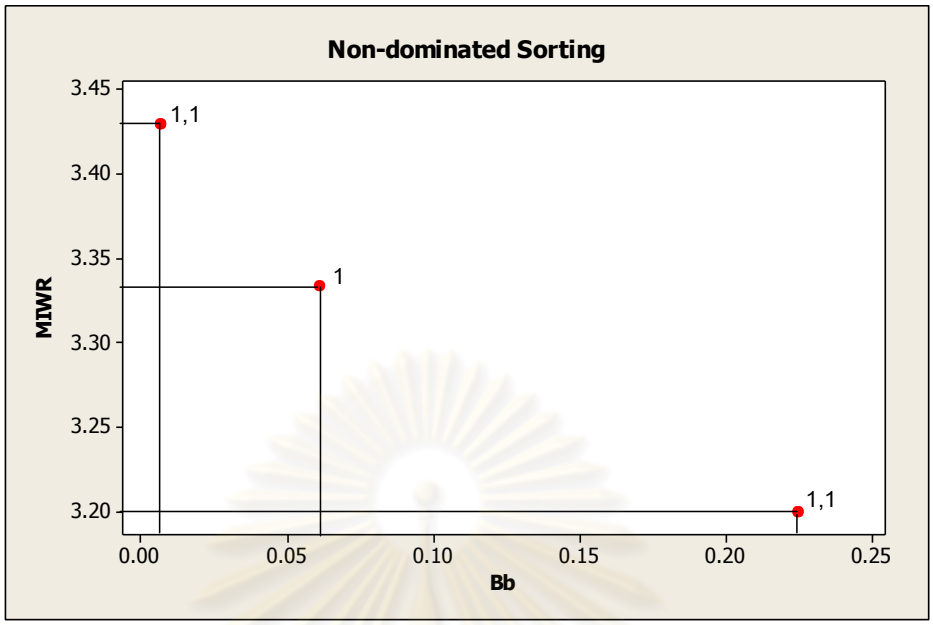
จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.2000	0.2245
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.3333	0.0612
4	2	4	3.4286	0.0068
5	2	4	3.4286	0.0068

การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยจะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) จะได้ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 4.23 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

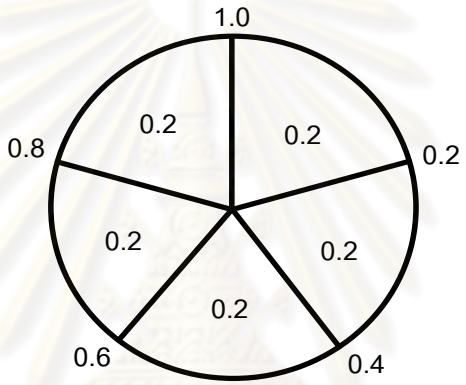
สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.4286	0.0068	1	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบจากรุ่นพ่อแม่จะใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting และทำการหาค่า $p_i = 1/5 = 0.2$ ดังรูปที่ 4.15 และตารางที่ 4.24

ตารางที่ 4.24 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	1	0.2	0.2
2	1	0.2	0.4
3	1	0.2	0.6
4	1	0.2	0.8
5	1	0.2	1
รวม	5	1	



รูปที่ 4.15 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัว คือ สตริงหมายเลข 5 4 2 4 และ 2 และกำหนดเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 4 และ 5

ตารางที่ 4.25 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	Selected
1	0.9641	1	5	1	0.4572	0.6	3	1	5
2	0.8740	1	5	1	0.7896	0.8	4	1	4
3	0.0689	0.2	1	1	0.3640	0.4	2	1	2
4	0.5873	0.6	3	1	0.7321	0.8	4	1	4
5	0.4075	0.6	3	1	0.2890	0.4	2	1	2

การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่มค่า r น้อยกว่าค่า P_C ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_C = 0.7$ ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 = 3.5$ หรือ 4 ตัว

ตารางที่ 4.26 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]	0.1962	Selected
2	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.0087	Selected
3	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]	0.1281	Selected
4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.5922	Selected
5	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]	0.9073	-

ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่นำไปครอสโอเวอร์ คือ สตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 2-3 และ 1-4

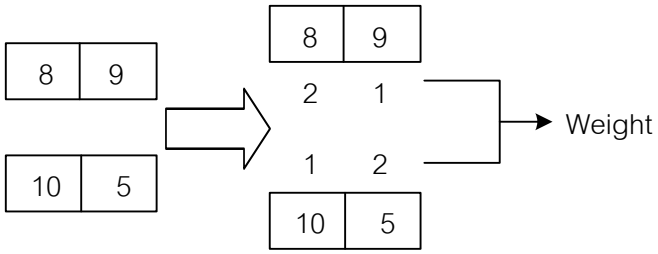
นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 8 และ 9

Parent 1 = [4 2 3 11 5 1 7 |8 9| 6 10 12]

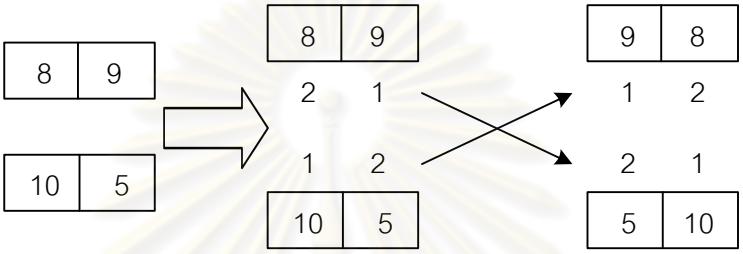
Parent 2 = [2 1 3 12 8 6 9 |10 5| 4 11 7]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [8,9] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 4.16

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1

รูปที่ 4.16 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 2, 3

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 1 = [4 2 3 11 5 1 7 |9 8| 6 10 12]

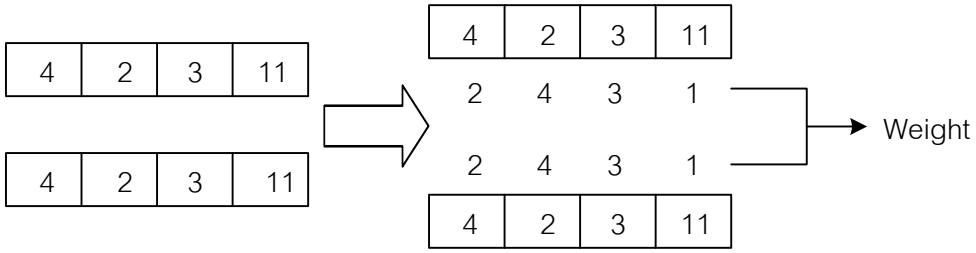
Offspring 2 = [2 1 3 12 8 6 9 |5 10| 4 11 7]

นำสตริงที่ 1 และ 4 ไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 4

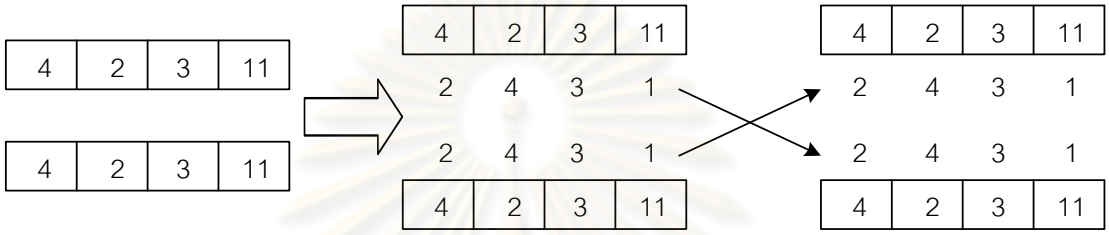
Parent 3 = [|4 2 3 11| 5 1 7 9 8 6 10 12]

Parent 4 = [|4 2 3 11| 5 1 7 8 9 6 10 12]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [1,4] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 4.17



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2

รูปที่ 4.17 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 4

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 3 = [|4 2 3 11| 5 1 7 9 8 6 10 12]

Offspring 4 = [|4 2 3 11| 5 1 7 8 9 6 10 12]

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

การมิวเตชัน

กำหนดให้ $P_m = 0.3$ ซึ่งจะทำให้ได้สตริงคำตอบ 30% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.3 \times 5 = 1.5$ หรือ 2 ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน ซึ่งสตริงคำตอบนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า P_m จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]	0.0462	Selected
2	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]	0.2953	Selected
3	[2 1 3 12 8 6 9 5 10 4 11 7]	0.6008	-
4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.8421	-
5	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]	0.7213	-

ดังนั้นสตริงคำตอบตัวที่ 2 และ 3 จะถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยวิธี Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งเป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่ง 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 1 โดยสุ่มได้ตัวเลข 1 และ 4 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 1	4	2	3	11	5	1	7	9	8	6	10	12
Offspring 1	11	2	3	4	5	1	7	9	8	6	10	12

รูปที่ 4.18 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 1

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 2 โดยสุ่มได้ตัวเลข 8 และ 9 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 2	4	2	3	11	5	1	7	9	8	6	10	12
Offspring 2	4	2	3	11	5	1	7	8	9	6	10	12

รูปที่ 4.19 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 2

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว เพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 4.28 สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[11 2 3 4 5 1 7 9 8 6 10 12]
2	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
3	[2 1 3 12 8 6 9 5 10 4 11 7]
4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
5	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

จากสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ (P) และสตริงคำตอบรุ่นลูก (Q) จะนำมารวมกันและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้

ตารางที่ 4.29 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
	2	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]
	3	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
	4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
	5	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[11 2 3 4 5 1 7 9 8 6 10 12]
	7	[2 1 3 12 8 6 9 5 10 4 11 7]

สตริงคำตอบที่นำมารวมกัน จะทำการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ โดยการแปลงค่าสตริงคำตอบให้เป็นลำดับขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ทำการรวมกัน

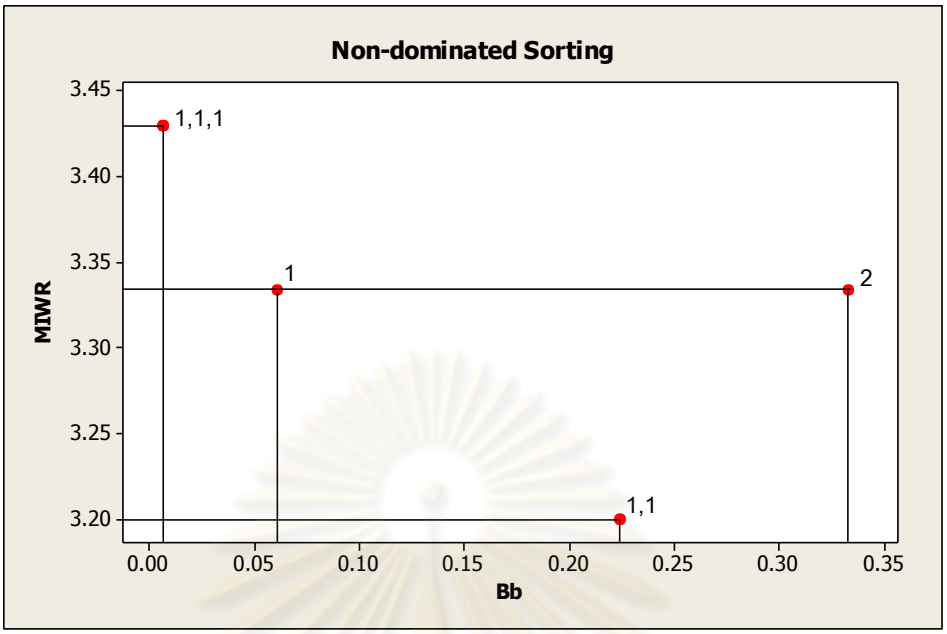
ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	2	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	3	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
	4	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	5	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	7	[3 6 1 4 2 5 9 11 7 12 8 10]

จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ จะนำมาคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์ ซึ่งได้ค่าดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.2000	0.2245
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.3333	0.0612
4	2	4	3.4286	0.0068
5	2	4	3.4286	0.0068
6	2	4	3.4286	0.0068
7	2	4	3.3333	0.3333

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และ คำนวณค่า Crowding Distance ได้รูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.32



รูปที่ 4.20 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบ

ตารางที่ 4.32 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.4286	0.0068	1	Infinity
6	3.4286	0.0068	1	Infinity
7	3.3333	0.3333	2	Infinity

ทำการเรียงค่า Dummy Fitness จากน้อยไปมาก และภายใน Front ทำการเรียงค่า Crowding Distance จากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.4286	0.0068	1	Infinity
6	3.4286	0.0068	1	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2.0000
7	3.3333	0.3333	2	Infinity

เมื่อทำการจัดเรียงแล้ว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยจะพิจาณาทีละ Front จากน้อยไปมาก ในที่นี้สตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 มีจำนวนสตริงคำตอบ 6 ตัว คือ สตริงคำตอบที่ 1, 2, 4, 5, 6 และ 3 ซึ่งเกินสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บ (Popsize = 5) จึงทำการสุ่มตัดสตริงคำตอบ 1 ตัว สมมติสุ่มได้สตริงคำตอบที่ 6 ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด คือ สตริงคำตอบที่ 1, 2, 4, 5 และ 3 เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

สตริงคำตอบที่	String Priority
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
2	[2 1 3 12 8 6 9 10 5 4 11 7]
3	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
4	[4 2 3 11 5 1 7 9 8 6 10 12]
5	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

4.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว ซึ่งในส่วนนี้จะขอเสนอการทดสอบค่าพารามิเตอร์ โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะ 4 ตัว ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) โดยวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

4.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้จะมีจำนวนเท่ากับทุกวิธีการ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008)

4.4.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ในงานวิจัยนี้จะขอเลือกใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989)

4.4.3 วิธีกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบ

วิธีการกำหนดค่าความหนาแน่น หรือค่าการแบ่งปันความแข็งแรง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002) ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างสมาชิกประชากรคำตอบภายในอันดับเดียวกัน

4.4.4 วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ

วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection Method) เป็นวิธีที่ใช้ในการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีอยู่หลายตัวมาจำนวนหนึ่งเพื่อที่จะนำไปใช้ในกระบวนการต่างๆ โดยวิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ วิธี Binary Tournament Selection

4.4.5 วิธีการและค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover Method) เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) (Hwang, Katayama and Gen, 2008) และความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์สูง ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมดีขึ้น โดยความน่าจะเป็นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 (De Jong and Spears, 1990) โดยงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เป็นปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่

- ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.6
- ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.7
- ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.8
- ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.9

4.4.6 วิธีการและค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน

วิธีการมิวเตชัน (Mutation Method) เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธี Reciprocal Exchange Mutation (Hwang, Katayama and Gen, 2008) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชันต่ำ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมดีขึ้น โดยความน่าจะเป็นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 (De Jong and Spears, 1990) โดยงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเป็นปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่

- ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1
- ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2
- ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.3
- ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.4

4.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจะทำการทดลองแบบ Full Factorial Design โดยในแต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำ (Replication) เท่ากับ 2 ทดลอง ซึ่งมีปัญหาการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา คือ

- ปัญหาการทดลองที่ 1 มีจำนวนขั้นงาน 12 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 7 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 10 เจนเนอเรชัน

- ปัญหาการทดลองที่ 2 มีจำนวนขั้นงาน 65 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 490 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 250 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 3 มีจำนวนขั้นงาน 148 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 408 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 4 มีจำนวนขั้นงาน 205 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 2454 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 600 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 5 มีจำนวนขั้นงาน 183 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 22 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ต้องทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

ตารางที่ 4.35 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	จำนวนระดับของปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	4	ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.6 ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.7 ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.8 ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.9
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	4	ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1 ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2 ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.3 ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.4

จะได้ว่าการทดลองในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมีปัจจัย 2 ปัจจัยๆ ละ 4 ระดับ และมีการทำซ้ำเท่ากับ 2 ดังนั้นจะมีจำนวนทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ในแต่ละปัญหาการทดลองเท่ากับ 4x4x2 = 32 การทดลอง

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองทั้งหมดจะทำการแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จึงทดสอบด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) โดยมีการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 ขั้นตอน ดังนี้

1. การวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยถ้าหากทดสอบแล้วพบว่า มีปัจจัยที่ให้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดเพียงระดับปัจจัยเดียว จะทำการกำหนดระดับของปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แต่ถ้าพบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองหลายระดับ หรือยังไม่สามารถระบุระดับปัจจัยว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จะนำปัจจัยนั้นไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 2 ต่อไป ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดที่ถือว่าระดับของปัจจัยที่ทดสอบนั้นมีคุณภาพ จะมีค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีค่าใกล้เคียงกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

2. การวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ ซึ่งจะวิเคราะห์เช่นเดียวกับในขั้นตอนแรกคือ ถ้าทดสอบแล้วพบว่ามีปัจจัยที่ให้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดเพียงระดับปัจจัยเดียว จะทำการกำหนดระดับของปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม แต่ถ้าพบว่ามีปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองหลายระดับ หรือยังไม่สามารถระบุระดับปัจจัยว่าเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จะนำปัจจัยนั้นไปทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 3 ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดที่ถือว่าระดับของปัจจัยที่ทดสอบนั้นมีคุณภาพ จะมีค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองมีการกระจายสม่ำเสมอ

3. การวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ โดยจะวิเคราะห์หลังจากได้ทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 มาแล้ว พบว่ายังไม่สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ ซึ่งถ้าหากทำงานวิเคราะห์ในขั้นตอนนี้แล้วยังไม่สามารถระบุค่าพารามิเตอร์ได้ ให้ไปทำในขั้นตอนที่ 4 ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุดที่ถือว่าระดับของปัจจัยที่ทดสอบนั้นมีคุณภาพ จะมีค่าเข้าใกล้ 1 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีคำตอบเทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

4. การวิเคราะห์โดยใช้ตัวชี้วัดด้านเวลาในการคำนวณ ซึ่งจะทำการเลือกระดับของปัจจัยที่มีเวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนที่ 1-3 นั้น มีวิธีการวิเคราะห์ที่เหมือนกัน ดังนี้

1) การวิเคราะห์ ANOVA เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาว่าปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

2) การวิเคราะห์คู่ลำดับ เป็นการวิเคราะห์เพื่อหาว่าระดับของปัจจัยใดบ้างที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ที่แตกต่างจากระดับปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

4.6.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 12 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.007528	0.007528	0.002509	0.76	0.532
Pm	3	0.014115	0.014115	0.004705	1.43	0.272
Pc*Pm	9	0.025011	0.025011	0.002779	0.84	0.589
Error	16	0.052745	0.052745	0.003297		
Total	31	0.099399				

S = 0.0574159 R-Sq = 46.94% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.21 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.0028278	0.0028278	0.0009426	1.70	0.208
Pm	3	0.0002819	0.0002819	0.0000940	0.17	0.916
Pc*Pm	9	0.0055516	0.0055516	0.0006168	1.11	0.409
Error	16	0.0088839	0.0088839	0.0005552		
Total	31	0.0175452				

S = 0.0235636 R-Sq = 49.37% R-Sq(adj) = 1.90%

รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.22 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.03819	0.03819	0.01273	1.22	0.334
Pm	3	0.03819	0.03819	0.01273	1.22	0.334
Pc*Pm	9	0.05902	0.05902	0.00656	0.63	0.756
Error	16	0.16663	0.16663	0.01041		
Total	31	0.30202				

S = 0.102052 R-Sq = 44.83% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 4.23 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำพิจารณาเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) ที่น้อยที่สุดของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน จะได้ ที่ระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.7 และระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ 0.3 ให้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.36 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.7
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.3

4.6.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 65 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

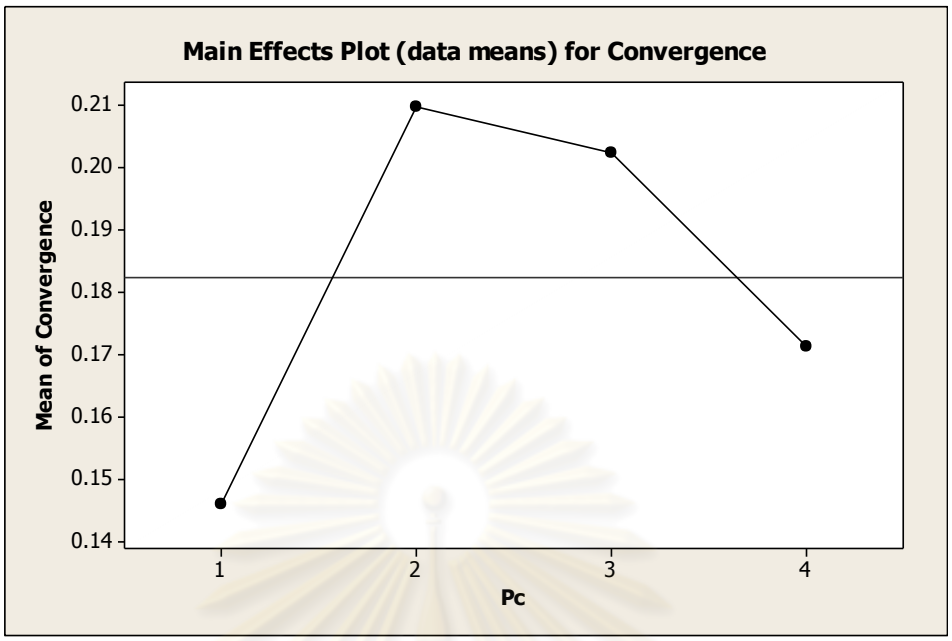
Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.0207995	0.0207995	0.0069332	9.08	0.001
Pm	3	0.0027128	0.0027128	0.0009043	1.18	0.347
Pc*Pm	9	0.0247982	0.0247982	0.0027554	3.61	0.012
Error	16	0.0122118	0.0122118	0.0007632		
Total	31	0.0605222				

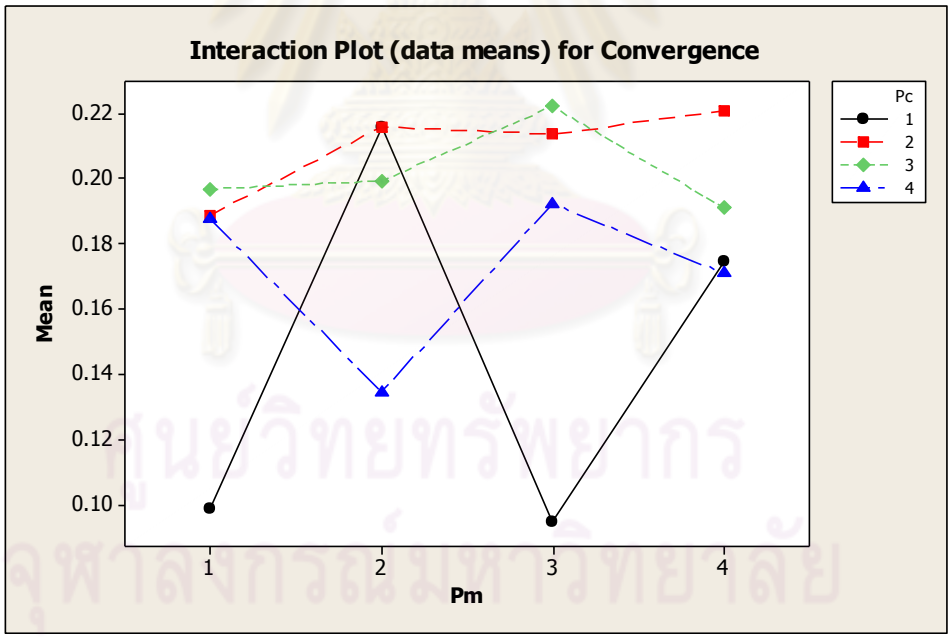
S = 0.0276267 R-Sq = 79.82% R-Sq(adj) = 60.91%

รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.25 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set



รูปที่ 4.26 กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.24-4.26 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเต

ชันมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.25 และ 4.26 พบว่าที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.6 ค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีค่าใกล้เคียงกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ส่วนปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันยังไม่สามารถสรุปได้ จึงทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

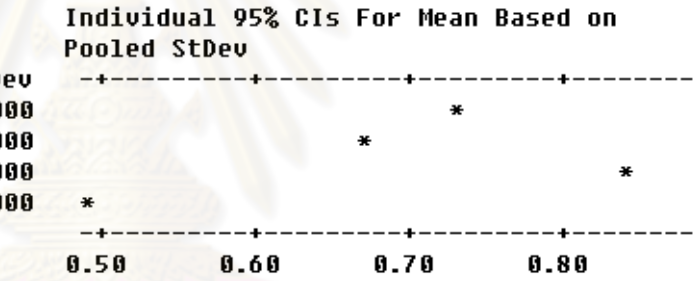
การวิเคราะห์ปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันโดยใช้การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นตัวแปรตอบสนอง

One-way ANOVA: Spread versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.1248282	0.0416094	33297553.00	0.000
Error	4	0.0000000	0.0000000		
Total	7	0.1248282			

S = 0 R-Sq = 100.00% R-Sq(adj) = 100.00%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.725300	0.000000
2	2	0.668300	0.000000
3	2	0.839900	0.000000
4	2	0.493800	0.000000



Pooled StDev = 0.000000

รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.27 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) โดยที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ 0.4 มีค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีการกระจายสม่ำเสมอนั่นหมายความว่ากลุ่มคำตอบที่ได้เป็นกลุ่มคำตอบที่ดี

ตารางที่ 4.37 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.6
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.4

4.6.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 148 ขั้นงาน

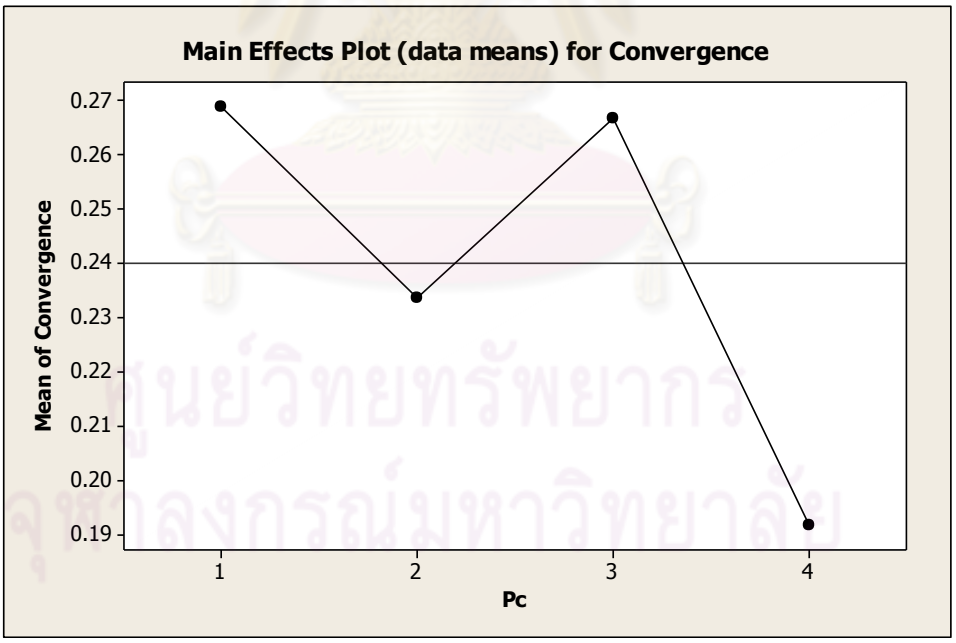
การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

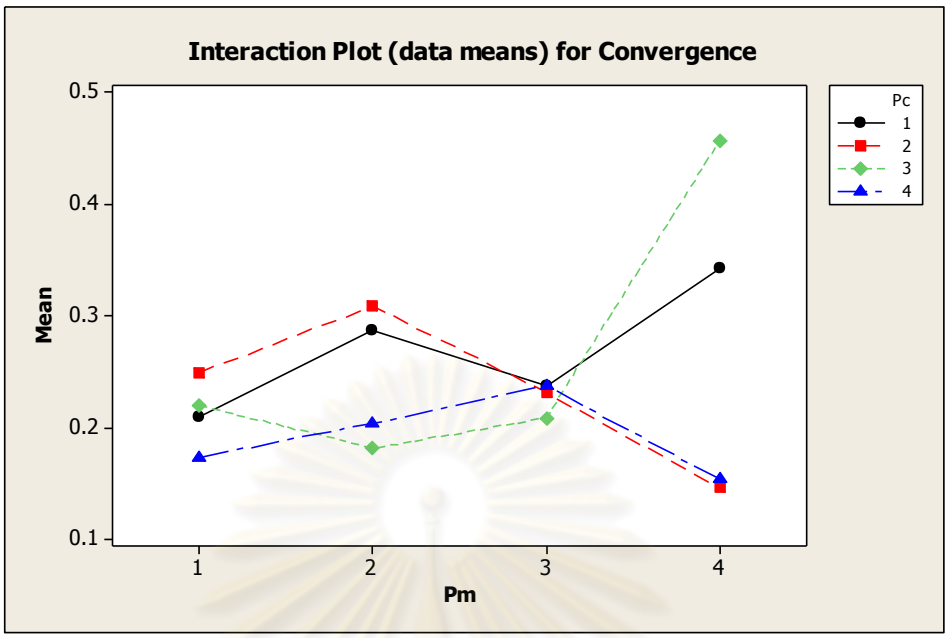
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.031279	0.031279	0.010426	6.19	0.005
Pm	3	0.016732	0.016732	0.005577	3.31	0.047
Pc*Pm	9	0.137238	0.137238	0.015249	9.06	0.000
Error	16	0.026936	0.026936	0.001684		
Total	31	0.212186				

S = 0.0410307 R-Sq = 87.31% R-Sq(adj) = 75.40%

รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set



รูปที่ 4.29 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set



รูปที่ 4.30 กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.28-4.30 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.29 และ 4.30 พบว่าที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.9 ค่าเข้าใกล้ 0 นั่นแสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีค่าใกล้เคียงกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ส่วนปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันยังไม่สามารถสรุปได้ จึงทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันโดยใช้การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นตัวแปรตอบสนอง

One-way ANOVA: Spread versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.06535	0.02178	5.85	0.060
Error	4	0.01489	0.00372		
Total	7	0.08024			

S = 0.06102 R-Sq = 81.44% R-Sq(adj) = 67.52%

รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.31 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) จึงทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นตัวแปรตอบสนอง

One-way ANOVA: Ratio versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.1038	0.0346	1.11	0.444
Error	4	0.1250	0.0313		
Total	7	0.2288			

S = 0.1768 R-Sq = 45.36% R-Sq(adj) = 4.37%

รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 4.32 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

จากการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันที่ใช้เวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) น้อยที่สุด คือ 0.3

ตารางที่ 4.38 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.9
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.3

4.6.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 205 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

```
Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source  DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS     F      P
Pc       3  0.0030801  0.0030801  0.0010267  4.96  0.013
Pm       3  0.0024965  0.0024965  0.0008322  4.02  0.026
Pc*Pm    9  0.0039089  0.0039089  0.0004343  2.10  0.094
Error   16  0.0033115  0.0033115  0.0002070
Total   31  0.0127970


S = 0.0143863   R-Sq = 74.12%   R-Sq(adj) = 49.86%
```

รูปที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.33 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยเดียวได้ผลดังนี้

```
One-way ANOVA: Convergence versus Pc

Source  DF        SS        MS     F      P
Pc       3  0.003080  0.001027  2.96  0.049
Error   28  0.009717  0.000347
Total   31  0.012797

S = 0.01863   R-Sq = 24.07%   R-Sq(adj) = 15.93%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      8  0.11508  0.02073                  (--------*--------)
2      8  0.09149  0.01596  (--------*--------)
3      8  0.11506  0.01994                  (--------*--------)
4      8  0.11158  0.01750           (--------*--------)
                                --------+---------+---------+---------+-
                                     0.090     0.105     0.120     0.135

Pooled StDev = 0.01863
```

รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

One-way ANOVA: Convergence versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.002496	0.000832	2.26	0.103
Error	28	0.010301	0.000368		
Total	31	0.012797			

S = 0.01918 R-Sq = 19.51% R-Sq(adj) = 10.88%

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.34 และ 4.35 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.7 (ค่าเข้าใกล้ 0) ส่วนปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ในขั้นตอนต่อไป

การวิเคราะห์ปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันโดยใช้การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นตัวแปรตอบสนอง

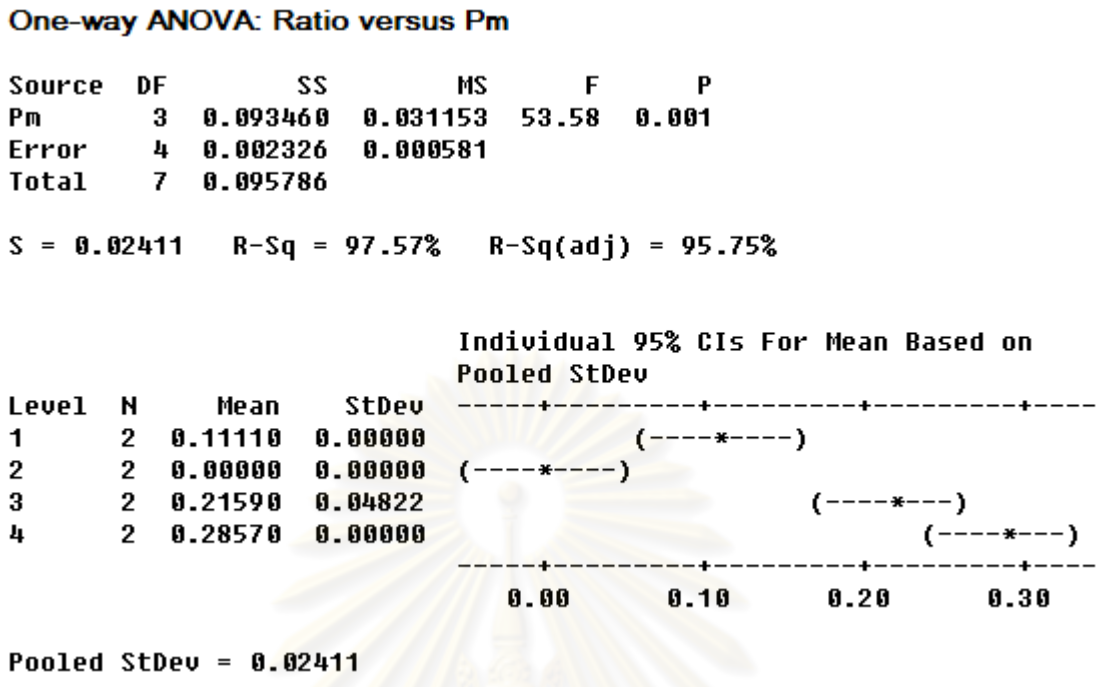
One-way ANOVA: Spread versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.0807	0.0269	2.22	0.228
Error	4	0.0484	0.0121		
Total	7	0.1291			

S = 0.1100 R-Sq = 62.53% R-Sq(adj) = 34.43%

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.36 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) จึงทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นตัวแปรตอบสนอง



One-way ANOVA: Ratio versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.093460	0.031153	53.58	0.001
Error	4	0.002326	0.000581		
Total	7	0.095786			

S = 0.02411 R-Sq = 97.57% R-Sq(adj) = 95.75%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.11110	0.00000
2	2	0.00000	0.00000
3	2	0.21590	0.04822
4	2	0.28570	0.00000

Pooled StDev = 0.02411

รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เมื่อกำหนดปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 4.37 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ 0.4 (ค่าเข้าใกล้ 1) นั่นคือกลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีคำตอบเทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

ตารางที่ 4.39 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.7
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.4

4.6.5 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 183 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.20421	0.20421	0.06807	2.91	0.067
Pm	3	0.01032	0.01032	0.00344	0.15	0.930
Pc*Pm	9	0.35235	0.35235	0.03915	1.67	0.177
Error	16	0.37449	0.37449	0.02341		
Total	31	0.94137				

S = 0.152989 R-Sq = 60.22% R-Sq(adj) = 22.92%

รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 4.38 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.42189	0.42189	0.14063	5.00	0.012
Pm	3	0.10882	0.10882	0.03627	1.29	0.312
Pc*Pm	9	0.15150	0.15150	0.01683	0.60	0.781
Error	16	0.45032	0.45032	0.02814		
Total	31	1.13253				

S = 0.167765 R-Sq = 60.24% R-Sq(adj) = 22.96%

รูปที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.39 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยเดียวได้ผลดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

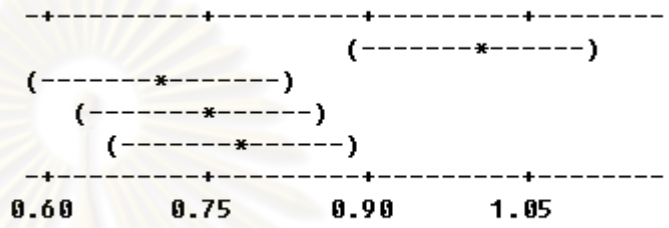
One-way ANOVA: Spread versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.4219	0.1406	5.54	0.004
Error	28	0.7106	0.0254		
Total	31	1.1325			

S = 0.1593 R-Sq = 37.25% R-Sq(adj) = 30.53%

Level	N	Mean	StDev
1	8	1.0000	0.0000
2	8	0.7047	0.2019
3	8	0.7432	0.1830
4	8	0.7761	0.1651

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.1593

รูปที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 4.40 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าระดับปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง (ค่าเข้าใกล้ 0) จึงทำการวิเคราะห์ในส่วนต่อไป

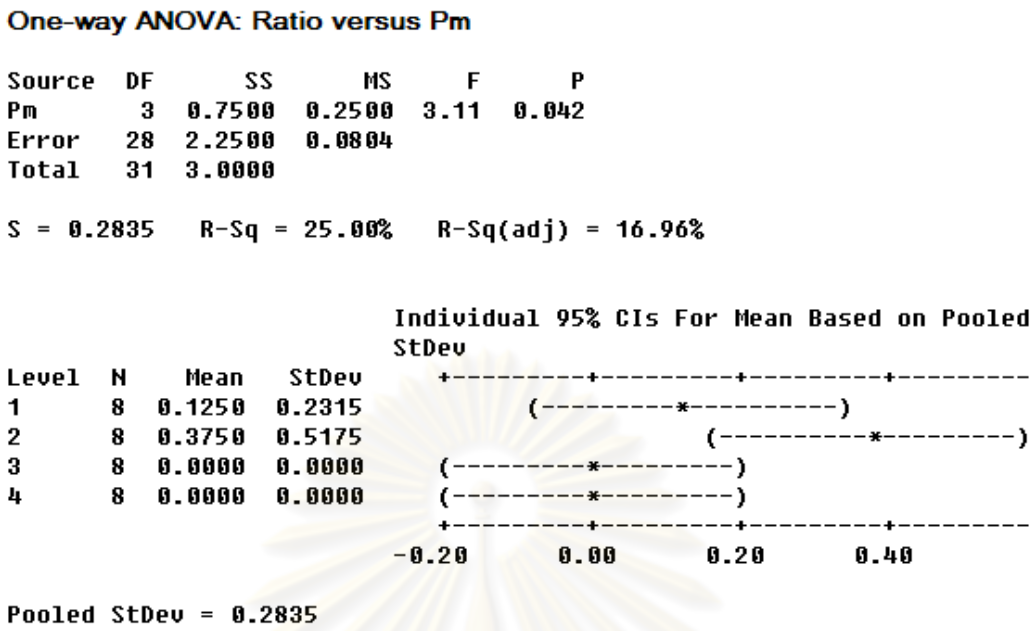
Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.31250	0.31250	0.10417	2.22	0.125
Pm	3	0.75000	0.75000	0.25000	5.33	0.010
Pc*Pm	9	1.18750	1.18750	0.13194	2.81	0.034
Error	16	0.75000	0.75000	0.04688		
Total	31	3.00000				

S = 0.216506 R-Sq = 75.00% R-Sq(adj) = 51.56%

รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 4.41 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) จึงทำการทดสอบปัจจัยเดียวเพื่อหาความแตกต่างของระดับปัจจัย



One-way ANOVA: Ratio versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.7500	0.2500	3.11	0.042
Error	28	2.2500	0.0804		
Total	31	3.0000			

S = 0.2835 R-Sq = 25.00% R-Sq(adj) = 16.96%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev
1	8	0.1250	0.2315
2	8	0.3750	0.5175
3	8	0.0000	0.0000
4	8	0.0000	0.0000

Pooled StDev = 0.2835

รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 4.42 พบว่า ปัจจัยความน่าจะเป็นในการมิวเตชันมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ 0.2 (ค่าเข้าใกล้ 1) นั่นคือกลุ่มคำตอบที่ได้จากทดลองด้วยระดับของปัจจัยนี้ มีคำตอบเทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

จากการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับของปัจจัยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่ใช้เวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) น้อยที่สุด คือ 0.6

ตารางที่ 4.40 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.6
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.2

4.7 สรุปท้ายบท

เนื้อหาที่กล่าวในบทนี้เป็นการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีฮิวริสติกวิธีหนึ่งที่ได้รับความนิยม โดยอาศัยกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics) โดยอาศัยทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่รุ่นลูกหลาน ซึ่งสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นสตริงค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority String) หลักสำคัญในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ หลักการครอสโอเวอร์และการมิวเตชัน ซึ่งเป็นกระบวนการเปลี่ยนรูปสตริงคำตอบ เพื่อให้คำตอบที่ได้มีความหลากหลายช่วยให้คำตอบที่ดีสามารถหลุดออกมาได้ และใช้เวลาในการคำนวณที่เหมาะสม โดยสตริงคำตอบที่ได้ในแต่ละรอบจะกลายเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในการค้นหาในรอบถัดไป อีกทั้งในบทนี้ได้มีการกล่าวถึง การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ซึ่งการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะมีผลทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมด้วย โดยจากผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันของปัญหาทั้งหมด 5 ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.6 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละปัญหา

ปัจจัย	ขนาดปัญหา				
	12 ขั้นงาน	65 ขั้นงาน	148 ขั้นงาน	205 ขั้นงาน	183 ขั้นงาน
1. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.7	0.6	0.9	0.7	0.6
2. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.3	0.4	0.3	0.4	0.2

บทที่ 5

ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีของวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่พัฒนามาจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยการนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่เข้ามาประยุกต์ใช้ และตัวอย่างการคำนวณ

5.1 การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) หรือ Hill Climbing เป็นวิธีฮิวริสติกที่ช่วยในการปรับปรุงคำตอบ หรือช่วยในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งขึ้นมาเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง การค้นหาเฉพาะที่มีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดียิ่งขึ้น โดยมีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) การค้นหาเฉพาะที่จะทำการค้นหาไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนครั้งในการวนซ้ำ หรือคำตอบที่ได้ไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีก

5.1.1 การค้นหาเฉพาะที่ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

การค้นหาเฉพาะที่ได้มีการนำมาใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Kumar and Singh, 2007) โดยปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesperson Problem : TSP) เป็นปัญหาแบบ NP-Hard ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อเดินทางไปยังเมืองต่างๆ โดยเลือกเส้นทางในการเดินทางไปแต่ละเมืองเพียงเมืองละ 1 ครั้ง และย้อนกลับมายังเมืองเริ่มต้น ด้วยระยะทางที่น้อยที่สุด โดยการค้นหาเฉพาะที่นั้นมีหลายวิธีการเลือกวิธีที่เหมาะสมจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ ซึ่งการค้นหาเฉพาะที่มีทั้งหมด 7 วิธี ดังนี้

5.1.1.1 วิธี Pairwise Interchange (PI)

วิธี PI เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งสองตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบในการค้นหาเฉพาะที่ทั้งหมด $\binom{n}{2}$ ตัวอย่างเช่น มีเส้นทางการเดินทางเป็น A-B-C-D พนักงานขายจะมีเส้นทางทั้งหมด $\binom{4}{2}$ เท่ากับ 6 เส้นทาง คือ ***B***-***A***-C-D, ***C***-B-***A***-D, ***D***-B-C-***A***, A-***C***-***B***-D, A-***D***-C-***B*** และ A-B-***D***-***C***

5.1.1.2 **วิธี** Adjacent Pairwise Interchange (API)

วิธี API เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งสองตำแหน่งที่อยู่ติดกัน ดังนั้นคำตอบที่ได้ในการค้นหาเฉพาะที่จึงมีจำนวนน้อยกว่าวิธี PI ตัวอย่างเช่น มีเส้นทางการเดินทางเป็น A-B-C-D พนักงานขายจะมีเส้นทางทั้งหมด 3 เส้นทาง คือ ***B-A***-C-D, A-***C-B***-D และ A-B-***D-C*** นั่นคือการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธีนี้จะทำให้ได้คำตอบเท่ากับ $n-1$

5.1.1.3 **วิธี** Shift Procedure **หรือ** Insertion Procedure (IP)

วิธี IP เป็นวิธีการสุ่มตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งเพื่อย้ายออกไปและทำการเลื่อนสมาชิกคำตอบที่เหลือมาติดกัน จากนั้นทำการสุ่มมาอีกตำแหน่งที่ไม่ใช่ตำแหน่งเดิมเพื่อทำการแทรกงานที่ย้ายออกกลับเข้าไป ตัวอย่างเช่น มีเส้นทางการเดินทางเป็น A-B-C-D

- เมือง A ถูกสุ่มขึ้นมาจึงทำการย้ายออก ทำให้เส้นทางที่เหลือเป็น B-C-D จากนั้นทำการแทรกเมือง A กลับเข้าไปได้ทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเดิม ทำให้ได้เส้นทางทั้งหมด 3 เส้นทาง คือ B-***A***-C-D, B-C-***A***-D และ B-C-D-***A***

- เมือง B ถูกสุ่มขึ้นมาจึงทำการย้ายออก ทำให้เส้นทางที่เหลือเป็น A-C-D จากนั้นทำการแทรกเมือง B กลับเข้าไปได้ทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเดิม ทำให้ได้เส้นทางทั้งหมด 3 เส้นทาง คือ ***B***-A-C-D, A-C-***B***-D และ A-C-D-***B***

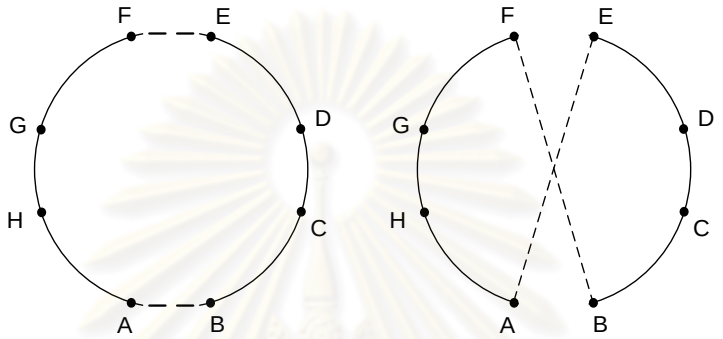
- เมือง C ถูกสุ่มขึ้นมาจึงทำการย้ายออก ทำให้เส้นทางที่เหลือเป็น A-B-D จากนั้นทำการแทรกเมือง C กลับเข้าไปได้ทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเดิม ทำให้ได้เส้นทางทั้งหมด 3 เส้นทาง คือ ***C***-A-B-D, A-***C***-B-D และ A-B-D-***C***

- เมือง D ถูกสุ่มขึ้นมาจึงทำการย้ายออก ทำให้เส้นทางที่เหลือเป็น A-B-C จากนั้นทำการแทรกเมือง D กลับเข้าไปได้ทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเดิม ทำให้ได้เส้นทางทั้งหมด 3 เส้นทาง คือ ***D***-A-B-C, A-***D***-B-C และ A-B-***D***-C

เมื่อทำการตัดคำตอบของเส้นทางที่ซ้ำออก จะได้เส้นทางการเดินทางทั้งหมด $(n-1)^2 = (4-1)^2 = 9$ เส้นทาง คือ B-A-C-D, B-C-A-D, B-C-D-A, A-C-B-D, A-C-D-B, C-A-B-D, A-B-D-C, D-A-B-C และ A-D-B-C

5.1.1.4 **วิธี** 2-Opt

วิธี 2-Opt เป็นวิธีการลบเส้นทางการเดินที่เชื่อมกันออกจำนวน 2 เส้นทาง และนำไปเชื่อมกับเส้นทางอื่นแทน ตัวอย่างดังรูปที่ 5.1 ซึ่งเส้นทางก่อนทำการแลกเปลี่ยนคือ A-B-C-D-E-F-G-H (โดยจะเดินในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา) ส่วนเส้นทางหลังทำการแลกเปลี่ยนคือ A-***E-D-C-B***-F-G-H จะเห็นได้ว่าค่าในตำแหน่งที่เหลือจะถูกทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งไปด้วย

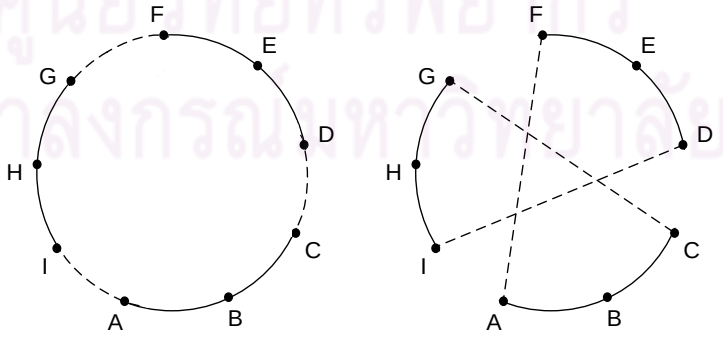


(ก) ก่อนทำวิธี 2-Opt (ข) หลังทำวิธี 2-Opt

รูปที่ 5.1 การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt

5.1.1.5 **วิธี** 3-Opt

วิธี 3-Opt เป็นวิธีการลบเส้นทางที่เชื่อมกันออกจำนวน 3 เส้นทาง และนำไปเชื่อมกับเส้นทางอื่นแทน ตัวอย่างดังรูปที่ 5.2 ซึ่งเส้นทางก่อนทำการแลกเปลี่ยนคือ A-B-C-D-E-F-G-H-I (โดยจะเดินในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา) ส่วนเส้นทางหลังทำการแลกเปลี่ยนคือ A-B-C-***G-H-I***-D-E-F ซึ่งในกรณีนี้จำนวนเมืองที่ทำการเดินผ่านต้องมีอย่างน้อย 6 เมือง

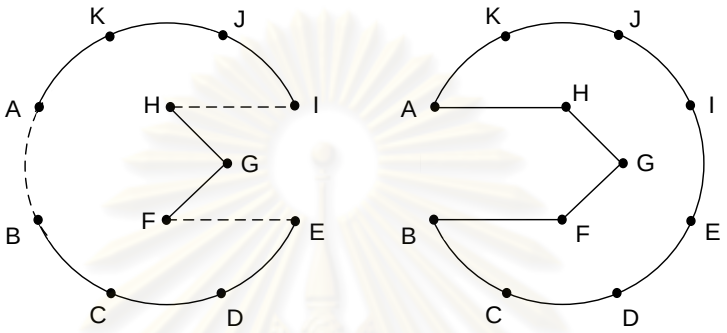


(ก) ก่อนทำวิธี 3-Opt (ข) หลังทำวิธี 3-Opt

รูปที่ 5.2 การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 3-Opt

5.1.1.6 วิธี Or-Opt

วิธี Or-Opt เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งหนึ่ง สองหรือสาม ตำแหน่งอยู่ติดกันมาแทรกระหว่าง 2 เมือง ซึ่งในกรณีนี้จำนวนเมืองที่ทำการเดินผ่านต้องมีอย่างน้อย 7 เมือง ตัวอย่างดังรูปที่ 5.3 ซึ่งเส้นทางก่อนทำการแลกเปลี่ยนคือ A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K (โดยจะเดินในทิศทางทวนเข็มนาฬิกา) ส่วนเส้นทางหลังทำการแลกเปลี่ยนคือ A-***H-G-F***-B-C-D-E-I-J-K

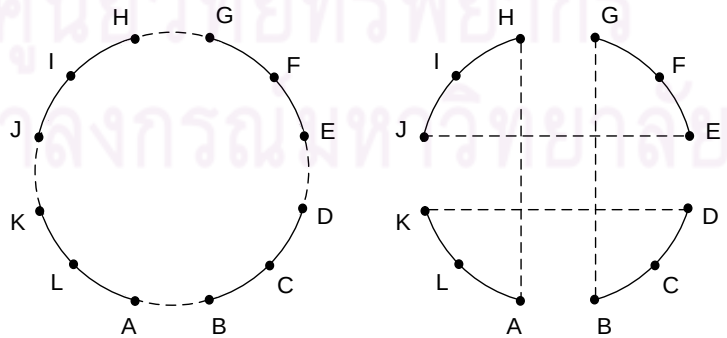


(ก) ก่อนทำวิธี Or-Opt (ข) หลังทำวิธี Or-Opt

รูปที่ 5.3 การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี Or-Opt

5.1.1.7 วิธี Double-Bridge

วิธี Double-Bridge เป็นวิธีที่ทำการแบ่งเส้นทางออกเป็น 4 ส่วน โดยการลบเส้นทางอย่างสุ่ม และนำกลับไปเชื่อมกับเส้นทางอื่นแทน ดังรูปที่ 5.4 ซึ่งเส้นทางก่อนทำการแลกเปลี่ยนคือ A-B-C-D-E-F-G-H-I-J-K-L ส่วนเส้นทางหลังทำการแลกเปลี่ยนคือ A-***H-I-J***-E-F-G-***B-C-D***-K-L ซึ่งในกรณีนี้จำนวนเมืองที่เดินผ่านต้องมีอย่างน้อย 8 เมือง



(ก) ก่อนทำ Double-Bridge (ข) หลังทำ Double-Bridge

รูปที่ 5.4 การแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี Double-Bridge

5.1.2 ปัจจัยที่สำคัญในการค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการช่วยในการปรับปรุงคำตอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งขึ้นมาเพื่อทำการแลกเปลี่ยน ซึ่งบ่อยครั้งทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหาคำตอบที่ดี ดังนั้นในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่จึงควรคำนึงถึงปัจจัยต่างๆ (Hart, 1994) ดังนี้

5.1.2.1 ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่

ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ เป็นรอบที่จะทำการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ เช่น การประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ในทุกๆ 10 รอบ ($T = 10$) เมื่อ T คือระยะห่างของเจนเนอเรชันที่ในการค้นหาเฉพาะที่ นั่นหมายความว่า จะมีการทำการค้นหาเฉพาะที่ในเจนเนอเรชันที่ 10, 20, 30,..., N เมื่อ N คือ จำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการทดลอง

5.1.2.2 จำนวนคำตอบที่เลือกไปทำการค้นหาเฉพาะที่

จำนวนคำตอบที่เลือกนำไปใช้ในการค้นหาเฉพาะที่ ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ที่ทำการกำหนดขึ้นมา โดยคำตอบที่ทำการเลือกมานั้นจะต้องเป็นคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงน้อยที่สุด

5.1.2.3 จำนวนการทำซ้ำในแต่ละรอบ

จำนวนการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำในแต่ละรอบ ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่กำหนด (k) ซึ่งถ้าการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงคำตอบที่ดีขึ้นได้ใน k ครั้งติดต่อกัน จะทำการหยุดกระบวนการค้นหาเฉพาะที่

5.1.2.4 ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่

ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่มี 2 ลักษณะ คือ 1. การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก (First Improvement) ซึ่งเป็นการช่วยปรับปรุงคำตอบที่ได้หลังจากการสุ่มประชากร โดยจะทำการค้นหา k ครั้ง จนค้นพบคำตอบที่ดีกว่าจึงหยุดกระบวนการค้นหาเฉพาะที่ และ 2. การค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุด (Best Improvement) เป็นการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยการปรับปรุงคำตอบทุกคำตอบจนไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีก จึงหยุดกระบวนการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งการค้นหาเฉพาะที่ลักษณะนี้จะเสียเวลาในการค้นหาคำตอบเป็นอย่างมาก แต่ทำให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นตามไปด้วย

5.1.3 หลักการยอมรับคำตอบที่ดี

หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria) เป็นกฎที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ 4 กฎ ในการตัดสินใจเลือกว่าควรยอมรับคำตอบที่ได้จากก่อนหรือหลังการค้นหาเฉพาะที่ โดยมีกฎการยอมรับว่าคำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ดีขึ้น ดังนี้ (Lacomme, Prins and Sevaux, 2006)

เมื่อ S เป็นคำตอบที่ได้ก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

S' เป็นคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่

$f_i^{\max}$ เป็นค่ามากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i เมื่อ $i = 1,2$

$f_i^{\min}$ เป็นค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i เมื่อ $i = 1,2$

ตารางที่ 5.1 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1(f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1)(f_2(S') - f_2(S)) \le 0$ เมื่อ $w_1 = \left(\frac{f_1(S) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}}\right) \Big/ \left(\frac{f_1(S) - f_1^{\min}}{f_1^{\max} - f_1^{\min}} + \frac{f_2(S) - f_2^{\min}}{f_2^{\max} - f_2^{\min}}\right)$

จากตารางที่ 5.1 สามารถสรุปได้ดังนี้

กฎการยอมรับที่ 1 หมายความว่า คำตอบที่ได้ภายหลังทำการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 น้อยกว่าคำตอบเดิม นั่นคือ คำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 2 จะมีลักษณะใกล้เคียงกับกฎที่ 1 ซึ่งหมายความว่า คำตอบที่ได้ภายหลังทำการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 น้อยกว่าคำตอบเดิม นั่นคือ คำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 3 จะทำการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมกัน 2 วัตถุประสงค์ นั่นคือ คำตอบที่ได้ภายหลังทำการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ

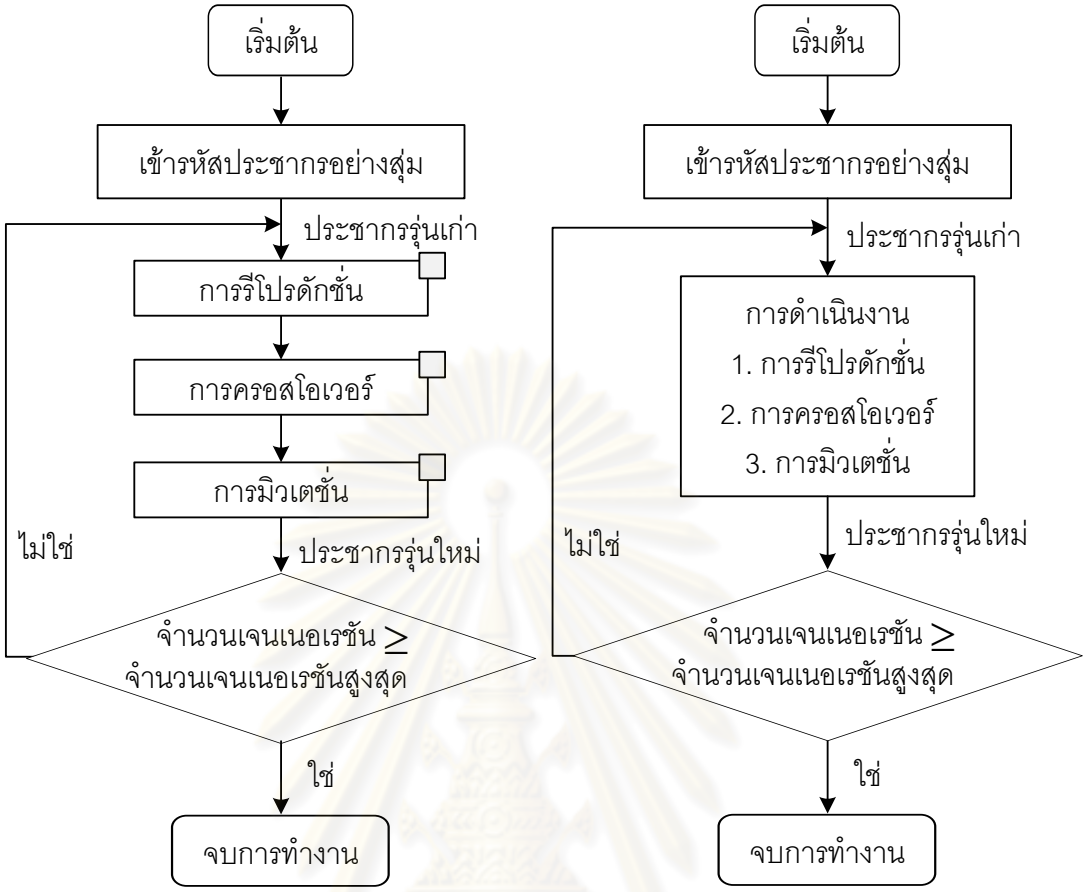
2 น้อยกว่าคำตอบเดิม จัดได้ว่าคำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่ เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 4 ใช้ในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีกว่า จึงทำการคูณน้ำหนักกับผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 ทั้งก่อนและหลังการค้นหาเฉพาะที่ และรวมกับผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ของทั้งก่อนและหลังการค้นหาเฉพาะที่คูณด้วยค่าน้ำหนักที่เหลือ ซึ่งจะทำการยอมรับคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ต่อเมื่อผลการคำนวณที่ได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์

5.2 **เมมเมติกอัลกอริทึม** (Memetic Algorithms : MAs)

เมมเมติกอัลกอริทึม เป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่มีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics) มีขั้นตอนการทำงานคล้ายกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเพียงแต่เพิ่มการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ เพื่อทำการปรับปรุงคำตอบที่ได้ให้ดีขึ้น ซึ่งสามารถนำการค้นหาเฉพาะที่ไปประยุกต์ใช้ได้ทั้งก่อนหรือหลังการสร้างประชากรคำตอบเริ่มต้น ดังรูปที่ 5.5 ซึ่งแสดงความแตกต่างระหว่างเมมเมติกอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ก) ขั้นตอนพื้นฐานของ MAs (ข) ขั้นตอนพื้นฐานของ GAs

☐ เป็นการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ทั้งก่อนหรือหลังการดำเนินงานนั้นๆ

รูปที่ 5.5 ขั้นตอนพื้นฐานของเมมเมติกอัลกอริทึม และเจนเนติกอัลกอริทึม

5.3 ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนามาจากเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

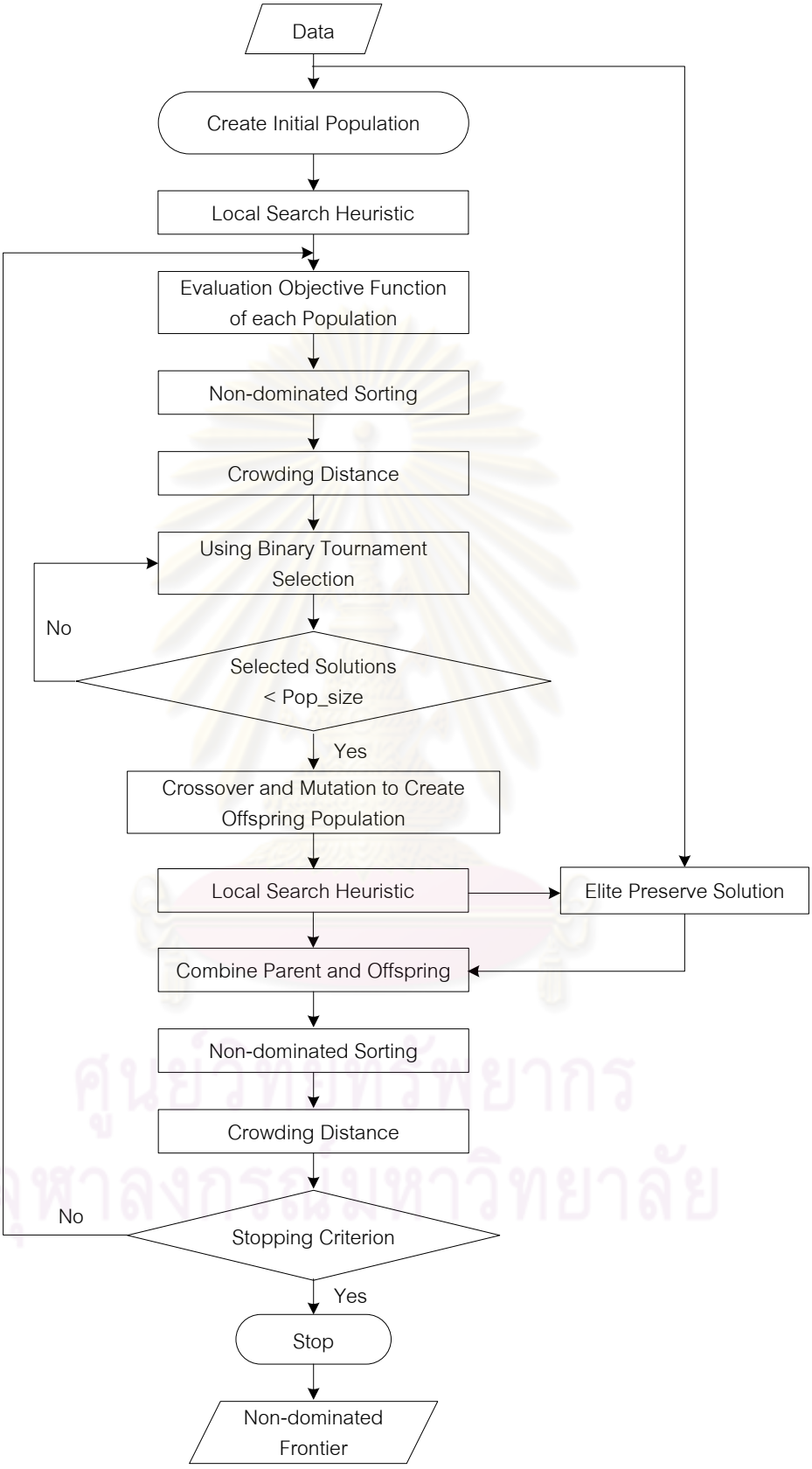
1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มมาจำนวน N ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น P_t (Initial Population)

3. **Local Search Heuristic** : ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ P_{LS}
4. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
5. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่ประชากรคำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยประชากรคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด
6. **Density Information** : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ ด้วยวิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002) โดยประชากรคำตอบที่มีค่า Crowding Distance มาก จะได้รับเลือกให้เข้าสู่ Mating Pool
7. **Selection** : คัดเลือกคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool ด้วยวิธี Binary Tournament Selection โดยคำตอบที่มีความแข็งแรงมาก (มีอันดับที่น้อยกว่า) และมีความหนาแน่นมาก จะมีโอกาสในการถูกเลือกสูง
8. **Crossover** : ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ใน Mating Pool และทำการครอสโอเวอร์ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ P_C โดยส่วนของประชากรคำตอบที่ทำการแลกเปลี่ยนจะได้มาอย่างสุ่ม
9. **Mutation** : ทำการมิวเตชันประชากรคำตอบด้วยค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันเท่ากับ P_m โดยตำแหน่งที่ทำการสลับกันภายในประชากรคำตอบจะได้มาอย่างสุ่ม ประชากรคำตอบใหม่ที่ได้จะเป็นประชากรคำตอบรุ่นลูก
10. **Local Search Heuristic** : ทำการปรับปรุงคำตอบหลังจากการมิวเตชัน ด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ P_{LS}
11. **Combination Population** : ทำการรวมประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ (P_t) และประชากรคำตอบรุ่นลูก (Q_t) ที่ได้รับการปรับปรุงคำตอบจากการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ได้เป็นประชากรคำตอบ R_t
12. **Selection Next Population** : ทำการคัดเลือกประชากรคำตอบ (R_t) สำหรับเจนเนอเรชันถัดไป ที่ได้จากการรวมประชากรคำตอบในขั้นตอนที่ 11 โดยใช้หลักการ Non-dominated Sorting และ Crowding Distance (Dep et al., 2002) ประชากร

คำตอบที่มีอันดับหนึ่งจะมีโอกาสได้รับเลือกเป็นคำตอบในเจนเนอเรชันถัดไปสูง และจะมีโอกาสลดหลั่นลงมาตามอันดับที่ ซึ่งถ้าจำนวนประชากรคำตอบในอันดับใดมีจำนวนมากกว่าจำนวนประชากรคำตอบที่ต้องการ (จำนวน N ตัว) จะคัดเลือกประชากรคำตอบโดยพิจารณาค่า Crowding Distance ที่มีค่ามาก

13. **Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population** : เก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากขั้นตอนที่ 12 ไว้เพื่อจะนำไปทำการปรับปรุง (Update) ในทุกๆ เจนเนอเรชัน ด้วยการเปรียบเทียบกันระหว่างคำตอบที่ได้จากเจนเนอเรชันก่อนหน้า และคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 12 ด้วยวิธี Non-dominated Solution จากนั้นทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดตัวจำนวน N ตัว ซึ่งประชากรคำตอบนั้นที่ได้นั้นจะกลายเป็นประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันถัดไป
14. **Stopping Criteria** : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุด ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 13 ใหม่ และถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 15
15. **Stop** : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 13 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.6 ขั้นตอนการทำงานของ M-NSGA-II

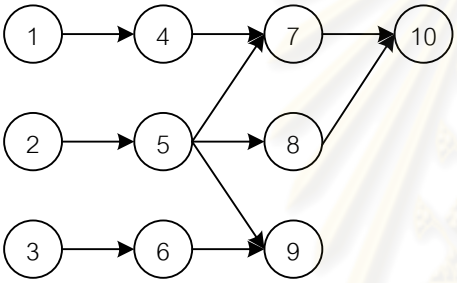
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4 ตัวอย่างการนำวิธี M-NSGA-II ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

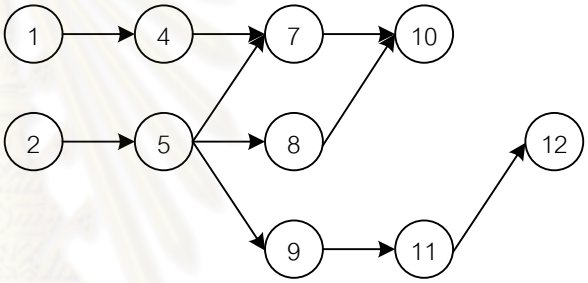
จากขั้นตอนของ M-NSGA-II ที่ได้นำเสนอ จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ดังนี้

5.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

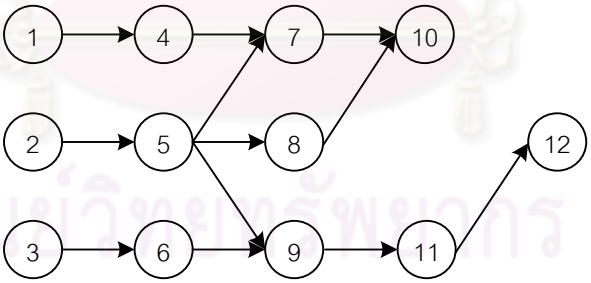
5.4.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 5.7



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 5.7 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

5.4.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

5.4.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix จากแผนภาพความสัมพันธ์ จะได้

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.4.1.4 **พารามิเตอร์ของ** M-NSGA-II ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกแบบ Pairwise Interchange (PI)
- วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover (WMX)
- วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชันแบบ Insertion Procedure (IP)
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 0.7
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน 0.3
- ความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ 0.8

5.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นของวิธี M-NSGA-II ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การสุ่มสตริงคำตอบโดยวิธีการกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) (Hwang, Katayama and Gen, 2008) เท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น (Popsize = 5) โดยมีขั้นตอนวิธีการสุ่มเช่นเดียวกับวิธี NSGA-II จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงาน 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

String Priority 1 = [4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]

String Priority 2 = [12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]

String Priority 3 = [2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]

String Priority 4 = [5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]

String Priority 5 = [6 2 3 12 4 11 7 8 9 10 1 5]

5.4.3 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก เป็นกระบวนการปรับปรุงประชากรคำตอบเบื้องต้นให้ดียิ่งขึ้นก่อนเข้าสู่กระบวนการต่างๆ โดยที่จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาคัดเลือก ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) นั่นคือ จำนวนสตริงคำตอบที่จะได้รับการคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ (N_{LS}) มีจำนวนเท่ากับ Popsize$\times P_{LS}$ โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบ Binary Tournament Selection ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกแบบ Pairwise Interchange (PI)

จากสตริงคำตอบเบื้องต้น 5 ตัวนี้ จะนำไปทำการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งต้องทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ก่อน ซึ่งจากสตริงคำตอบเบื้องต้นที่ได้ยังไม่สามารถนำไปจัดลงสถานีงานได้ ต้องทำการแปลงสตริงคำตอบไปเป็นลำดับงานก่อน ซึ่งขั้นตอนการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงานจะทำเช่นเดียวกับวิธี NSGA-II ที่ได้นำเสนอในบทที่แล้ว ดังนี้

- พิจารณาว่าขั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยจะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน
- ถ้ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้ ให้พิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงานจากสตริงคำตอบตามตำแหน่งของงานที่เป็นตัวเลือก ซึ่งงานใดที่มีค่าสิทธิในการเลือกงานมากที่สุดจะถูกเลือกลงในลำดับขั้นงานก่อน
- งานที่ถูกเลือกมาลงในลำดับของขั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานนั้นใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด
- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด

เมื่อพิจารณาจากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัว ทำการถอดรหัสหาลำดับขั้นงานในการทำงานเพื่อนำไปจัดลงในสถานีงาน จะได้ลำดับงานทั้ง 5 ตัว ดังนี้

Task Sequence 1 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 2 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Task Sequence 3 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 4 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Task Sequence 5 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

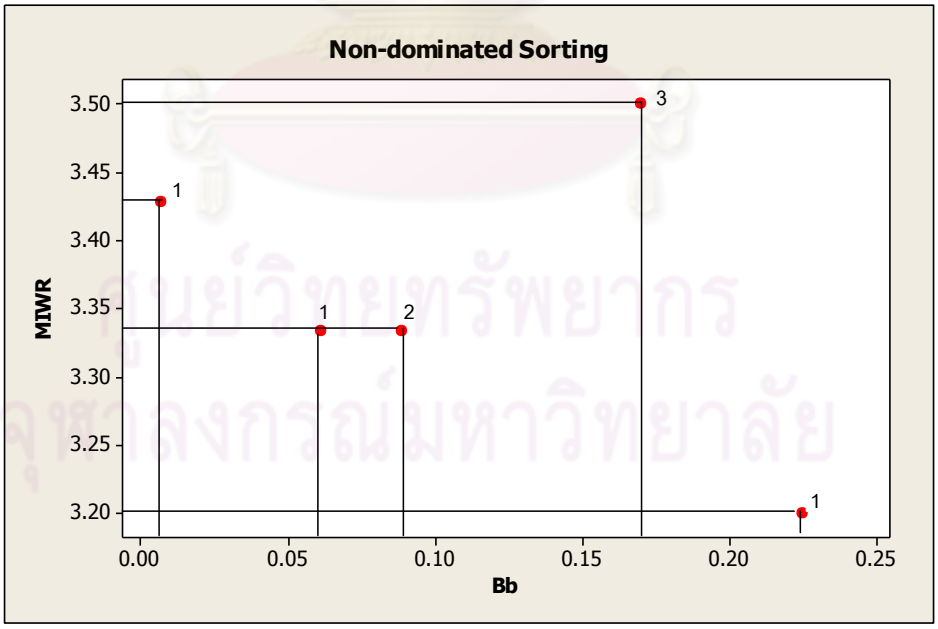
ทำการจัดลำดับงานลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยมีวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรงานลงสถานีงานในบทที่ 3 และ 4 ที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด

จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ดังรูปที่ 5.8 และคำนวณหาค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) ได้ดังตารางที่ 5.5



รูปที่ 5.8 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 5.5 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ จะใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า p_i และ q_i ซึ่งค่า q_i คือค่าสะสมของ p_i โดยจากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็น 3 และทำการหาค่า $p_i = 3/12 = 0.2500$ ดังรูปที่ 5.9 และตารางที่ 5.6

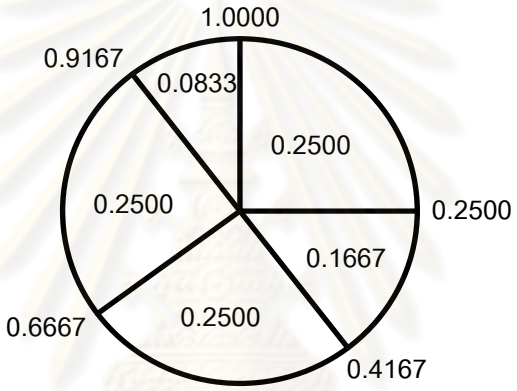
ตารางที่ 5.6 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	3	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	3	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	3	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	1	Infinity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.7 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	3	0.2500	0.2500
2	2	0.1667	0.4167
3	3	0.2500	0.6667
4	3	0.2500	0.9167
5	1	0.0833	1
รวม	12	1	



รูปที่ 5.9 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก เป็นกระบวนการปรับปรุงประชากรคำตอบเบื้องต้นให้ดียิ่งขึ้นก่อนเข้าสู่กระบวนการต่างๆ โดยที่จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาคัดเลือก ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) นั่นคือ จำนวนสตริงคำตอบที่จะได้รับการคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ (N_{LS}) มีจำนวนเท่ากับ Popsize$\times P_{LS}$ โดยการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ ในที่นี้กำหนดให้ $P_{LS} = 0.8$ ดังนั้นสตริงคำตอบที่ถูกทำการค้นหาเฉพาะที่มีทั้งหมด $0.8 \times 5 = 4$ ตัว

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 4 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 4 ตัว คือ สตริงหมายเลข 4 3 1 และ 2 ดังตารางที่ 5.8 และเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.8 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	
1	0.3150	0.4167	2	2	0.7785	0.9167	4	3	4
2	0.5611	0.6667	3	3	0.9426	1	5	1	3
3	0.2438	0.2500	1	3	0.3608	0.4167	2	2	1
4	0.3276	0.4167	2	2	0.9376	1	5	1	2

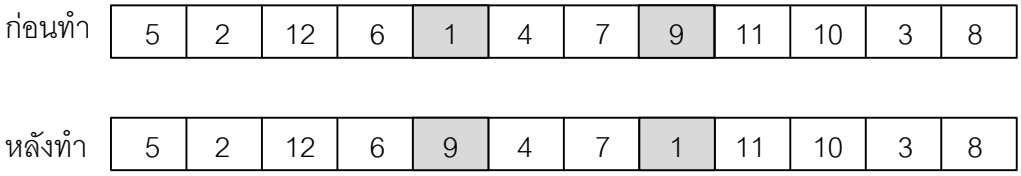
ตารางที่ 5.9 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority
1	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
2	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
3	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
4	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]

ตารางที่ 5.10 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

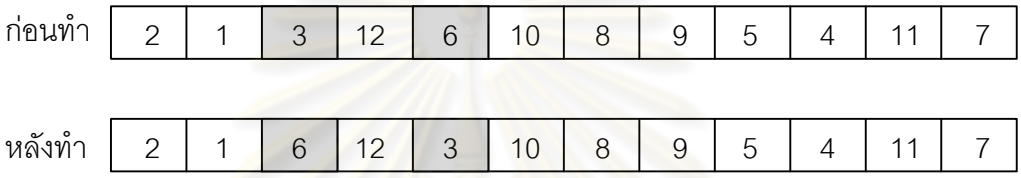
สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.3333	0.0612
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.4286	0.0068
4	2	4	3.3333	0.0884

นำสตริงคำตอบที่ 1 ที่ถูกคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสุ่มตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการสลับที่แลกเปลี่ยนตำแหน่ง โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 8



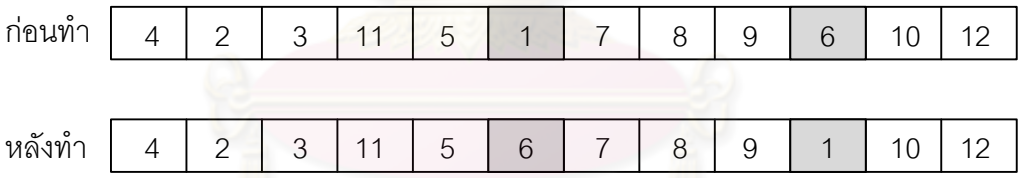
รูปที่ 5.10 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 3 และ 5



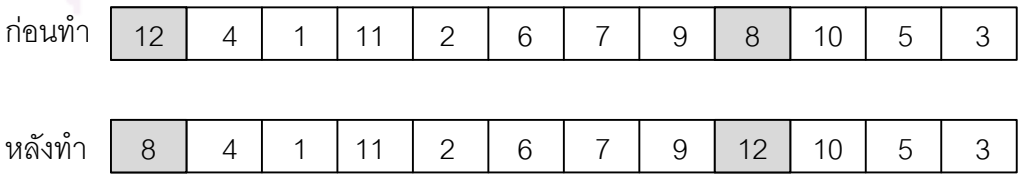
รูปที่ 5.11 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 10



รูปที่ 5.12 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 9



รูปที่ 5.13 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4

ตารางที่ 5.11 ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	Task Sequence
1	[3 1 4 6 2 5 9 7 11 12 8 10]
2	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
3	[1 4 3 6 2 5 9 11 12 8 7 10]
4	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

ตารางที่ 5.12 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	5	4.2857	0.0753
2	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	4	3.2000	0.2245
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.1701
4	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0884
	หลังทำ	4	3.3333	0.0884

จากตารางที่ 5.12 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี PI อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับ (Lacomme et al., 2006) เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยมีกฎที่ใช้อยู่ 4 กฎ ดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1(f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1)(f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 1 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ปฏิเสธกฎการยอมรับทั้ง 4 ข้อ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 หลังจากทำการค้นหาเฉพาะที่ไม่ได้ดีขึ้นจากเดิม และเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 3 พบว่า ปฏิเสธกฎการยอมรับทั้ง 4 ข้อ เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบคงเดิม แต่ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ไม่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 2 และ 4 พบว่า หลังทำการค้นหาเฉพาะที่มีค่าคงเดิมจึงยอมรับกฎที่ 4

5.4.4 การประเมินค่า

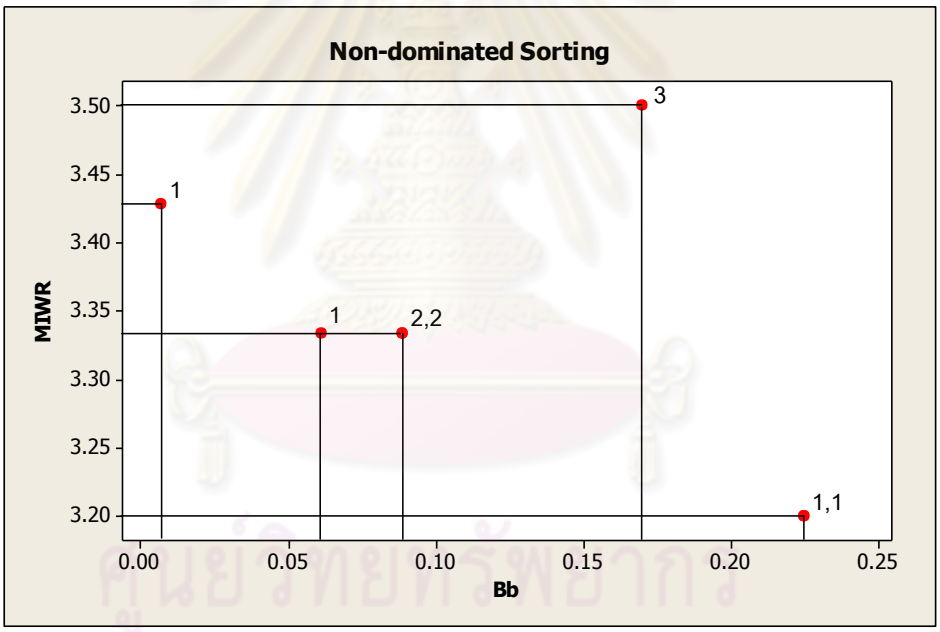
นำสตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่มารวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบโดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool

ตารางที่ 5.14 สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority
1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
2	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]
3	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
5	[6 2 3 12 4 11 7 8 9 10 1 5]
6	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]
7	[8 4 1 11 2 6 7 9 12 10 5 3]

ตารางที่ 5.15 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701
6	2	4	3.2000	0.2245
7	2	4	3.3333	0.0884



รูปที่ 5.14 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 5.16 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
6	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
7	3.3333	0.0884	2	Infinity
5	3.5000	0.1701	3	Infinity

5.4.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

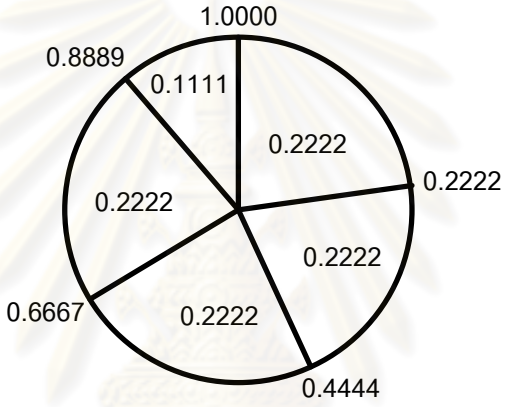
การคัดเลือกสตริงคำตอบจากรุ่นพ่อแม่ โดยจะนำสตริงคำตอบที่ดีมาเท่ากับจำนวน Popsize และใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989) โดยทำการสลับค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า p_i และ q_i ซึ่งค่า q_i คือค่าสะสมของ p_i โดยจากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็น 3 และทำการหาค่า $p_i = 2/9 = 0.2222$ ดังรูปที่ 5.15 และตารางที่ 5.17

ตารางที่ 5.17 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	2	Infinity
5	3.3333	0.0884	2	1	Infinity

ตารางที่ 5.18 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	2	0.2222	0.2222
2	2	0.2222	0.4444
3	2	0.2222	0.6667
4	2	0.2222	0.8889
5	1	0.1111	1
รวม	9	1	



รูปที่ 5.15 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 3 2 3 และ 4 ดังตารางที่ 5.19 และเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 4 และ 5 ในขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.19 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	Selected
1	0.0836	0.2222	1	2	0.1635	0.2222	1	2	1
2	0.8920	1	5	1	0.5620	0.6667	3	2	3
3	0.9457	1	5	1	0.4089	0.4444	2	2	2
4	0.5391	0.6667	3	2	0.2135	0.2222	1	2	3
5	0.7459	0.8889	4	2	0.7342	0.8889	4	2	4

5.4.6 การครอสโอเวอร์

จากสตริงคำตอบที่ได้มาหลังการคัดเลือก จะมีสตริงคำตอบบางตัวเท่านั้นที่จะถูกนำมาจับคู่ เพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยจำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาจับคู่ (N_C) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (P_C) จำนวน Popsize$\times P_C$ ส่วนสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกนำไปจับคู่จะยังคงสภาพเดิมอยู่ใน Mating Pool เพื่อเป็นประชากรในเจนเนอเรชันต่อไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้ทำการจับคู่จะถูกนำมาทำการครอสโอเวอร์ โดยการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบซึ่งกันและกัน เพื่อให้เกิดสตริงคำตอบใหม่ โดยสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กัน จะถูกเรียกว่า สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ (Parent) และสตริงคำตอบที่ได้หลังจากการแลกเปลี่ยนจะถูกเรียกว่า สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) ในงานวิจัยนี้ใช้การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) เช่นเดียวกับในวิธี NSGA-II

โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่มค่า r น้อยกว่าค่า P_C ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_C = 0.7$ ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 = 3.5$ หรือ 4 ตัว

ตารางที่ 5.20 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.6452	Selected
2	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]	0.2511	Selected
3	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]	0.3255	Selected
4	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.6249	Selected
5	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.8460	-

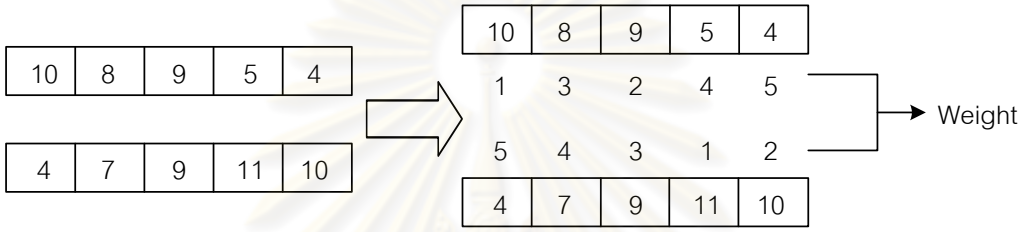
ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่นำไปครอสโอเวอร์ คือ สตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 1-2 และ 3-4

นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 10

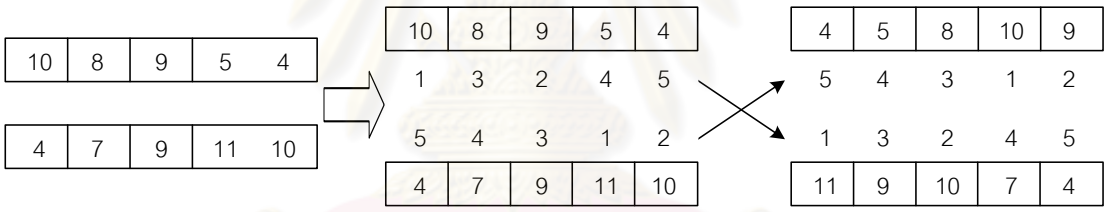
Parent 1 = [2 1 3 12 6 \|10 8 9 5 4\| 11 7]

Parent 2 = [5 2 12 6 1 \|4 7 9 11 10\| 3 8]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [6,10] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 5.16



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1

รูปที่ 5.16 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 1 = [5 2 12 6 1 \|11 9 10 7 4\| 3 8]

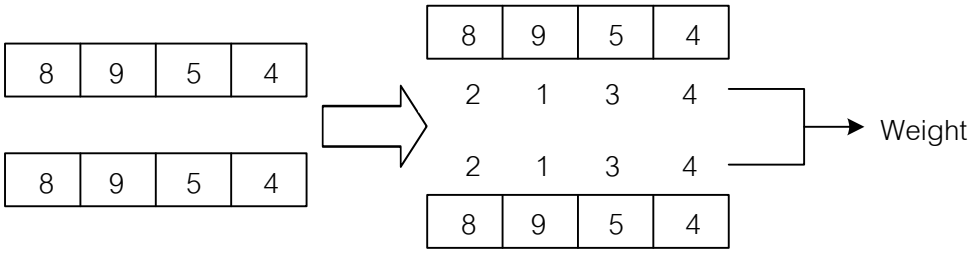
Offspring 2 = [2 1 3 12 6 \|4 5 8 10 9\| 11 7]

นำสตริงที่ 3 และ 4 ไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 7 และ 10

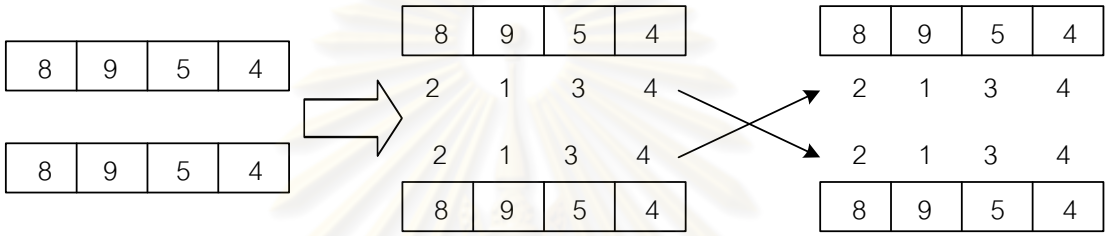
Parent 3 = [2 1 6 12 3 10 \|8 9 5 4\| 11 7]

Parent 4 = [2 1 3 12 6 10 \|8 9 5 4\| 11 7]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [5,8] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 5.17



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2

รูปที่ 5.17 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 3 = [2 1 6 12 3 10 |8 9 5 4| 11 7]

Offspring 4 = [2 1 3 12 6 10 |8 9 5 4| 11 7]

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

5.4.7 การมิวเตชัน

การมิวเตชัน เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจเรียกคืน และเป็นการทำให้เกิดคำตอบที่หลากหลาย วิธีการมิวเตชันนั้นมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation เช่นเดียวกับในวิธี NSGA-II ซึ่งสตริงที่ได้จากการมิวเตชันนี้จะไม่ขัดกับข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นค่าสิทธิในการเลือกงาน (String Priority) ซึ่งการพิจารณาว่าสตริงคำตอบตัวใดจะถูกนำมามิวเตชันนั้นขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน

(P_m) โดยเริ่มจากการสุ่มค่า r ซึ่งมีค่าระหว่าง [0,1] ให้กับสตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool จากนั้นทำการเลือกเฉพาะสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_m ไปทำการมิวเตชัน

โดยกำหนดให้ $P_m = 0.3$ ซึ่งจะทำให้ได้สตริงคำตอบ 30% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.3 \times 5 = 1.5$ หรือ 2 ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน ซึ่งสตริงคำตอบนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า P_m จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.21 ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[5 2 12 6 1 11 9 10 7 4 3 8]	0.6831	-
2	[2 1 3 12 6 4 5 8 10 9 11 7]	0.6894	-
3	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]	0.4102	-
4	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.1588	Selected
5	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.0205	Selected

ดังนั้นสตริงคำตอบตัวที่ 4 และ 5 จะถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยวิธี Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งเป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่ง 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 4 โดยสุ่มได้ตัวเลข 3 และ 11 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 4	2	1	3	12	6	10	8	9	5	4	11	7
Offspring 4	2	1	11	12	6	10	8	9	5	4	3	7

รูปที่ 5.18 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 4

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 5 โดยสุ่มได้ตัวเลข 6 และ 7 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 5	4	2	3	11	5	1	7	8	9	6	10	12
Offspring 5	4	2	3	11	5	7	1	8	9	6	10	12

รูปที่ 5.19 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว เพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 5.22 สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[5 2 12 6 1 11 9 10 7 4 3 8]
2	[2 1 3 12 6 4 5 8 10 9 11 7]
3	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]
4	[2 1 11 12 6 10 8 9 5 4 3 7]
5	[4 2 3 11 5 7 1 8 9 6 10 12]

5.4.8 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการมิวเตชัน

การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน เป็นกระบวนการปรับปรุงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน เนื่องจากคำตอบที่ได้หลังการผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์และการมิวเตชัน อาจทำให้มีการสูญเสียคำตอบที่ดีไป หรือยังไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีได้ การใช้การค้นหาเฉพาะที่จะช่วยดึงคำตอบที่ดีออกมา โดยที่จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาคัดเลือก ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) นั่นคือ จำนวนสตริงคำตอบที่จะได้รับการคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ (N_{LS}) มีจำนวนเท่ากับ Popsize$\times P_{LS}$ โดยใช้วิธีการคัดเลือกแบบ Binary Tournament Selection โดยจะนำค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) มาใช้ในการค้นหาเฉพาะที่ เนื่องจากเมื่อทำการปรับปรุงคำตอบแล้วจะไม่ขัดกับข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน ในงานวิจัยนี้ได้ใช้การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน แบบ Insertion Procedure (IP)

จากสตริงคำตอบที่ได้หลังการมิวเตชันจะทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) และค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเพื่อที่จะสุ่มสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 5.23 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.5000	0.1837	2	Infinity
2	3.3333	0.3333	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.5000	0.1837	2	Infinity
5	3.4286	0.1701	1	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ จะใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า p_i และ q_i ซึ่งค่า q_i คือค่าสะสมของ p_i โดยจากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็น 2 และทำการหาค่า $p_i = 1/7 = 0.1428$ ดังรูปที่ 5.20 และตารางที่ 5.24

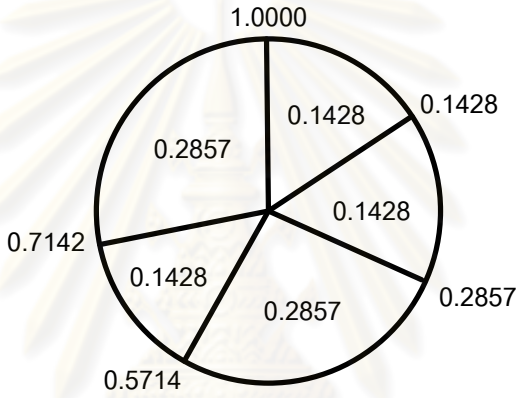
ตารางที่ 5.24 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.5000	0.1837	2	1	Infinity
2	3.3333	0.3333	2	1	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
4	3.5000	0.1837	2	1	Infinity
5	3.4286	0.1701	1	2	Infinity

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.25 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	1	0.1428	0.1428
2	1	0.1428	0.2857
3	2	0.2857	0.5714
4	1	0.1428	0.7142
5	2	0.2857	1
รวม	7	1	



รูปที่ 5.20 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

สุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งกำหนดให้ $P_{LS} = 0.8$ ดังนั้น สตริงคำตอบที่ถูกทำการค้นหาเฉพาะที่มีทั้งหมด $0.8 \times 5 = 4$ ตัว

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 4 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 4 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 4 2 และ 5 ดังตารางที่ 5.26 และเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.26 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	
1	0.1277	0.1428	1	1	0.5897	0.7142	4	1	1
2	0.0980	0.1428	1	1	0.6933	0.7142	4	1	4
3	0.2539	0.2857	2	1	0.0061	0.1428	1	1	2
4	0.8764	1	5	2	0.2617	0.2857	2	1	5

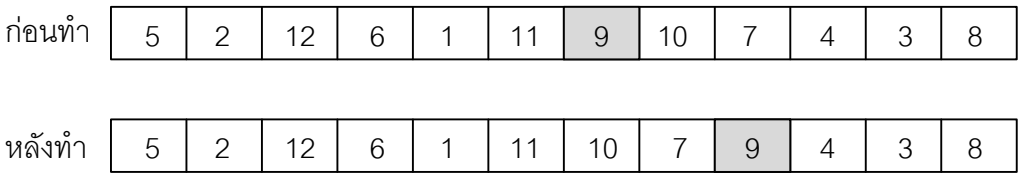
ตารางที่ 5.27 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[5 2 12 6 1 11 9 10 7 4 3 8]
2	[2 1 11 12 6 10 8 9 5 4 3 7]
3	[2 1 3 12 6 4 5 8 10 9 11 7]
4	[4 2 3 11 5 7 1 8 9 6 10 12]

ตารางที่ 5.28 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

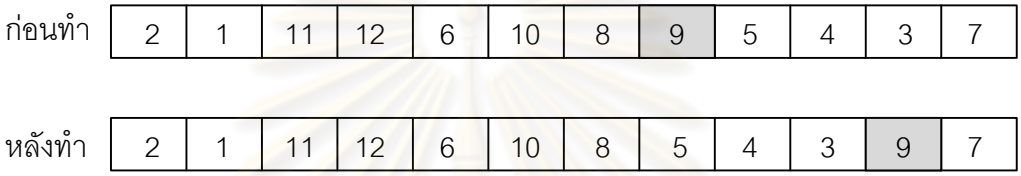
สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.5000	0.1837
2	2	4	3.5000	0.1837
3	2	4	3.3333	0.3333
4	2	4	3.4286	0.1701

นำสตริงคำตอบที่ 1 ที่ถูกคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมาหนึ่งตำแหน่งเพื่อย้ายออกไป และให้สมาชิกคำตอบที่เหลือเลื่อนมาติดกัน จากนั้นสุ่มตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งเพื่อแทรกคำตอบที่ถูกย้ายโดยตำแหน่งที่แทรกกลับเข้าไป โดยต้องไม่ใช่ตำแหน่งเดิม โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 7 และ 9



รูปที่ 5.21 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 8 และ 11

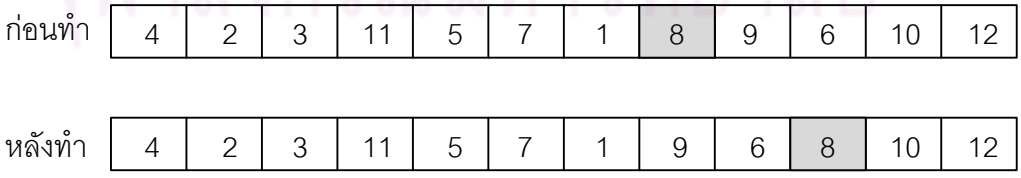


รูปที่ 5.22 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 7 และ 1

รูปที่ 5.23 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 8 และ 10



รูปที่ 5.24 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 4

ตารางที่ 5.29 ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

String No.	Task Sequence
1	[3 6 1 4 2 5 7 9 8 10 11 12]
2	[3 6 1 4 2 5 7 8 9 11 12 10]
3	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
4	[1 4 3 6 2 5 8 9 11 12 7 10]

ตารางที่ 5.30 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.5000	0.1837
	หลังทำ	4	3.5000	0.1156
2	ก่อนทำ	4	3.5000	0.1837
	หลังทำ	4	3.5000	0.0612
3	ก่อนทำ	4	3.3333	0.3333
	หลังทำ	4	3.3333	0.0884
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.1701
	หลังทำ	4	3.5000	0.1701

จากตารางที่ 5.30 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี IP อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับ (Lacomme et al., 2006) เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยมีกฎที่ใช้อยู่ 4 กฎ ดังตารางที่ 5.31

ตารางที่ 5.31 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1(f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1)(f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 1, 2 และ 3 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ยอมรับกฎที่ 2 และ 3 เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 4 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ปฏิเสธกฎการยอมรับทั้ง 4 ข้อ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 หลังจากทำการค้นหาเฉพาะที่ไม่ได้ดีขึ้นจากเดิม

ตารางที่ 5.32 สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[5 2 12 6 1 11 10 7 9 4 3 8]
2	[2 1 11 12 6 10 8 5 4 3 9 7]
3	[5 2 1 3 12 6 4 8 10 9 11 7]
4	[4 2 3 11 5 7 1 9 6 8 10 12]
5	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]

5.4.9 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดของ M-NSGA-II กับ NSGA-II ใช้เทคนิคเดียวกันคือ เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเก็บค่าดีที่สุดและป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีหลังจากผ่านกระบวนการต่างๆ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ อาจทำให้เกิดคำตอบที่แย่กว่าคำตอบที่เคยปรากฏในเจนเนอเรชันที่ผ่านมา จึงได้มีการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ เพื่อเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของกลุ่มสตริงคำตอบชุดใหม่ที่ได้ และทำการเก็บสตริงคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution ซึ่งได้จากการรวมกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ และประชากรคำตอบรุ่นลูก ในสถานที่รวมคำตอบ และทำการเก็บคำตอบที่ได้จาก Non-dominated Sorting โดยสตริงคำตอบที่ได้ในขั้นตอนนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันต่อไป

ซึ่งจากสตริงคำตอบที่ได้จะนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้นและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้เท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 5.33 การรวมสตริงคำตอบ

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
	2	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]
	3	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
	4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
	5	[6 2 3 12 4 11 7 8 9 10 1 5]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[5 2 12 6 1 11 10 7 9 4 3 8]
	7	[2 1 11 12 6 10 8 5 4 3 9 7]
	8	[5 2 1 3 12 6 4 8 10 9 11 7]
	9	[4 2 3 11 5 7 1 9 6 8 10 12]
	10	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]

สตริงคำตอบที่นำมารวมกัน จะทำการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ โดยการแปลงค่าสตริงคำตอบให้เป็นลำดับขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ดังตารางที่ 5.34

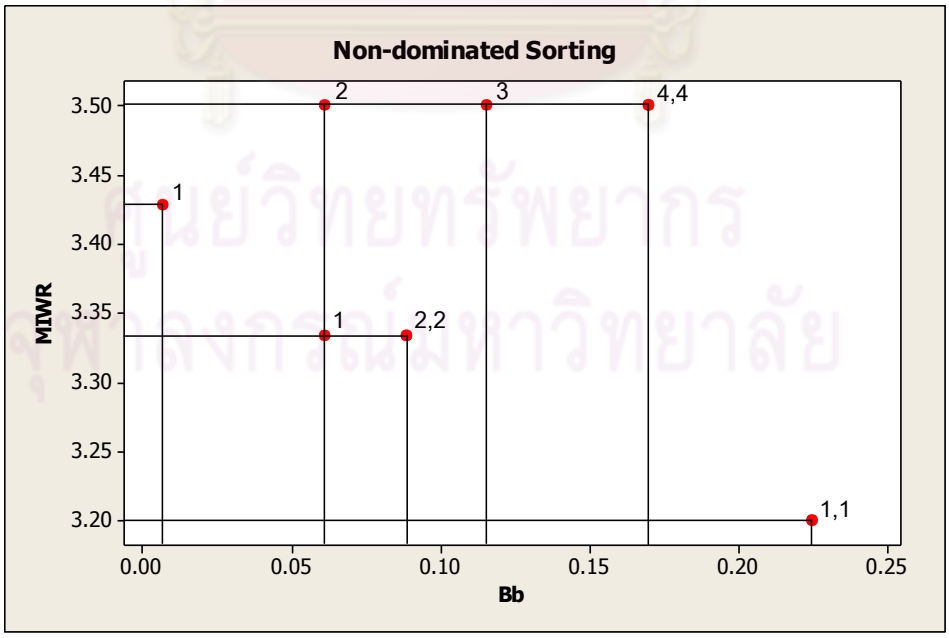
ตารางที่ 5.34 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	2	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	3	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	4	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
	5	[1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[3 6 1 4 2 5 7 9 8 10 11 12]
	7	[3 6 1 4 2 5 7 8 9 11 12 10]
	8	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	9	[1 4 3 6 2 5 8 9 11 12 7 10]
	10	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

ตารางที่ 5.35 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701
6	2	4	3.5000	0.1156
7	2	4	3.5000	0.0612
8	2	4	3.3333	0.0884
9	2	4	3.5000	0.1701
10	2	4	3.2000	0.2245

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และ คำนวณค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) ได้ดังรูปที่ 5.25 และตารางที่ 5.36



รูปที่ 5.25 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 5.36 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
5	3.5000	0.1701	4	Infinity
6	3.5000	0.1156	3	Infinity
7	3.5000	0.0612	2	Infinity
8	3.3333	0.0884	2	Infinity
9	3.5000	0.1701	4	Infinity
10	3.2000	0.2245	1	Infinity

ทำการเรียงค่า Dummy Fitness จากน้อยไปมาก และภายใน Front ทำการเรียงค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) จากมากไปน้อย ได้ดังตารางที่ 5.37

ตารางที่ 5.37 เรียงค่า Dummy Fitness และค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
10	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
8	3.3333	0.0884	2	Infinity
7	3.5000	0.0612	2	Infinity
6	3.5000	0.1156	3	Infinity
5	3.5000	0.1701	4	Infinity
9	3.5000	0.1701	4	Infinity

เมื่อทำการจัดเรียงแล้ว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยพิจาณาทีละ Front จากน้อยไปมาก ในที่นี้สตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 มีจำนวนสตริงคำตอบ 4 ตัว จึงทำการพิจารณา Front ที่ 2 โดยสุ่มเลือกมาอีก 1 ตัว เพื่อให้มีจำนวนเท่ากับสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บ (Popsize = 5) จึงได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 5.38

ตารางที่ 5.38 สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

สตริงคำตอบที่	String Priority
3	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
10	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]
4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
1	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
2	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]

5.4.10 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

การแก้ปัญหาในรอบที่ 2 นี้ ทำเช่นเดียวกับในรอบที่ 1 โดยนำสตริงคำตอบที่จัดเก็บในรอบที่ 1 มาเป็นสตริงตำตอบเบื้องต้น จากสตริงคำตอบที่ได้ในรอบที่ 1 (ตารางที่ 5.43) นำมาแปลงเป็นลำดับงานได้ดังนี้

Task Sequence 1 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 2 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 3 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Task Sequence 4 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 5 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

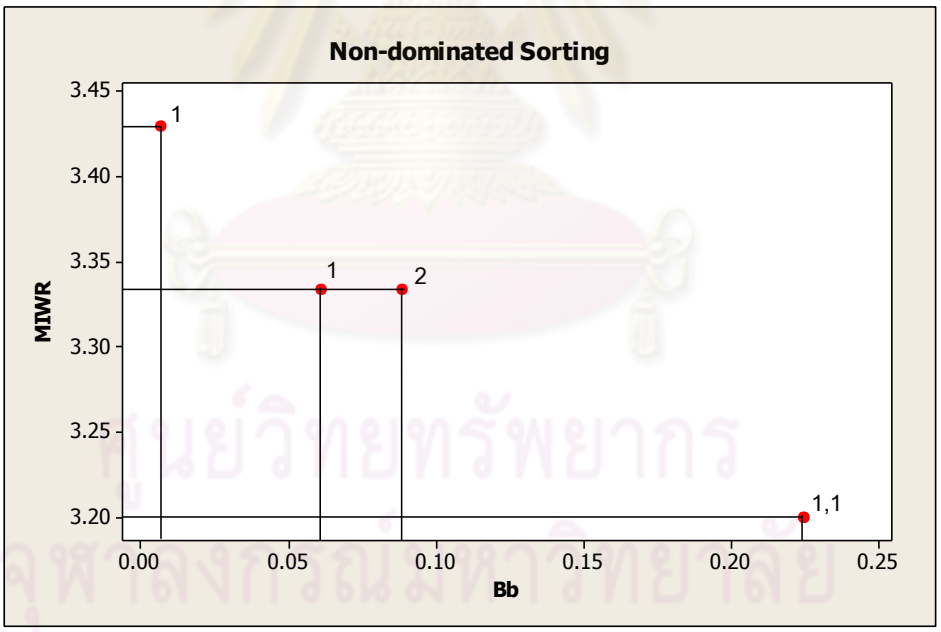
จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 5.39

ตารางที่ 5.39 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.2000	0.2245
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.3333	0.0612
4	2	4	3.4286	0.0068
5	2	4	3.3333	0.0884

การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยใช้วิธีจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) จะได้ดังรูปที่ 5.26



รูปที่ 5.26 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 5.40 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.3333	0.0884	2	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

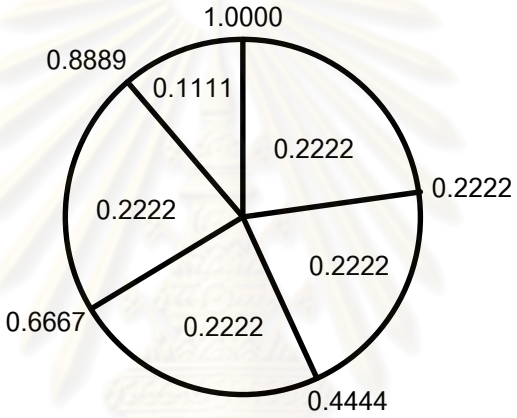
การคัดเลือกสตริงคำตอบจะใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า p_i และ q_i ซึ่งค่า q_i คือค่าสะสมของ p_i โดยจากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็น 2 และทำการหาค่า $p_i = 2/9 = 0.2222$ ดังรูปที่ 5.27 และตารางที่ 5.41

ตารางที่ 5.41 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	2	Infinity
5	3.3333	0.0884	2	1	Infinity

ตารางที่ 5.42 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	2	0.2222	0.2222
2	2	0.2222	0.4444
3	2	0.2222	0.6667
4	2	0.2222	0.8889
5	1	0.1111	1
รวม	9	1	



รูปที่ 5.27 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 1 2 4 และ 2 ดังตารางที่ 5.43 และกำหนดเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 4 และ 5 ในขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.43 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	Selected
1	0.1031	0.2222	1	2	0.2441	0.4444	2	2	1
2	0.8583	0.8889	4	2	0.1290	0.2222	1	2	1
3	0.9055	1	5	1	0.4089	0.4444	2	2	2
4	0.3724	0.4444	2	2	0.8797	0.8889	4	2	4
5	0.2970	0.4444	2	2	0.9735	1	5	1	2

การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่มค่า r น้อยกว่าค่า P_C ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $P_C = 0.7$ ดังนั้นสตริงคำตอบที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 = 3.5$ หรือ 4 ตัว

ตารางที่ 5.44 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.3920	Selected
2	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.5927	Selected
3	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]	0.6204	Selected
4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]	0.0591	Selected
5	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]	0.9460	-

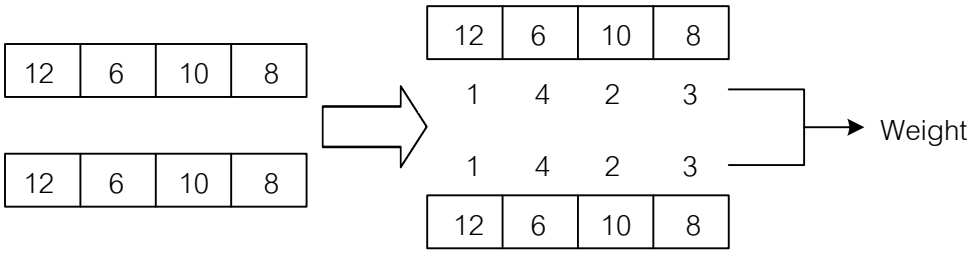
ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่นำไปครอสโอเวอร์ คือ สตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 1-2 และ 3-4

นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 4 และ 7

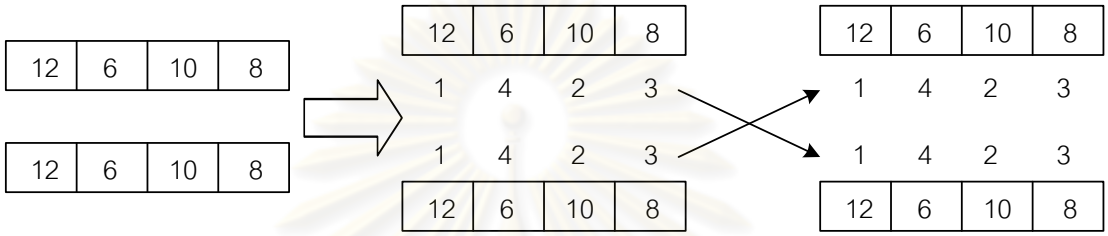
Parent 1 = [2 1 3 |12 6 10 8| 9 5 4 11 7]

Parent 2 = [2 1 3 |12 6 10 8| 9 5 4 11 7]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [4,7] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 5.28



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1

รูปที่ 5.28 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 1, 2

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 1 = [2 1 3 |12 6 10 8| 9 5 4 11 7]

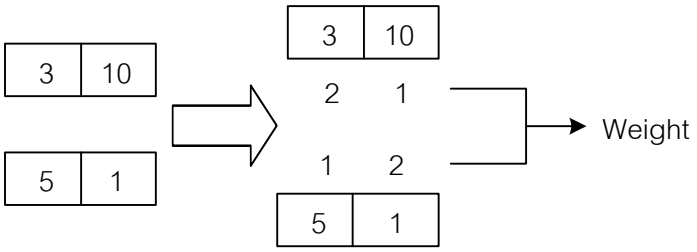
Offspring 2 = [2 1 3 |12 6 10 8| 9 5 4 11 7]

นำสตริงที่ 3 และ 4 ไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 6

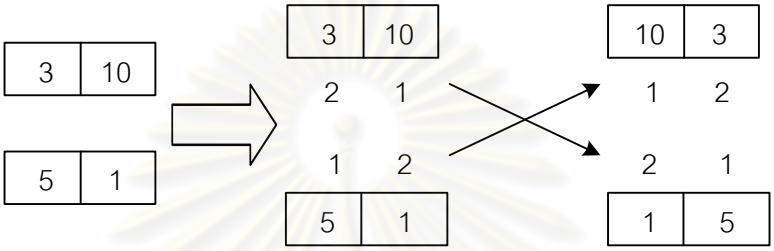
Parent 3 = [2 1 6 12 |3 10| 8 9 5 4 11 7]

Parent 4 = [4 2 3 11 |5 1| 7 8 9 6 10 12]

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [5,6] ให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่ ได้ดังรูปที่ 5.29



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยน
ค่าภายในโครโมโซมของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 2

รูปที่ 5.29 การครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สตริงคำตอบที่ 3, 4

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring) หลังจากทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

Offspring 3 = [2 1 6 12 |10 3| 8 9 5 4 11 7]

Offspring 4 = [4 2 3 11 |1 5| 7 8 9 6 10 12]

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

การมิวเตชัน

กำหนดให้ $P_m = 0.3$ ซึ่งจะทำให้ได้สตริงคำตอบ 30% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.3 \times 5 = 1.5$ หรือ 2 ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน ซึ่งสตริงคำตอบนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ซึ่งถ้ามีค่าน้อยกว่าค่า P_m จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 5.45

ตารางที่ 5.45 ผลจากการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.6698	-
2	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]	0.0192	Selected
3	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]	0.4990	-
4	[4 2 3 11 1 5 7 8 9 6 10 12]	0.7565	-
5	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]	0.2104	Selected

ดังนั้นสตริงคำตอบตัวที่ 3 และ 5 จะถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยวิธี Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งเป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการสุ่มตำแหน่ง 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 3 โดยสุ่มได้ตัวเลข 3 และ 9 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 3	2	1	3	12	6	10	8	9	5	4	11	7
Offspring 3	2	1	5	12	6	10	8	9	3	4	11	7

รูปที่ 5.30 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 3

ทำการมิวเตชันสตริงคำตอบตัวที่ 5 โดยสุ่มได้ตัวเลข 6 และ 10 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

Parent 5	2	1	6	12	3	10	8	9	5	4	11	7
Offspring 5	2	1	6	12	3	4	8	9	5	10	11	7

รูปที่ 5.31 การมิวเตชันด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงคำตอบที่ 5

จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว เพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 5.46 สตริงคำตอบหลังการทำมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
2	[2 1 5 12 6 10 8 9 3 4 11 7]
3	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]
4	[4 2 3 11 1 5 7 8 9 6 10 12]
5	[2 1 6 12 3 4 8 9 5 10 11 7]

การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการมิวเตชัน

จากสตริงคำตอบที่ได้หลังการมิวเตชันจะทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) และค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเพื่อที่จะสุ่มสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 5.47 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.4286	0.2245	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.4286	0.1701	1	Infinity
5	3.4286	0.2245	2	Infinity

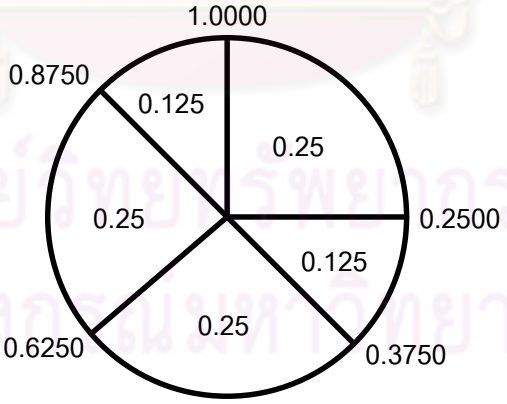
การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ จะใช้วิธี Binary Tournament Selection โดยการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการ Non-dominated Sorting โดยทำการสลับค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า p_i และ q_i ซึ่งค่า q_i คือค่าสะสมของ p_i โดยจากสตริงคำตอบที่ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากับ 1 เปลี่ยนเป็น 2 และทำการหาค่า $p_i = 2/8 = 0.2500$ ดังรูปที่ 5.32 และตารางที่ 5.48

ตารางที่ 5.48 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริง คำตอบที่	MIWR	Bb	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
2	3.4286	0.2245	2	1	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	2	Infinity
4	3.4286	0.1701	1	2	Infinity
5	3.4286	0.2245	2	1	Infinity

ตารางที่ 5.49 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงาน

สตริงคำตอบที่	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	2	0.2500	0.2500
2	1	0.1250	0.3750
3	2	0.2500	0.6250
4	2	0.2500	0.8750
5	1	0.1250	1
รวม	8	1	



รูปที่ 5.32 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 12 ขั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

สุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งกำหนดให้ $P_{LS} = 0.8$ ดังนั้น สตริงคำตอบที่ถูกทำการค้นหาเฉพาะที่มีทั้งหมด $0.8 \times 5 = 4$ ตัว

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 4 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 4 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 4 2 และ 5 ดังตารางที่ 5.50 และเป็นสตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 และ 4 ในขั้นต่อไป

ตารางที่ 5.50 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fitness	
1	0.1853	0.2500	1	2	0.4790	0.6250	3	2	1
2	0.2894	0.3750	2	1	0.5893	0.6250	3	2	3
3	0.8315	0.8750	4	2	0.8914	1	5	1	4
4	0.9731	1	5	1	0.7604	0.8750	4	2	4

ตารางที่ 5.51 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

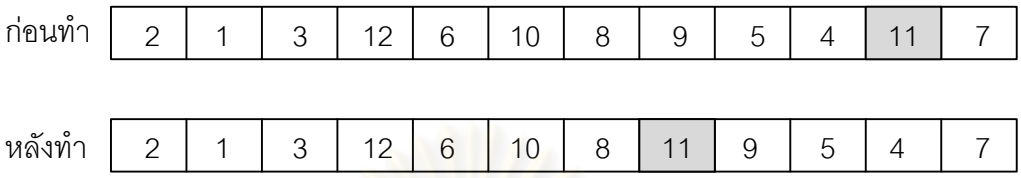
String No.	String Priority
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
2	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]
3	[4 2 3 11 1 5 7 8 9 6 10 12]
4	[4 2 3 11 1 5 7 8 9 6 10 12]

ตารางที่ 5.52 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.1701
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.4286	0.1701
4	2	4	3.4286	0.1701

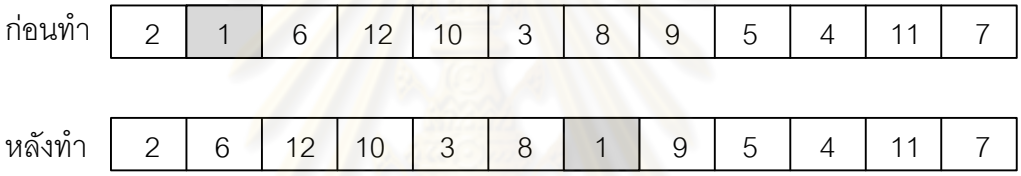
นำสตริงคำตอบที่ 1 ที่ถูกคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมาหนึ่งตำแหน่งเพื่อย้ายออกไป และให้สมาชิกคำตอบ

ที่เหลือเลื่อนมาติดกัน จากนั้นสุ่มตำแหน่งหนึ่งตำแหน่งเพื่อแทรกคำตอบที่ถูกย้ายโดยตำแหน่งที่แทรกกลับเข้าไปต้องไม่ใช่ตำแหน่งเดิม โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 11 และ 8



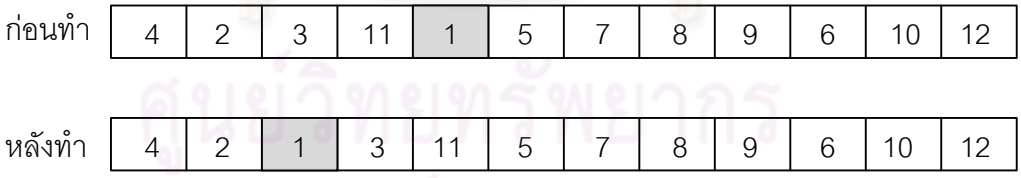
รูปที่ 5.33 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 2 และ 7



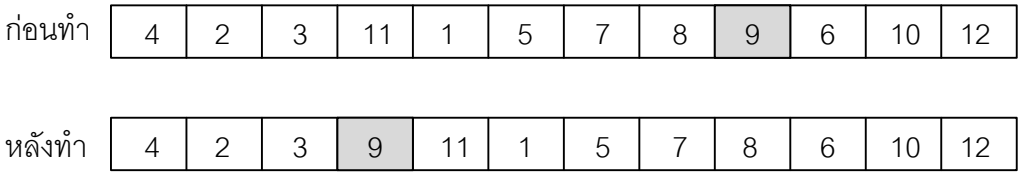
รูปที่ 5.34 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 3



รูปที่ 5.35 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Insertion Procedure (IP) โดยทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 9 และ 4



รูปที่ 5.36 การค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ด้วยวิธี IP ของสตริงคำตอบที่ 4

ตารางที่ 5.53 ลำดับงานของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

String No.	Task Sequence
1	[3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]
2	[3 6 2 5 8 9 11 12 1 4 7 10]
3	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
4	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

ตารางที่ 5.54 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	4	3.4286	0.1701
2	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	4	3.4286	0.2245
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.1701
	หลังทำ	4	3.3333	0.0884
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.1701
	หลังทำ	4	3.4286	0.0068

จากตารางที่ 5.54 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี IP อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับ (Lacomme et al., 2006) เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยมีกฎที่ใช้อยู่ 4 กฎ ดังตารางที่ 5.55

ตารางที่ 5.55 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1(f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1)(f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 1 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ยอมรับกฎที่ 2 เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ดีขึ้น และเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 3 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ยอมรับกฎที่ 1 และ 2 ส่วนสตริงคำตอบที่ 4 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ยอมรับกฎที่ 3 เนื่องจากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ดีขึ้น แต่เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 2 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ไม่ยอมรับกฎทั้ง 4 กฎ

ตารางที่ 5.56 สตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[2 1 5 12 6 10 8 9 3 4 11 7]
2	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]
3	[2 1 6 12 3 4 8 9 5 10 11 7]
4	[2 1 3 12 6 10 8 11 9 5 4 7]
5	[4 2 1 3 11 5 7 8 9 6 10 12]
6	[4 2 3 9 11 1 5 7 8 6 10 12]

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

จากสตริงคำตอบที่ได้จะนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้นและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้เท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ซึ่งในที่นี้เท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 5.57 การรวมสตริงคำตอบ

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
	2	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]
	3	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
	4	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]
	5	[12 4 1 11 2 6 7 9 8 10 5 3]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[2 1 5 12 6 10 8 9 3 4 11 7]
	7	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]
	8	[2 1 6 12 3 4 8 9 5 10 11 7]
	9	[2 1 3 12 6 10 8 11 9 5 4 7]
	10	[4 2 1 3 11 5 7 8 9 6 10 12]
	11	[4 2 3 9 11 1 5 7 8 6 10 12]

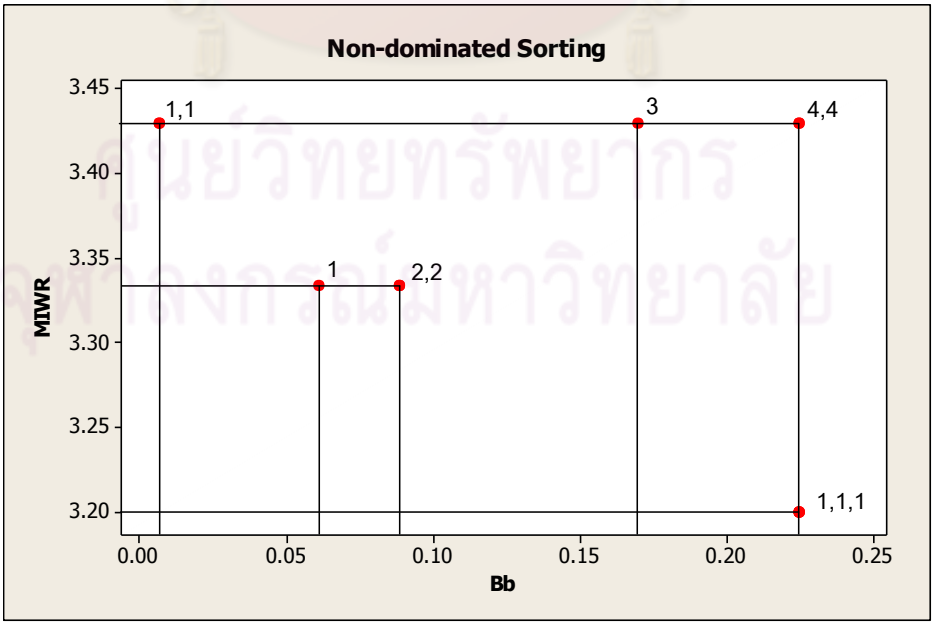
ตารางที่ 5.58 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบ

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น (P)	1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	2	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	3	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
	4	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
	5	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
สตริงคำตอบรุ่นลูก (Q)	6	[3 6 1 4 2 5 8 7 10 9 11 12]
	7	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	8	[3 6 1 4 2 5 8 7 10 9 11 12]
	9	[3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]
	10	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	11	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

ตารางที่ 5.59 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.2000	0.2245
2	2	4	3.2000	0.2245
3	2	4	3.3333	0.0612
4	2	4	3.4286	0.0068
5	2	4	3.3333	0.0884
6	2	4	3.4286	0.2245
7	2	4	3.2000	0.2245
8	2	4	3.4286	0.2245
9	2	4	3.4286	0.1701
10	2	4	3.3333	0.0884
11	2	4	3.4286	0.0068

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และ คำนวณค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) ได้ดังรูปที่ 5.37 และตารางที่ 5.60



รูปที่ 5.37 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 5.60 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.2000	0.2245	1	Infinity
7	3.2000	0.2245	1	Infinity
3	3.3333	0.0612	1	2.0000
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
11	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.3333	0.0884	2	Infinity
10	3.3333	0.0884	2	Infinity
9	3.4286	0.1701	3	Infinity
6	3.4286	0.2245	4	Infinity
8	3.4286	0.2245	4	Infinity

เมื่อทำการจัดเรียงแล้ว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยพิจาณาทีละ Front จากน้อยไปมาก ในที่นี้สตริงคำตอบที่อยู่ใน Front ที่ 1 มีจำนวนสตริงคำตอบ 6 ตัว คือ 1, 2, 7, 3, 4 และ 11 ซึ่งเกินสตริงคำตอบที่ทำการจัดเก็บ (Popsize = 5) จึงทำการสุ่มตัดสตริงคำตอบ 1 ตัว สมมติสุ่มได้สตริงคำตอบที่ 11 ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด คือ 1, 2, 7, 3 และ 4 จึงทำการเก็บไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 5.61

ตารางที่ 5.61 สตริงคำตอบที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป

สตริงคำตอบที่	String Priority
1	[2 1 3 12 6 10 8 9 5 4 11 7]
2	[2 1 6 12 3 10 8 9 5 4 11 7]
3	[2 1 6 12 10 3 8 9 5 4 11 7]
4	[5 2 12 6 1 4 7 9 11 10 3 8]
5	[4 2 3 11 5 1 7 8 9 6 10 12]

5.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัวที่เหมือนกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมโดยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ โดยวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม โดยมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

5.5.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008) ซึ่งมีจำนวนเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้นในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

5.5.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989)

5.5.3 วิธีกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบ

วิธีการกำหนดค่าความหนาแน่น หรือค่าการแบ่งปันความแข็งแรง ใช้วิธีเช่นเดียวกับในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ วิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002)

5.5.4 วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ

ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection Method) ด้วยวิธี Binary Tournament Selection เช่นเดียวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่ได้นำเสนอในบทที่ 4

5.5.5 วิธีการและค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover Method) ในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมจะใช้วิธีเดียวกับในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งคือ วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) (Hwang, Katayama and Gen, 2008) และความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่ใช้จะได้จากการทดสอบระดับของปัจจัยในบทก่อนหน้า ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นตัวเดียวกับของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาพารามิเตอร์นี้

5.5.6 วิธีการและค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน

วิธีการมิวเตชัน (Mutation Method) ในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมจะใช้วิธีเดียวกับในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งคือ วิธี Reciprocal Exchange Mutation (Hwang, Katayama and Gen, 2008) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชันที่ใช้นั่นได้มาจากการทดสอบระดับของปัจจัยในบทก่อนหน้า ซึ่งมีค่าความน่าจะเป็นตัวเดียวกับของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาพารามิเตอร์นี้

5.5.7 วิธีการและค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมจะมีการประยุกต์ใช้ใน 2 ขั้นตอน คือ การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบ และการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน ซึ่งวิธีการค้นหาเฉพาะที่มีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธี Pairwise Interchange (PI) ในการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากร และวิธี Insertion Procedure (IP) ในการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน (เพ็ญพักตร์, 2551 ; ภาณุวัฒน์, 2551) และกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) เท่ากับ 0.8 (Ishibuchi, Yoshida and Murata, 2003)

5.6 สรุปท้ายบท

เนื้อหาได้บทนี้ได้กล่าวถึงวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ซึ่งเป็นฮิวริสติกที่มีการนำการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่พัฒนามาจากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า โดยได้มีการปรับปรุงคำตอบ หรือช่วยในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งขึ้นมาเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง ซึ่งมีวิธีการค้นหาเฉพาะที่หลายวิธี โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ใน 2 ขั้นตอน คือ การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบ โดยใช้วิธี Pairwise Interchange (PI) และการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน โดยใช้วิธี Insertion Procedure (IP) การค้นหาเฉพาะที่มีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดียิ่งขึ้น โดยมีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) การค้นหาเฉพาะที่จะทำการค้นหาไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนครั้งในการวนซ้ำ หรือคำตอบที่ได้ไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีก ซึ่งสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นสตริงค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority String) เช่นเดียวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม อีกทั้งในบทนี้ได้มีการกล่าวถึงการกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมซึ่งพารามิเตอร์ในวิธีนี้จะใช้ค่าพารามิเตอร์ค่าเดียวกับในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อง่ายต่อการ

เปรียบเทียบประสิทธิภาพ คือ ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน ส่วนที่เพิ่มเติมขึ้นมาในวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมคือ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดค่าเท่ากับ 0.8 เพื่อเป็นการประหยัดเวลา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

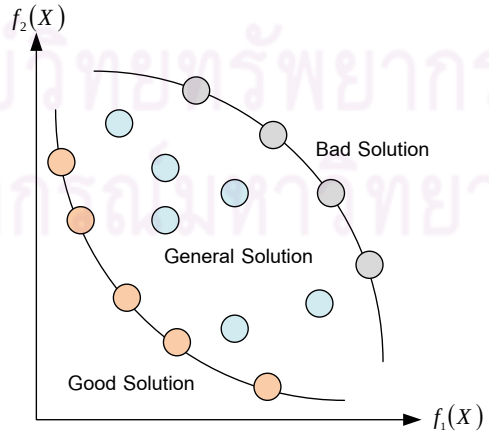
บทที่ 6

ทฤษฎีเกี่ยวกับอัลกอริทึมการบรรจวบ และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence : COIN) และการนำอัลกอริทึมการบรรจวบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และตัวอย่างการคำนวณ รวมถึงการกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยที่แตกต่างกัน 5 ปัญหา

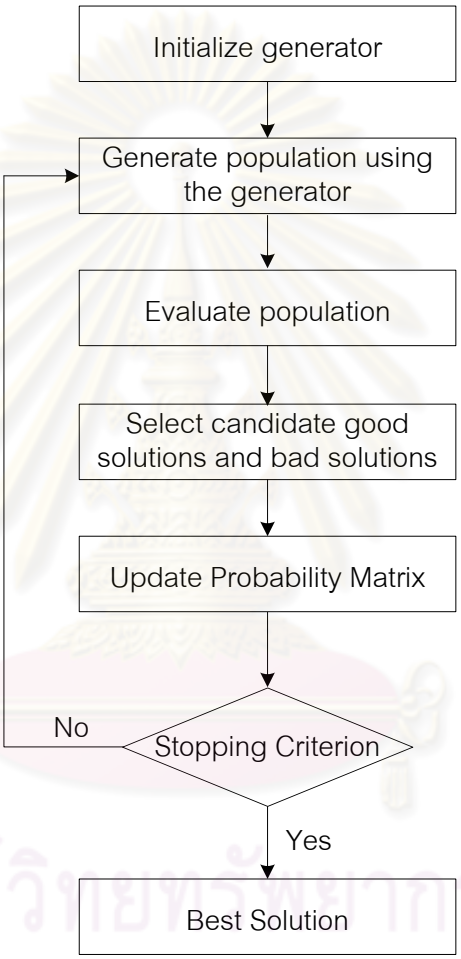
6.1 อัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence : COIN)

อัลกอริทึมการบรรจวบเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่มีพื้นฐานมาจากการใช้หลักการความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบ ซึ่งสามารถให้คำตอบที่ดีได้ภายในระยะเวลาที่เหมาะสม แต่ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก โดยวิธี COIN ได้ให้ความสำคัญกับคำตอบที่ดี (Good Solution) ซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เด่นกว่า และคำตอบที่แย่ (Bad Solution) ซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่มีคำตอบใดแย่กว่า โดยการนำคำตอบที่ดีมาทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบให้มีค่าสูงขึ้น และใช้คำตอบที่แย่มาทำการลดค่าความน่าจะเป็นเพื่อให้กระบวนการค้นหาคำตอบได้หลีกเลี่ยงการนำไปสู่คำตอบที่ไม่ดี ส่งผลให้คำตอบในกระบวนการค้นหามีคำตอบลดน้อยลง ซึ่งลักษณะพื้นที่ของคำตอบได้แสดงดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ลักษณะพื้นที่ของคำตอบที่ใช้ในงานวิจัยในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์

อัลกอริทึมการบรรจวบ ได้มีการใช้หลักการความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบ ซึ่งคล้ายกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problems : TSP) โดยจะทำการเลือกเส้นทางในการเดินที่สั้นที่สุด ซึ่งเมื่อเลือกเส้นทางผิดอาจเสียเวลาในการเดินทางหรือหลงทางได้ โดยหลักการของอัลกอริทึมการบรรจวบนี้จะทำการตัดเส้นทางที่ไม่เหมาะสมออก และทำการจดจำเส้นทางที่เหมาะสมใช้เวลาสั้นที่สุด โดยมีขั้นตอนพื้นฐานของอัลกอริทึมการบรรจวบดังนี้



รูปที่ 6.2 ขั้นตอนพื้นฐานของอัลกอริทึมการบรรจวบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.1.1 การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก

การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize the Generator) เป็นการสร้างตารางความน่าจะเป็น (Probability Matrix) เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทาง ซึ่งค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $\frac{1}{(n-1)}$ แต่ยกเว้นในแนวทะแยมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เมื่อ n คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมดที่พนักงานต้องเดิน ตัวอย่างเช่น การเดินทางของพนักงานที่ต้องเดินทางผ่านไปทั้ง 5 เมืองที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด โดยมีข้อจำกัดว่าแต่ละเมืองสามารถเดินผ่านได้ 1 ครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j ดังตารางที่ 6.1 และจะได้ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	3	2	1	2
y_{2j}	1	-	2	4	5
y_{3j}	2	5	-	3	1
y_{4j}	3	1	5	-	4
y_{5j}	5	3	4	2	-

ตารางที่ 6.2 ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางเริ่มต้น

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0.25	0.25	0.25	0.25
y_{2j}	0.25	-	0.25	0.25	0.25
y_{3j}	0.25	0.25	-	0.25	0.25
y_{4j}	0.25	0.25	0.25	-	0.25
y_{5j}	0.25	0.25	0.25	0.25	-

6.1.2 การสร้างประชากรเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น (Generate the Population) เป็นการสุ่มเลือกเส้นทางจากตารางความน่าจะเป็น โดยจะทำการสุ่มเลือกทีละตัว จากตัวอย่างสมมติให้มีการสร้างประชากรทั้งหมด 5 ตัว จะได้สตริงคำตอบดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$

6.1.3 การประเมินค่าประชากร

การประเมินค่าประชากร (Evaluate the Population) เป็นการคำนวณค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจากตัวอย่างคือ การหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด ซึ่งจะได้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของแต่ละสตริงคำตอบ ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย

6.1.4 การคัดเลือกคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Select the Candidates) เป็นการเลือกคำตอบที่ดี (Good Solution) และคำตอบที่แย่ (Bad Solution) ด้วยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ ซึ่งในที่นี้สมมติให้เท่ากับ 0.1 ดังนั้นจะทำการเลือกสตริงคำตอบที่ดี และสตริงคำตอบที่แย่มาจำนวนเท่ากับ $0.1 \times 5 = 0.5 \approx 1$ สตริงคำตอบ ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย : *คำตอบที่แย่ที่ถูกเลือก*

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดีที่ถูกเลือก*

6.1.5 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยได้มีการเพิ่มโอกาสในการถูกเลือกให้กับคำตอบที่ดี และลดโอกาสในการถูกเลือกให้คำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

6.1.5.1 การเพิ่มค่าความน่าจะเป็น

นำสตริงคำตอบที่ดีที่ได้จากการคัดเลือกมาพิจารณาทีละคู่ลำดับ เมื่อกำหนดให้คู่ลำดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_r โดยจะเพิ่มค่าความน่าจะเป็นหรือการให้รางวัล (Reward) ในตำแหน่ง $x_{c,r}$ ในตารางความน่าจะเป็น เท่ากับ $\frac{k}{n-1}$ และทำการลดค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ $x_{c,j}$ เมื่อ $j = 1,2,...,n$ เท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2}$ ดังสมการที่ (6.1)

$$x_{c,r}(t+1) = x_{c,r}(t) + \frac{k}{(n-1)}(r_{c,r}(t+1)) + \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} r_{c,j}(t+1)\right) \qquad (6.1)$$

โดยที่ $x_{c,r}(t+1)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r เพื่อนำไปใช้ในเจนเนอเรชันถัดไป

$x_{c,r}(t)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r ในเจนเนอเรชันที่กำลังพิจารณา

k คือ ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ

$r_{c,r}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการให้รางวัลเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r เป็นคำตอบที่ดี

$r_{c,j}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับทั้งหมดคือคู่ลำดับ x_c, x_j เมื่อ $j = 1,2,...,n$

6.1.5.2 การลดค่าความน่าจะเป็น

นำสตริงคำตอบที่แย่ที่ได้จากการคัดเลือกมาพิจารณาทีละคู่ลำดับ เมื่อกำหนดให้คู่ลำดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_p โดยจะลดค่าความน่าจะเป็นหรือการลงโทษ (Punish) ในตำแหน่ง $x_{c,p}$ ในตารางความน่าจะเป็น เท่ากับ $\frac{k}{n-1}$ และทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ $x_{c,j}$ เมื่อ $j = 1,2,...,n$ เท่ากับ $\frac{k}{(n-1)^2}$ ดังสมการที่ (6.2)

$$x_{c,p}(t+1) = x_{c,p}(t) - \frac{k}{(n-1)}(p_{c,p}(t+1)) + \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{c,j}(t+1)\right) \quad (6.2)$$

โดยที่ $x_{c,p}(t+1)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p เพื่อนำไปใช้ในเจนเนอเรชันถัดไป

$x_{c,p}(t)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p ในเจนเนอเรชันที่กำลังพิจารณา

k คือ ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ

$p_{c,p}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการลงโทษเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p เป็นคำตอบที่แย่

$p_{c,j}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับทั้งหมดคือคู่ลำดับ x_c, x_j เมื่อ $j = 1,2,...,n$

และเมื่อทำการรวมค่าที่ได้จากการให้รางวัลและการลงโทษ จะได้ค่าความน่าจะเป็นร่วม x_{c_1,c_2} ดังสมการที่ (6.3)

$$\begin{aligned} x_{c_1,c_2}(t+1) = x_{c_1,c_2}(t) &+ \frac{k}{(n-1)}\left(r_{c_1,c_2}(t+1) - p_{c_1,c_2}(t+1)\right) \\ &+ \frac{k}{(n-1)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{c_1,j}(t+1) - \sum_{j=1}^{n} r_{c_1,j}(t+1)\right) \end{aligned} \quad (6.3)$$

จากตัวอย่างข้างต้นที่ได้ทำการคัดเลือกไว้ได้สตริงคำตอบที่ 5 คือ $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ เป็นสตริงคำตอบที่ดี และสตริงคำตอบที่ 2 คือ $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ เป็นสตริงคำตอบที่แย่ โดยกำหนดให้ k เท่ากับ 0.1 โดยได้ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นดังนี้

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่ดี

เริ่มจากการให้รางวัลแก่คู่ลำดับ x_4, x_2 ในตำแหน่ง x_{42} เท่ากับ $\frac{k}{5-1} = 0.025$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{41}, x_{42}, x_{43} และ x_{45} เท่ากับ $\frac{k}{(5-1)^2} = 0.00625$

การให้รางวัล : คู่ลำดับ x_{42} มีค่าเท่ากับ 0.25+0.025 = 0.275

การลดค่า : คู่ลำดับ x_{41} มีค่าเท่ากับ 0.25-0.00625 = 0.24375

x_{42} มีค่าเท่ากับ 0.275-0.00625 = 0.26875

x_{43} มีค่าเท่ากับ 0.25-0.00625 = 0.24375

x_{44} มีค่าเท่ากับ 0.25-0.00625 = 0.24375

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดีจะได้ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางหลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดี

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0.2437	**0.2687**	0.2437	0.2437
y_{2j}	**0.2687**	-	0.2437	0.2437	0.2437
y_{3j}	0.2437	0.2437	-	0.2437	**0.2687**
y_{4j}	0.2437	**0.2687**	0.2437	-	0.2437
y_{5j}	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	-

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่แย่

เริ่มจากการลงโทษแก่คู่ลำดับ x_1, x_3 ในตำแหน่ง x_{13} เท่ากับ $\frac{k}{5-1} = 0.025$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{12}, x_{13}, x_{14} และ x_{15} เท่ากับ $\frac{k}{(5-1)^2} = 0.00625$

การลงโทษ : คู่ลำดับ x_{13} มีค่าเท่ากับ 0.2687-0.025 = 0.2437

การเพิ่มค่า : คู่ลำดับ x_{12} มีค่าเท่ากับ 0.2437+0.00625 = 0.25

x_{13} มีค่าเท่ากับ 0.2437+0.00625 = 0.25

x_{14} มีค่าเท่ากับ 0.2437+0.00625 = 0.25

x_{15} มีค่าเท่ากับ 0.2437+0.00625 = 0.25

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่แย่จะได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางหลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0.250	**0.250**	0.250	0.250
y_{2j}	0.275	-	0.250	**0.225**	0.250
y_{3j}	0.250	**0.225**	-	0.250	0.275
y_{4j}	0.250	0.275	0.250	-	**0.225**
y_{5j}	0.250	0.250	0.250	0.250	-

ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า เส้นทางที่ทำให้ได้คำตอบที่ดี จะมีค่าความน่าจะเป็นมาก ทำให้โอกาสในการเลือกเส้นทางครั้งต่อไปมีโอกาสถูกเลือกมากยิ่งขึ้น ส่วนในคำตอบที่แย่จะมีลดลง ทำให้การสุ่มเลือกเส้นทางนั้นมีโอกาสน้อยลง

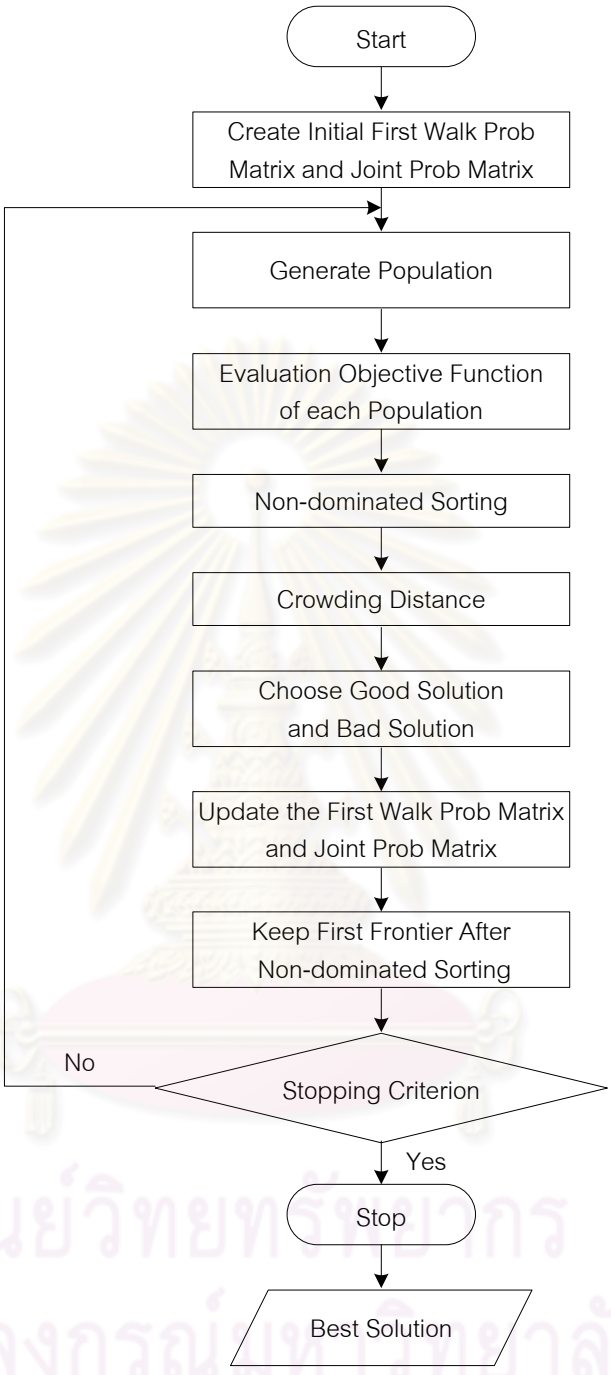
6.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน รวมถึงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มจากตารางความน่าจะเป็นมาจำนวน Popsize ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population) โดยสุ่มเลือกงานลำดับแรกจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก และงานลำดับอื่นๆ จากตารางความน่าจะเป็นร่วม
3. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
4. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่ประชากรคำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting

5. Density Information : คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ ด้วยวิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002)
6. Selection : คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากข้อตอนที่ 4 จากน้อยไปมาก และในอันดับเดียวกันให้ทำการเรียงค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) จากมากไปน้อย และทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดมาจำนวน $Choose$ ตัว มาเป็นสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) โดยคิดจากค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ (P_{Choose}) และเลือกสตริงคำตอบอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดมาจำนวน $Choose$ ตัว มาเป็นสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution)
7. Update Probability Matrix : ปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่าให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าให้แก่สตริงคำตอบที่แย่ โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษเท่ากับ k ซึ่งตารางความน่าจะเป็นที่ได้รับการปรับปรุงนี้จะกลายเป็นตารางความน่าจะเป็นเริ่มต้นในรอบถัดไป
8. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population : นำประชากรคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ไปรวมกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า และทำการเปรียบเทียบกันระหว่างประชากร ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบถัดไป
9. Stopping Criteria : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 8 ใหม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 10
10. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 8 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.3 ขั้นตอนการทำงานของ COIN

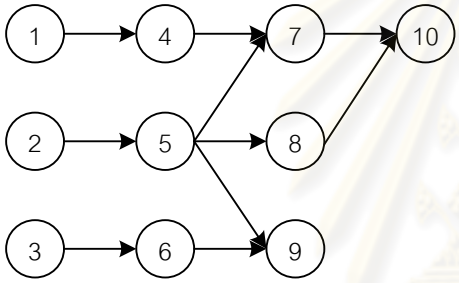
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 ตัวอย่างการนำวิธี COIN ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

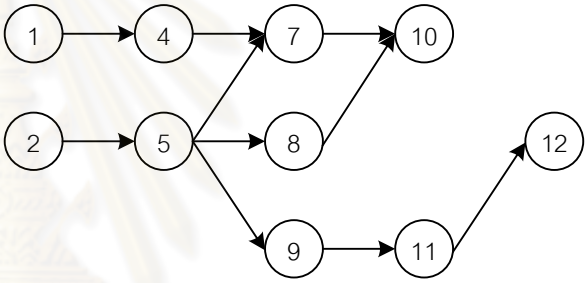
จากขั้นตอนของ COIN ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละงานเป็นดังนี้

6.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

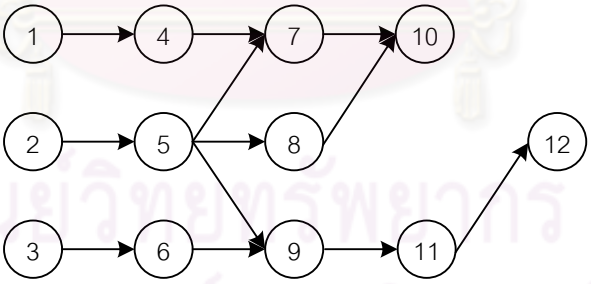
6.3.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 6.4



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 6.4 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

6.3.1.2 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** ซึ่งแสดงดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

6.3.1.3 **สร้างตาราง** Precedence Matrix **จากแผนภาพความสัมพันธ์** จะได้

ตารางที่ 6.6 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

6.3.1.4 **พารามิเตอร์ของ** COIN ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
- ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เท่ากับ 0.2
- ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1

6.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างสตริงคำตอบ โดยขั้นแรกต้องสร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1 \times n$ และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n = 1/12 = 0.0833$ ดังตารางที่ 6.7

และตารางความน่าจะเป็นร่วมจะคิดค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นโดยพิจารณาความสัมพันธ์ก่อน-หลัง ซึ่งในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 และเมื่อพิจารณาขั้นงานที่ 1 จะพบว่าไม่มีงานที่ต้องทำก่อนหน้า จึงมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/m = 1/11 = 0.0909$ เมื่อ m คือจำนวนตำแหน่งรวมตามแนวแถวที่ยังไม่มีการกำหนดค่า ตัวอย่างเช่นในขั้นงานที่ 4 โดยมีงานก่อนหน้าที่ต้องทำให้เสร็จก่อนคืองานที่ 1 ดังนั้นจึงมีค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ (4,1) จึงมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนตำแหน่งที่เหลือมีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $1/m = 1/10 = 0.1000$ เป็นต้น โดยจะได้ค่าความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้นดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.7 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

ตารางที่ 6.8 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
5	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
7	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	-	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
9	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	0.1111	-	0.1111	0.1111	0.1111
10	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	-	0.1111	0.1111
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	-	0.1000
12	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	-

6.3.3 การสร้างสตริงคำตอบ

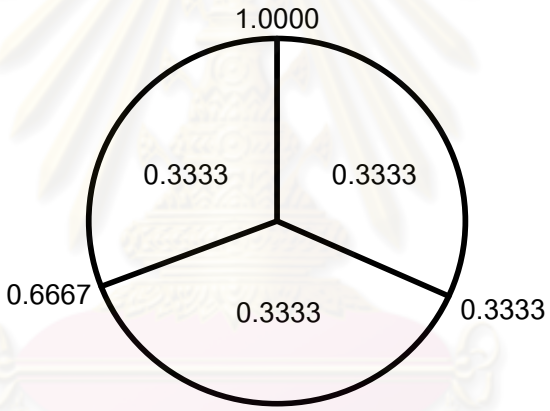
การสร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน โดยมีวิธีการสร้างลำดับงานดังนี้

- พิจารณาว่าขั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยจะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน ซึ่งจากตารางที่ 6.6 พบว่าขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานแรกได้ ได้แก่ ขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า
- จะเห็นได้ว่ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานแรกได้ จึงต้องมาพิจารณาที่ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก ซึ่งในขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0833, 0.0833 และ 0.0833 ตามลำดับดังตารางที่ 6.7 โดยจะทำการสุ่มเลือกงาน เพื่อนำมาจัดลงลำดับขั้นงาน โดยมีวิธีการสุ่มเลือกขั้นงานโดยใช้ Roulette Wheel Selection (Goldberg, 1989) ดังตารางที่ 6.9 และรูปที่ 6.5 ซึ่งเป็นวงกลมที่มีพื้นที่ขนาด 1 หน่วย โดยพื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามสัดส่วนในการประมาณค่า

ความน่าจะเป็นในการเลือกงาน จากนั้นทำการหมุนวงล้อ ซึ่งในที่นี้สมมติได้ค่าเท่ากับ 0.2462 ดังนั้นขั้นงานที่ได้คือ ขั้นงานที่ 1 จึงนำขั้นงานที่ 1 มาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

ตารางที่ 6.9 การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน

ขั้นงานที่	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสะสม
1	0.0833	0.3333	0.3333
2	0.0833	0.3333	0.6667
3	0.0833	0.3333	1
รวม	0.2499	1	



รูปที่ 6.5 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน

- ตัดขั้นงานที่ 1 ซึ่งถูกเลือกลงในลำดับของขั้นงานแล้ว โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานที่ 1 ใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานที่ 1 นั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
2	***1***	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	***1***	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	***1***	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	***1***	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	***1***	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix ใหม่อีกครั้ง เพื่อหาขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งถัดไปได้ ซึ่งจากตารางที่ 6.10 พบว่าขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งที่ 2 ได้ ได้แก่ ขั้นงานที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix เท่ากับ 0
- จะเห็นได้ว่ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งถัดไปได้ จึงต้องมาพิจารณาที่ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า และในคอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 พบว่ามีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0909, 0.0909 และ 0.0909 ตามลำดับดังตารางที่ 6.8 โดยจะทำการสุ่มเลือกงานด้วยวิธี Roulette Wheel Selection (Goldberg, 1989) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อนำมาจัดลงลำดับขั้นงานในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งในที่นี้สุ่มได้ขั้นงานที่ 4
- งานที่ถูกเลือกมาลงในลำดับของขั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานนั้นใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด
- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด

สามารถสรุปการคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1 เพื่อนำไปจัดลงในสถานีงานได้ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No.	Task	Selected	Side
1	1 , 2 , 3	1	L
2	2 , 3 , 4	4	L
3	2 , 3	3	E
4	2 , 6	2	R
5	5 , 6	5	E
6	6 , 7 , 8	8	R
7	6 , 7	7	E
8	6 , 10	10	E
9	6	6	L
10	9	9	E
11	11	11	E
12	12	12	R

เมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้สตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว ดังนี้

String 1 = [1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

String 2 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String 3 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

String 4 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

String 5 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

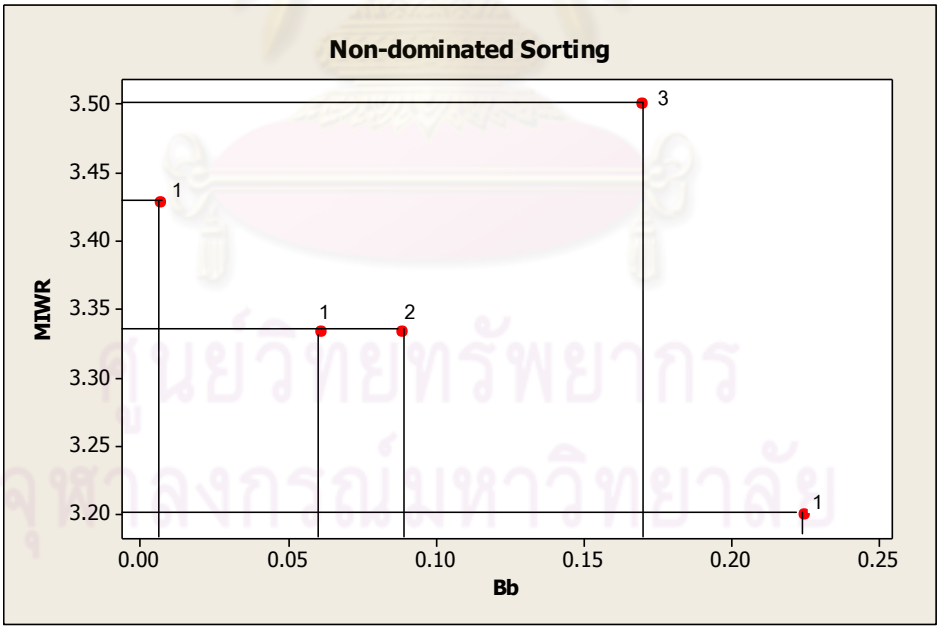
ทำการจัดขั้นงานลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยมีวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรงานลงสถานีงานในบทที่ 3 ดังที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 6.12

ตารางที่ 6.12 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.0068
2	2	4	3.3333	0.0884
3	2	4	3.2000	0.2245
4	2	4	3.3333	0.0612
5	2	4	3.5000	0.1701

6.3.4 การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ดังรูปที่ 6.6 และคำนวณหาค่า Crowding Distance (Dep et al., 2002) ได้ดังตารางที่ 6.13



รูปที่ 6.6 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 6.13 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.0068	1	Infinity
2	3.3333	0.0884	2	Infinity
3	3.2000	0.2245	1	Infinity
4	3.3333	0.0612	1	2.0000
5	3.5000	0.1701	3	Infinity

6.3.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบจะทำการพิจารณาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ที่มีค่าต่ำที่สุดให้เป็นคำตอบที่ดี (Good Solution) และเลือกสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) สูงที่สุดให้เป็นคำตอบที่แย่ (Bad Solution) โดยจำนวนสตริงที่ทำการคัดเลือกมาเป็นสตริงคำตอบที่ดีและแย่นั้นมีจำนวนเท่ากับ Popsize$\times P_{Choose}$ เมื่อ P_{Choose} คือ ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ซึ่งการคัดเลือกสตริงคำตอบที่เหมาะสมจะช่วยให้การค้นหาคำตอบได้ค่าที่ดียิ่งขึ้น

ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เท่ากับ 0.2 ดังนั้นจะทำการเลือกสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) มาจำนวนเท่ากับ $0.2\times 5=1$ ตัว ได้ดังตารางที่ 6.14 เพื่อทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตาราง

ตารางที่ 6.14 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance	Selection
3	3.2000	0.2245	1	Infinity	Good Solution
4	3.3333	0.0612	1	2.0000	
1	3.4286	0.0068	1	Infinity	
2	3.3333	0.0884	2	Infinity	
5	3.5000	0.1701	3	Infinity	Bad Solution

6.3.6 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น เป็นขั้นตอนที่สำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) แก่สตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่นั้น จะเป็นการเพิ่มโอกาสในการค้นหาคำตอบให้ได้คำตอบที่เหมาะสม โดยจะทำการปรับปรุงตารางดังนี้

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก** (First Walk Probability Matrix) เป็นตารางความน่าจะเป็นที่ใช้ในการเลือกงานลำดับแรก โดยจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในสตริงคำตอบที่ดี โดยจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ k/n ในตำแหน่งของงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ $k/(n)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งของงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกเท่ากับ k/n และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ $k/(n)^2$ เมื่อ n คือ จำนวนขั้นงานทั้งหมด และ k คือค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และลงโทษ (Punish)
- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม** (Joint Probability Matrix) เป็นตารางความน่าจะเป็นที่ใช้ในการเลือกงานลำดับอื่นๆ โดยจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี โดยจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ k/m และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $k/(m)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าความน่าจะแก่คู่ลำดับเท่ากับ k/m และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $k/(m)^2$ เมื่อ m คือ จำนวนขั้นงานรวมตามแถวที่ยังไม่มีการกำหนดค่า และ k คือค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และลงโทษ (Punish)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไปเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากจะทำการเพิ่มหรือให้รางวัล (Reward) ค่าความน่าจะเป็นให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และลดหรือลงโทษ (Punish) ค่าความน่าจะเป็นในสตริงคำตอบที่แย่ เพื่อให้โอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่ดีในรอบถัดไปมีค่าเพิ่มขึ้นและเป็นการลดโอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่แย่ โดยกำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1

จากสตริงคำตอบที่ทำการคัดเลือกได้สตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) ดังนี้

Good Solution : String 3 = [3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]

Bad Solution : String 5 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

6.3.6.1 **กรณีสตริงคำตอบที่ดี** (Good Solution)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีที่ได้ทำการคัดเลือก ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยเริ่มจากการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งขั้นงานลำดับแรกที่เป็นสตริงคำตอบที่ดีนั้นคือ ขั้นงาน 3 โดยจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่าที่ตำแหน่ง (1,3) เท่ากับ $k/n = 0.1/12 = 0.0083$ และลดค่าที่ตำแหน่ง (1,1), (1,2), (1,3),…, (1,11), (1,12) เท่ากับ $k/(n)^2 = 0.1/144 = 0.0007$ ดังนี้

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0833+0.0083 = 0.0916

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0916-0.0007 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตารางที่ 6.15 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0826	0.0826	0.0909	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดี คือ (3,6), (6,1), (1,4),…, (9,11), (11,12), (12,10) ทีละคู่ลำดับ โดยเริ่มจากการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับแรกที่ตำแหน่ง (3,6) เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (3,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909+0.0091 = 0.1000

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (3,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,3) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (3,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,6) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0008 = 0.0992

ตำแหน่งที่ (3,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (3,12) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

คู่ลำดับที่สองที่ตำแหน่ง (6,1) โดยเริ่มจากการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่า เท่ากับ $k/m = 0.1/10 = 0.0100$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/100 = 0.0010$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (6,1) มีค่าเท่ากับ 0.1000+0.0100 = 0.1100

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (6,1) มีค่าเท่ากับ 0.1100-0.0010 = 0.1090

ตำแหน่งที่ (6,2) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,3) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (6,4) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,5) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,6) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (6,7) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,8) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,9) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,10) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,11) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

ตำแหน่งที่ (6,12) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0010 = 0.0990

และทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับสตริงคำตอบที่ดี จะได้ดังตารางที่ 6.16

ตารางที่ 6.16 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0901	0.0901	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
2	0.0901	-	0.0901	0.0901	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
3	0.0901	0.0901	-	0.0901	0.0901	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
4	0.0000	0.1090	0.0990	-	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
5	0.0990	0.0000	0.0990	0.0990	-	0.0990	0.0990	0.1090	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
6	0.1090	0.0990	0.0000	0.0990	0.0990	-	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
7	0.1099	0.1099	0.1099	0.0000	0.0000	0.1099	-	0.1099	0.1210	0.1099	0.1099	0.1099
8	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0000	0.0990	0.1090	-	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
9	0.1099	0.1099	0.1099	0.1099	0.0000	0.0000	0.1099	0.1099	-	0.1099	0.1210	0.1099
10	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	-	0.1111	0.1111
11	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0000	0.0990	-	0.1090
12	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.1090	0.0000	-

6.3.6.2 **กรณีสตริงคำตอบที่แย่** (Bad Solution)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่แย่ที่ได้ทำการคัดเลือก ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยเริ่มจากการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งขั้นงานลำดับแรกที่เป็นสตริงคำตอบที่แย่นั้นคือ ขั้นงาน 1 โดยจะทำการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าที่ตำแหน่ง (1,1) เท่ากับ $k/n = 0.1/12 = 0.0083$ และเพิ่มค่าที่ตำแหน่ง (1,1), (1,2), (1,3),…, (1,11), (1,12) เท่ากับ $k/(n)^2 = 0.1/144 = 0.0007$ ดังนี้

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0826-0.0083 = 0.0743

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0743+0.0007 = 0.0750

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909+0.0007 = 0.0916

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตารางที่ 6.17 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0750	0.0833	0.0917	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดี คือ (1,4), (4,3), (3,6),…, (7,10), (10,11), (11,12) ทีละคู่ลำดับ โดยเริ่มจากการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าแก่คู่ลำดับแรกที่ตำแหน่ง (1,4) เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0992-0.0091 = 0.0901

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

คู่ลำดับที่สองที่ตำแหน่ง (4,3) โดยเริ่มจากการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่า เท่ากับ $k/m = 0.1/10 = 0.0100$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/100 = 0.0010$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0.0990-0.0100 = 0.0890

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (4,1) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0.1090+0.0010 = 0.1100

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0.0890+0.0010 = 0.0900

ตำแหน่งที่ (4,4) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (4,12) มีค่าเท่ากับ 0.0990+0.0010 = 0.1000

และทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับสตริงคำตอบที่แย่ จะได้ดังตารางที่ 6.18

ตารางที่ 6.18 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0000	0.1100	0.0900	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
5	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1100	0.0900	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1100	0.0900	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
7	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	-	0.1111	0.1222	0.1000	0.1111	0.1111
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
9	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	0.1000	-	0.1111	0.1222	0.1111
10	0.1123	0.1123	0.1123	0.1123	0.1123	0.1123	0.0000	0.0000	0.1123	-	0.1012	0.1123
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	-	0.1000
12	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.1090	0.0000	-

6.3.7 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึมการบรรจวบ จะทำโดยการนำสตริงคำตอบที่ดีในรอบที่กำลังพิจารณา (Current Good String) รวมกับสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบและหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

(Dummy Fitness) โดยวิธี Non-dominated Sorting ซึ่งสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 จะถือว่าเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน (Current Best String) และทำการจัดเก็บสตริงคำตอบเพื่อไปเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป

ตารางที่ 6.19 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
3	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
4	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
1	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

6.3.8 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

เริ่มจากการสร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้า

เมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้สตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว ดังนี้

String 1 = [3 1 2 4 6 5 8 9 7 11 12 10]

String 2 = [3 2 6 1 5 4 7 9 11 8 12 10]

String 3 = [1 2 5 4 8 3 7 6 10 9 11 12]

String 4 = [1 2 4 5 3 8 7 10 6 9 11 12]

String 5 = [1 3 2 4 6 5 8 9 11 12 7 10]

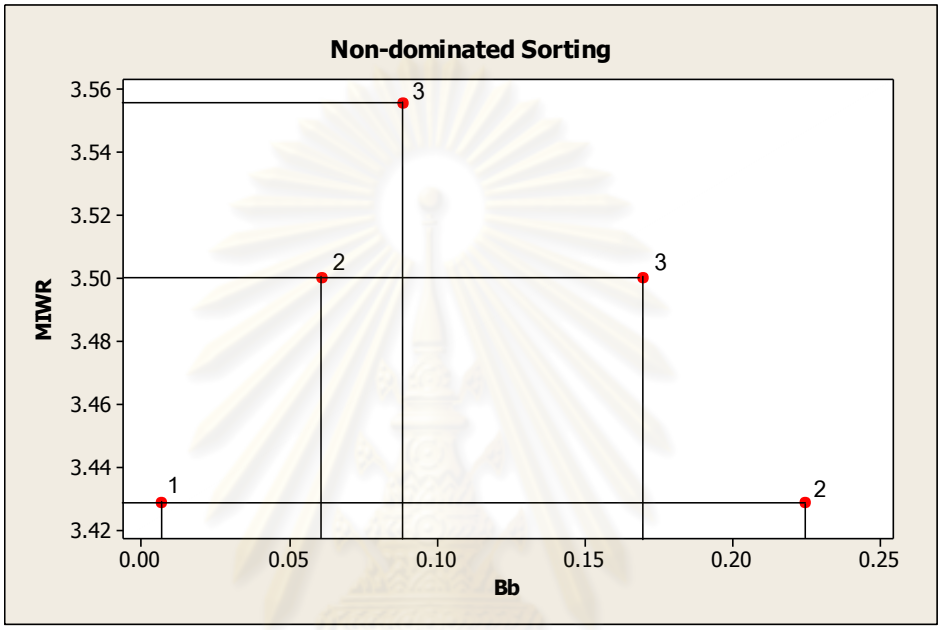
จากลำดับงานทั้ง 5 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 6.20

ตารางที่ 6.20 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.4286	0.2245
2	2	4	3.5000	0.0612
3	2	4	3.5556	0.0884
4	2	4	3.4286	0.0068
5	2	4	3.5000	0.1701

การประเมินค่า

ในการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้นั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting โดยค่าอันดับที่ได้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ดังรูปที่ 6.7



รูปที่ 6.7 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

ตารางที่ 6.21 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.4286	0.2245	2	Infinity
2	3.5000	0.0612	2	Infinity
3	3.5556	0.0884	3	Infinity
4	3.4286	0.0068	1	Infinity
5	3.5000	0.1701	3	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่ได้จะถูกนำมาทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริง

คำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เท่ากับ 0.2 ดังนั้นจะทำการเลือกสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) มาจำนวนเท่ากับ $0.2 \times 5 = 1$ ตัว ได้ตารางที่ 6.22 เพื่อทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นทั้งสองตาราง

ตารางที่ 6.22 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance	Selection
4	3.4286	0.0068	1	Infinity	Good Solution
1	3.4286	0.2245	2	Infinity	
2	3.5000	0.0612	2	Infinity	
5	3.5000	0.1701	3	Infinity	
3	3.5556	0.0884	3	Infinity	Bad Solution

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

จากสตริงคำตอบที่ทำการคัดเลือกได้สตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) ดังนี้

Good Solution : String 4 = [1 2 4 5 3 8 7 10 6 9 11 12]

Bad Solution : String 3 = [1 2 5 4 8 3 7 6 10 9 11 12]

1. กรณีสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีที่ได้ทำการคัดเลือก ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยเริ่มจากการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งขั้นงานลำดับแรกที่เป็นสตริงคำตอบที่ดีนั้นคือ ขั้นงาน 3 โดยจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่าที่ตำแหน่ง (1,1) เท่ากับ $k/n = 0.1/12 = 0.0083$ และลดค่าที่ตำแหน่ง (1,1), (1,2), (1,3),…, (1,11), (1,12) เท่ากับ $k/(n)^2 = 0.1/144 = 0.0007$ ดังนี้

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0750+0.0083 = 0.0833

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0917-0.0007 = 0.0910

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0007 = 0.0826

ตารางที่ 6.23 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0826	0.0826	0.0910	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826	0.0826

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดี คือ (1,2), (2,4), (4,5),…, (6,9), (9,11), (11,12) ทีละคู่ลำดับ โดยเริ่มจากการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับแรกที่ตำแหน่ง (1,2) เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909+0.0091 = 0.1000

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0008 = 0.0992

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

คู่ลำดับที่สองที่ตำแหน่ง (2,4) โดยเริ่มจากการให้รางวัล (Reward) หรือการเพิ่มค่า เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการให้รางวัล (Reward)

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909+0.0091 = 0.1000

คู่ลำดับที่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,2) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0.1000-0.0008 = 0.0992

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

ตำแหน่งที่ (2,12) มีค่าเท่ากับ 0.0909-0.0008 = 0.0901

และทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับสตริงคำตอบที่ดี จะได้ดังตารางที่ 6.24

ตารางที่ 6.24 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดี

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
2	0.0901	-	0.0901	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
3	0.0901	0.0901	-	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901	0.0992	0.0901	0.0901	0.0901	0.0901
4	0.0000	0.1090	0.0890	-	0.1090	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
5	0.0990	0.0000	0.1090	0.0990	-	0.0990	0.0990	0.1090	0.0890	0.0990	0.0990	0.0990
6	0.1090	0.0890	0.0000	0.0990	0.0990	-	0.0990	0.0990	0.1090	0.0990	0.0990	0.0990
7	0.1099	0.1099	0.1099	0.0000	0.0000	0.1099	-	0.1099	0.1210	0.1099	0.1099	0.1099
8	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0000	0.0990	0.1090	-	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990
9	0.1099	0.1099	0.1099	0.1099	0.0000	0.0000	0.1099	0.0988	-	0.1099	0.1321	0.1099
10	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.1222	0.0000	0.0000	0.1111	-	0.1000	0.1111
11	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0000	0.0990	-	0.1090
12	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.1090	0.0000	-

2. **กรณีสตริงคำตอบที่แย่** (Bad Solution)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่แย่ที่ได้ทำการคัดเลือก ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยเริ่มจากการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งขั้นงานลำดับแรกที่เป็นสตริงคำตอบที่แย่นั้นคือ ขั้นงาน 1 โดยจะทำการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าที่ตำแหน่ง (1,1) เท่ากับ $k/n = 0.1/12 = 0.0083$ และเพิ่มค่าที่ตำแหน่ง (1,1), (1,2), (1,3),…, (1,11), (1,12) เท่ากับ $k/(n)^2 = 0.1/144 = 0.0007$ ดังนี้

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0826-0.0083 = 0.0743

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0743+0.0007 = 0.0750

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0910+0.0007 = 0.0917

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0826+0.0007 = 0.0833

ตารางที่ 6.25 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0750	0.0833	0.0917	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดี คือ (1,2), (2,5), (5,4),…, (10,9), (9,11), (11,12) ทีละคู่ลำดับ โดยเริ่มจากการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่าแก่คู่ลำดับแรกที่ตำแหน่ง (1,2) เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0992-0.0091 = 0.0901

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (1,1) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

คู่ลำดับที่สองที่ตำแหน่ง (2,5) โดยเริ่มจากการลงโทษ (Punish) หรือการลดค่า เท่ากับ $k/m = 0.1/11 = 0.0091$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่งที่เหลือเท่ากับ $k/(m)^2 = 0.1/121 = 0.0008$ ยกเว้นในคอลัมน์ที่มีค่าเป็น 0

คู่ลำดับที่มีการลงโทษ (Punish)

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ 0.0901-0.0091 = 0.0810

คู่ลำดับที่มีการเพิ่มค่า

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,2) ไม่มีการลดค่า

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0.0992+0.0008 = 0.1000

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ 0.0810+0.0008 = 0.0818

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (2,12) มีค่าเท่ากับ 0.0901+0.0008 = 0.0909

และทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับสตริงคำตอบที่แย่ จะได้ดังตารางที่ 6.26

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.26 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0909	0.1000	0.0818	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0818	0.1000	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0000	0.1100	0.0900	-	0.1100	0.1000	0.1000	0.0900	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
5	0.1000	0.0000	0.1100	0.0900	-	0.1000	0.1000	0.1100	0.0900	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1100	0.0900	0.0000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1100	0.0900	0.1000	0.1000
7	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1000	-	0.1111	0.1222	0.1111	0.1111	0.1111
8	0.1000	0.1000	0.0900	0.1000	0.0000	0.1000	0.1100	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
9	0.1111	0.1111	0.1111	0.1111	0.0000	0.0000	0.1111	0.1000	-	0.1111	0.1222	0.1111
10	0.1123	0.1123	0.1123	0.1123	0.1123	0.1234	0.0000	0.0000	0.1012	-	0.1012	0.1123
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0000	0.1000	-	0.1000
12	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.0990	0.1090	0.0000	-

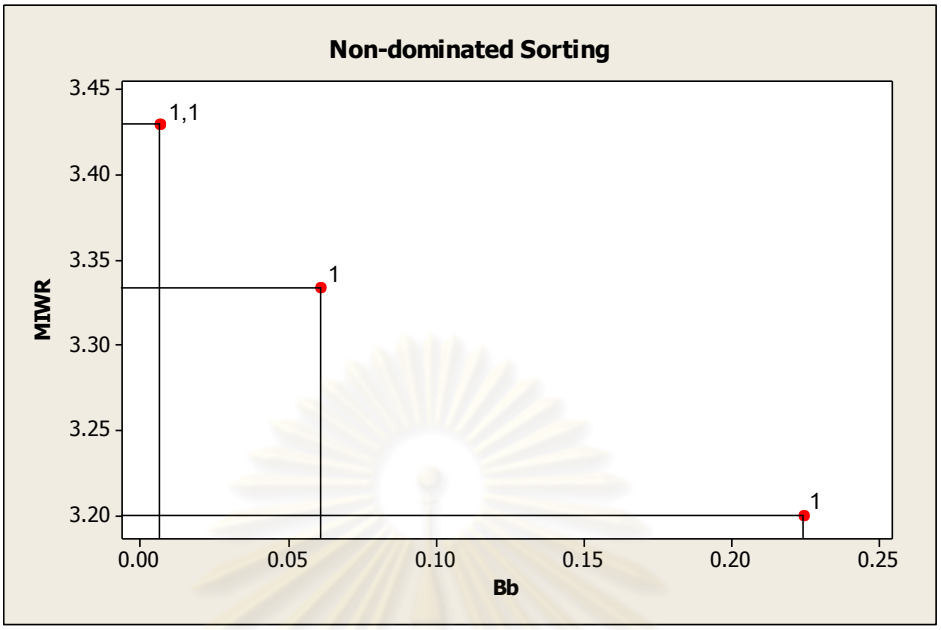
เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

ทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่จัดเก็บในรอบนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าเมื่อพิจารณารอบถัดไป

ตารางที่ 6.27 การรวมสตริงคำตอบ

รอบการทำงาน	สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
	2	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
	3	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
2	4	[1 2 4 5 3 8 7 10 6 9 11 12]

และทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)



รูปที่ 6.8 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 6.28 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	3.2000	0.2245	1	Infinity
2	3.3333	0.0612	1	Infinity
3	3.4286	0.0068	1	Infinity
4	3.4286	0.0068	1	Infinity

จากสตริงคำตอบทั้ง 4 ตัว จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 6.29

ตารางที่ 6.29 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[3 6 1 4 2 5 8 7 9 11 12 10]
2	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]
3	[1 4 3 2 5 8 7 10 6 9 11 12]
4	[1 2 4 5 3 8 7 10 6 9 11 12]

6.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านของอัลกอริทึมการบรรจวบมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว ดังนี้

6.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในการทดลองนี้ หมายถึง จำนวนสตริงคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน ซึ่งหากกำหนดจำนวนประชากรที่มีจำนวนน้อยเกินไปคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสม และถ้าหากกำหนดจำนวนประชากรมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการค้นหาคำตอบนานเกินความจำเป็น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008)

6.4.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะขอเลือกใช้วิธีการจัดอันดับของ Goldberg (1989) (Goldberg's Ranking) หรือ Non-dominated Sorting ในการกำหนดขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Frontier)

6.4.3 วิธีกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบ

วิธีการกำหนดค่าความหนาแน่น หรือค่าการแบ่งปันความแข็งแรง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี Crowding Distance (Dep et al., 2002) ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างสมาชิกประชากรคำตอบภายในอันดับเดียวกัน

6.4.4 ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง

ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางที่สูงจะทำให้จำนวนสตริงคำตอบที่เลือกมามีมากเกินความจำเป็น จะทำให้สูญเสียเวลาในการคำนวณ โดยงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเป็นปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1
- ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.15
- ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2

6.4.5 ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และลงโทษ (Punish)

ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) มีความสำคัญ เนื่องจากใช้ในการปรับปรุงตาราง ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษที่สูงจะทำให้ได้คำตอบที่ไม่เหมาะสม โดยงานวิจัยนี้จะทำการพิจารณาความน่าจะเป็นในการให้รางวัล และการลงโทษเป็นปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 4 ระดับ ได้แก่

- ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1
- ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2
- ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.3
- ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.4

6.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองของอัลกอริทึมการบรรจวบจะทำการทดลองแบบ Full Factorial Design โดยในแต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำ (Replication) เท่ากับ 2 ทดลอง ซึ่งมีปัญหาการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา คือ

- ปัญหาการทดลองที่ 1 มีจำนวนขั้นงาน 12 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 7 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 10 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 2 มีจำนวนขั้นงาน 65 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 490 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 250 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 3 มีจำนวนขั้นงาน 148 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 408 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 4 มีจำนวนขั้นงาน 205 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 2454 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 600 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 5 มีจำนวนขั้นงาน 183 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 22 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ต้องทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

ตารางที่ 6.30 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	จำนวนระดับของปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	3	ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1 ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.15 ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	4	ระดับที่ 1 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.1 ระดับที่ 2 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.2 ระดับที่ 3 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.3 ระดับที่ 4 ค่าความจะเป็นเท่ากับ 0.4

ในการทดลองของอัลกอริทึมการบรรจวบ มีปัจจัย 2 ปัจจัย และมีการทำซ้ำเท่ากับ 2 ดังนั้นจะมีจำนวนทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ในแต่ละปัญหาการทดลองเท่ากับ 3x4x2 = 24 การทดลอง

6.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองทั้งหมดจะทำการแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จึงทดสอบด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดสอบพารามิเตอร์ในบทที่ 4

6.6.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 12 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.0005769	0.0005769	0.0002884	2.00	0.178
Prob Adjust	3	0.0002884	0.0002884	0.0000961	0.67	0.588
Prob String*Prob Adjust	6	0.0005769	0.0005769	0.0000961	0.67	0.679
Error	12	0.0017306	0.0017306	0.0001442		
Total	23	0.0031727				

S = 0.0120089 R-Sq = 45.45% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.9 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.0011059	0.0011059	0.0005530	2.00	0.178
Prob Adjust	3	0.0005530	0.0005530	0.0001843	0.67	0.588
Prob String*Prob Adjust	6	0.0011059	0.0011059	0.0001843	0.67	0.679
Error	12	0.0033178	0.0033178	0.0002765		
Total	23	0.0060826				

S = 0.0166277 R-Sq = 45.45% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 6.10 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.037030	0.037030	0.018515	2.00	0.178
Prob Adjust	3	0.018515	0.018515	0.006172	0.67	0.588
Prob String*Prob Adjust	6	0.037030	0.037030	0.006172	0.67	0.679
Error	12	0.111089	0.111089	0.009257		
Total	23	0.203663				

S = 0.0962154 R-Sq = 45.45% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.11 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำพิจารณาเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) ที่น้อยที่สุดของระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) จะได้ที่ระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางเท่ากับ 0.2 และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1 ให้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.31 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.2
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	0.1

6.6.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 65 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

```
Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source                   DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS     F      P
Prob String               2  0.011200  0.011200  0.005600  3.16  0.079
Prob Adjust               3  0.034713  0.034713  0.011571  6.52  0.007
Prob String*Prob Adjust   6  0.010114  0.010114  0.001686  0.95  0.496
Error                    12  0.021291  0.021291  0.001774
Total                    23  0.077318

S = 0.0421220   R-Sq = 72.46%   R-Sq(adj) = 47.22%
```

รูปที่ 6.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.12 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยเดียวได้ผลดังนี้

```
One-way ANOVA: Convergence versus Prob Adjust

Source       DF       SS       MS     F      P
Prob Adjust   3  0.03471  0.01157  5.43  0.007
Error        20  0.04261  0.00213
Total        23  0.07732

S = 0.04615   R-Sq = 44.90%   R-Sq(adj) = 36.63%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      6  0.24735  0.05789                    (------*-------)
2      6  0.15168  0.03369  (-------*-------)
3      6  0.15988  0.05665    (-------*-------)
4      6  0.17160  0.02874      (-------*-------)
                             --------+---------+---------+---------+-
                                   0.150     0.200     0.250     0.300

Pooled StDev = 0.04615
```

รูปที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.13 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าระดับของปัจจัยใดที่ส่งผล

ให้ตัวแปรตอบสนองมีค่าที่ดี (ค่าเข้าใกล้ 0) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นตัวแปรตอบสนอง

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.01788	0.01788	0.00894	0.85	0.453
Prob Adjust	3	0.06144	0.06144	0.02048	1.94	0.177
Prob String*Prob Adjust	6	0.03212	0.03212	0.00535	0.51	0.792
Error	12	0.12664	0.12664	0.01055		
Total	23	0.23809				

S = 0.102730 R-Sq = 46.81% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 6.14 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.09505	0.09505	0.04753	1.11	0.362
Prob Adjust	3	0.10677	0.10677	0.03559	0.83	0.503
Prob String*Prob Adjust	6	0.24870	0.24870	0.04145	0.96	0.488
Error	12	0.51562	0.51562	0.04297		
Total	23	0.96615				

S = 0.207289 R-Sq = 46.63% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.15 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำพิจารณาเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) ที่น้อยที่สุดของระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) จะได้ ที่ระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริง

คำตอบเพื่อปรับปรุงตารางเท่ากับ 0.15 และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1 ให้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.32 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.15
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	0.1

6.6.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 148 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนอง

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.026597	0.026597	0.013298	5.86	0.017
Prob Adjust	3	0.023178	0.023178	0.007726	3.40	0.053
Prob String*Prob Adjust	6	0.002870	0.002870	0.000478	0.21	0.966
Error	12	0.027235	0.027235	0.002270		
Total	23	0.079880				

S = 0.0476403 R-Sq = 65.90% R-Sq(adj) = 34.65%

รูปที่ 6.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.16 พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) จึงทำการทดสอบความแตกต่างของระดับปัจจัยดังนี้

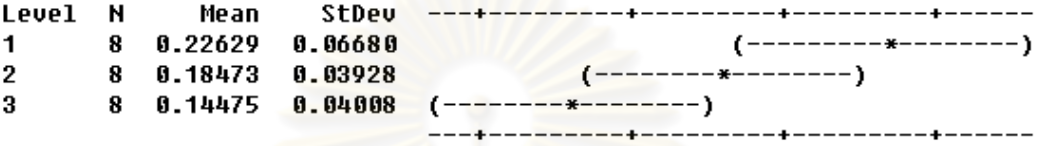
One-way ANOVA: Convergence versus Prob String

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob String	2	0.02660	0.01330	5.24	0.014
Error	21	0.05328	0.00254		
Total	23	0.07988			

S = 0.05037 R-Sq = 33.30% R-Sq(adj) = 26.94%

Level	N	Mean	StDev
1	8	0.22629	0.06680
2	8	0.18473	0.03928
3	8	0.14475	0.04008

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.05037

รูปที่ 6.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.17 พบว่า ปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าระดับปัจจัยใดที่ให้ค่าที่เหมาะสม (ค่าเข้าใกล้ 0) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.00508	0.00508	0.00254	0.16	0.853
Prob Adjust	3	0.11240	0.11240	0.03747	2.38	0.121
Prob String*Prob Adjust	6	0.06019	0.06019	0.01003	0.64	0.700
Error	12	0.18925	0.18925	0.01577		
Total	23	0.36691				

S = 0.125581 R-Sq = 48.42% R-Sq(adj) = 1.14%

รูปที่ 6.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 6.18 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) จึงทำการวิเคราะห์อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นตัวแปรตอบสนอง

```
Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source                   DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS     F      P
Prob String               2  0.015596  0.015596  0.007798  2.25  0.148
Prob Adjust               3  0.038950  0.038950  0.012983  3.74  0.042
Prob String*Prob Adjust   6  0.024154  0.024154  0.004026  1.16  0.387
Error                    12  0.041623  0.041623  0.003469
Total                    23  0.120322

S = 0.0588945   R-Sq = 65.41%   R-Sq(adj) = 33.70%
```

รูปที่ 6.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.19 พบว่าปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) จึงการทำวิเคราะห์ปัจจัยเดียวดังนี้

One-way ANOVA: Ratio versus Prob Adjust

```
Source        DF       SS       MS     F      P
Prob Adjust    3  0.03895  0.01298  3.19  0.046
Error         20  0.08137  0.00407
Total         23  0.12032

S = 0.06379   R-Sq = 32.37%   R-Sq(adj) = 22.23%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---------+---------+---------+---------+
1      6  0.00000  0.00000  (--------*--------)
2      6  0.00000  0.00000  (--------*--------)
3      6  0.09815  0.10896                   (--------*--------)
4      6  0.04233  0.06635         (--------*--------)
                               ---------+---------+---------+---------+
                                      0.000     0.060     0.120     0.180

Pooled StDev = 0.06379
```

รูปที่ 6.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.20 พบว่าปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าระดับปัจจัยใดที่ให้ค่าที่เหมาะสม จึงทำพิจารณาเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution)

จากการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) จะได้ ที่ระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางเท่ากับ 0.1 และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1 ให้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.33 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.1
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	0.1

6.6.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 205 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.0016245	0.0016245	0.0008122	0.89	0.437
Prob Adjust	3	0.0035262	0.0035262	0.0011754	1.28	0.325
Prob String*Prob Adjust	6	0.0072999	0.0072999	0.0012167	1.33	0.317
Error	12	0.0109946	0.0109946	0.0009162		
Total	23	0.0234452				

S = 0.0302691 R-Sq = 53.11% R-Sq(adj) = 10.12%

รูปที่ 6.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.21 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.02259	0.02259	0.01130	0.45	0.648
Prob Adjust	3	0.03932	0.03932	0.01311	0.52	0.675
Prob String*Prob Adjust	6	0.03651	0.03651	0.00609	0.24	0.953
Error	12	0.30116	0.30116	0.02510		
Total	23	0.39958				

S = 0.158418 R-Sq = 24.63% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

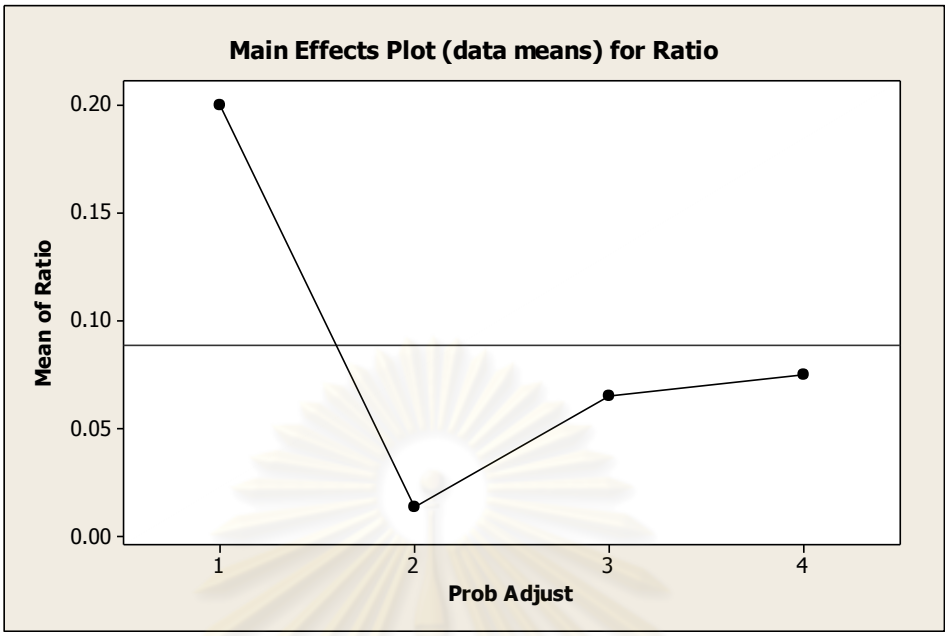
จากรูปที่ 6.22 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

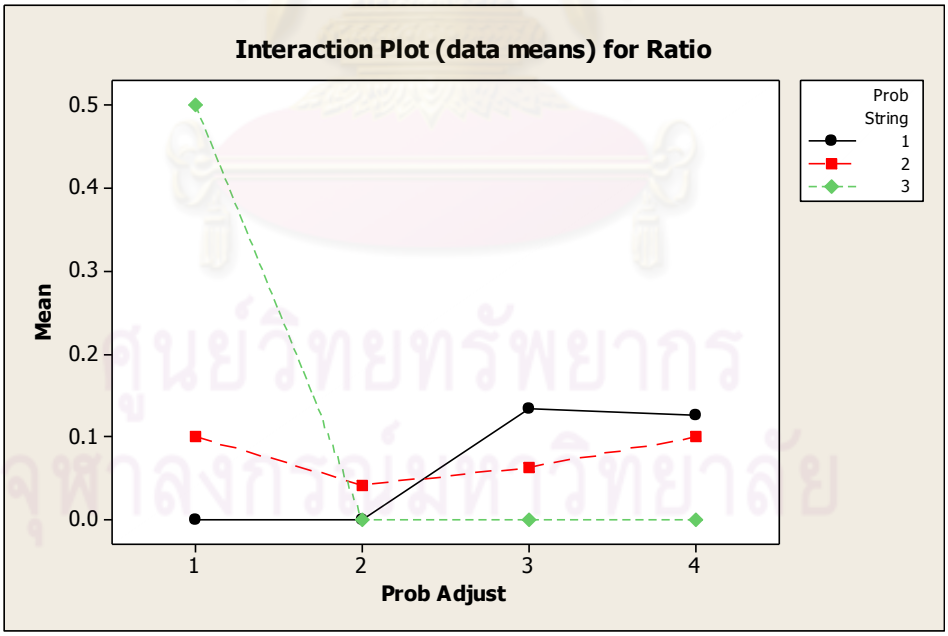
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.016475	0.016475	0.008237	1.17	0.344
Prob Adjust	3	0.112327	0.112327	0.037442	5.30	0.015
Prob String*Prob Adjust	6	0.301143	0.301143	0.050191	7.11	0.002
Error	12	0.084756	0.084756	0.007063		
Total	23	0.514702				

S = 0.0840418 R-Sq = 83.53% R-Sq(adj) = 68.44%

รูปที่ 6.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution



รูปที่ 6.24 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution



รูปที่ 6.25 กราฟแสดงผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.23 -6.25.พบว่าปัจจัยความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางและความน่าจะเป็นในการให้รางวัล และการลงโทษ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณารูปที่ 6.24 พบว่าที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการให้รางวัล และการลงโทษ เท่ากับ 0.1 มีค่าเข้าใกล้ 1 จึงกำหนดให้เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ส่วนที่รูปที่ 6.25 พบว่าที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการให้รางวัล และการลงโทษ เท่ากับ 0.1 จะให้ค่าตัวแปรตอบสนองสูงสุด (เข้าใกล้ 1) ที่ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง เท่ากับ 0.2

ตารางที่ 6.34 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.2
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	0.1

6.6.5 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 183 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.16410	0.16410	0.08205	0.96	0.411
Prob Adjust	3	0.05682	0.05682	0.01894	0.22	0.880
Prob String*Prob Adjust	6	0.44399	0.44399	0.07400	0.87	0.547
Error	12	1.02625	1.02625	0.08552		
Total	23	1.69116				

S = 0.292439 R-Sq = 39.32% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 6.26 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

Analysis of Variance for Spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.01856	0.01856	0.00928	0.21	0.817
Prob Adjust	3	0.02878	0.02878	0.00959	0.21	0.886
Prob String*Prob Adjust	6	0.09027	0.09027	0.01504	0.33	0.906
Error	12	0.54105	0.54105	0.04509		
Total	23	0.67865				

S = 0.212338 R-Sq = 20.28% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 6.27 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

Analysis of Variance for Ratio, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Prob String	2	0.04861	0.04861	0.02430	0.51	0.612
Prob Adjust	3	0.09606	0.09606	0.03202	0.67	0.584
Prob String*Prob Adjust	6	0.33102	0.33102	0.05517	1.16	0.387
Error	12	0.56944	0.56944	0.04745		
Total	23	1.04513				

S = 0.217838 R-Sq = 45.51% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 6.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 6.28 พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำพิจารณาเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) ที่น้อยที่สุดของระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) จะได้ที่ระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการเลือก

สตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางเท่ากับ 0.2 และระดับปัจจัยค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1 ให้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ตารางที่ 6.35 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในอัลกอริทึมการบรรจวบ

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.2
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish)	0.1

6.7 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึมการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence : COIN) ซึ่งเป็นวิธีใหม่ที่ยังไม่ได้รับความนิยมมากนัก ซึ่งจะพบว่าอัลกอริทึมอื่นๆ ส่วนมากจะคำนึกถึงแต่คำตอบที่ดี และละเลยคำตอบที่แย่ ซึ่งอัลกอริทึมการบรรจวบนี้เป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่มีพื้นฐานมาจากการใช้หลักการความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบ โดยให้ความสำคัญกับคำตอบที่ดีและคำตอบที่แย่ โดยคำนึกว่าคำตอบที่แย่นั้นไม่ควรที่จะมีโอกาสถูกเลือกขึ้นมาอีก เพื่อให้กระบวนการค้นหาคำตอบได้หลีกเลี่ยงการนำไปสู่คำตอบที่แย่ ส่งผลให้คำตอบในกระบวนการลดน้อยลง และสามารถทำให้ลดระยะเวลาในการค้นหาคำตอบลงได้อีกด้วย ซึ่งสตริงคำตอบที่ใช้ในอัลกอริทึมการบรรจวบเป็นสตริงลำดับขั้นงาน (Task Sequence) ซึ่งได้มาจากการสุ่มเลือกงานจากค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก และค่าความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งเป็นค่าความน่าจะเป็นที่ได้มีการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ได้ค้นพบในแต่ละรอบการทำงาน อีกทั้งในบทนี้ได้มีการกล่าวถึง การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ ซึ่งการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะมีผลทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมด้วย โดยจากผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษของปัญหาทั้งหมด 5 ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 6.6 สามารถสรุปได้ดังตารางที่ 6.36

ตารางที่ 6.36 พารามิเตอร์สำหรับแต่ละปัญหา

ปัจจัย	ขนาดปัญหา				
	12 ขั้นงาน	65 ขั้นงาน	148 ขั้นงาน	205 ขั้นงาน	183 ขั้นงาน
1. ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง	0.2	0.15	0.1	0.2	0.2
2. ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

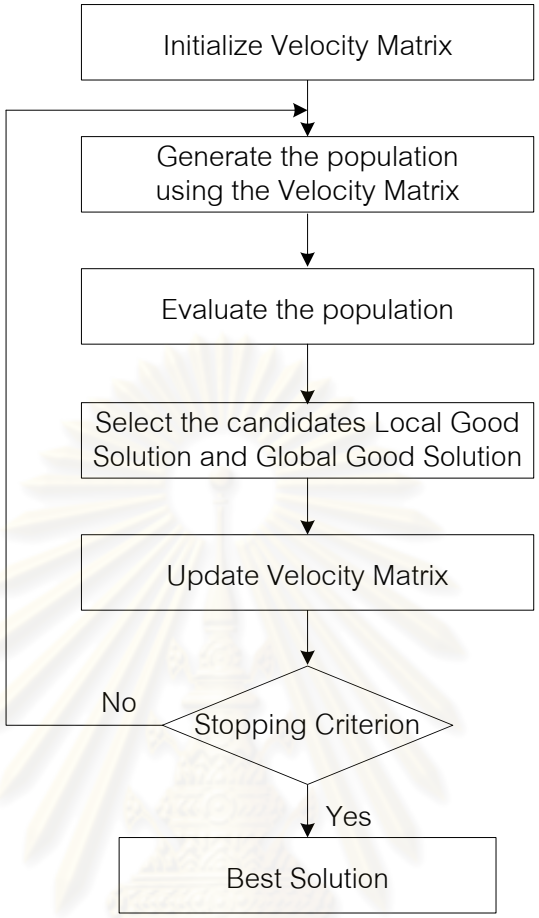
ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และการนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และตัวอย่างการคำนวณ

7.1 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization)

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เป็นวิธีการทางฮิวริสติกแบบใหม่ ซึ่งมีวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นคล้ายกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ ใช้วิธีสุ่มในการหาคำตอบของประชากรเริ่มต้น ซึ่งคำตอบที่ได้สามารถยอมรับได้ และใช้เวลาไม่นานในการหาค้นหาคำตอบ

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีพื้นฐานมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนก ซึ่งได้ทำการจดจำเส้นทางจากประสบการณ์ที่เคยผ่านมาของตัวเองและของสมาชิกภายในฝูง โดยนกแต่ละตัวจะแทนด้วยอนุภาค (Particle) โดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปในจุดหมายและทิศทางต่างๆ และทำการจดจำคำตอบที่ได้พบ ซึ่งอนุภาคทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ เรียกว่า ฝูง (Swarm) โดยตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Best Solution : Lbest) และตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Best Solution : Gbest) โดย Kennedy and Eberhart (1995) ได้เป็นผู้คิดค้น จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization) ขึ้นเพื่อใช้ในปัญหาการจัดตารางระบบผลิต (Liao et al., 2007) โดยมีขั้นตอนพื้นฐานของ DPSO ดังนี้



รูปที่ 7.1 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

7.1.1 การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก

การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize Generator) เป็นการสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทาง ซึ่งค่าในตารางเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 0 โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เมื่อ n คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมดต้องไป ตัวอย่างเช่น การเดินทางของพนักงานที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (Swarm) ที่ต้องเดินทางผ่านไปทั้ง 5 เมืองที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด โดยมีข้อจำกัดว่าแต่ละเมืองสามารถเดินผ่านได้ 1 ครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j ดังตารางที่ 7.1 และจะได้ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางดังตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	3	2	1	2
y_{2j}	1	-	2	4	5
y_{3j}	2	5	-	3	1
y_{4j}	3	1	5	-	4
y_{5j}	5	3	4	2	-

ตารางที่ 7.2 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0	0	0	0
y_{2j}	0	-	0	0	0
y_{3j}	0	0	-	0	0
y_{4j}	0	0	0	-	0
y_{5j}	0	0	0	0	-

7.1.2 การสร้างประชากรเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น (Generate the Population) เป็นการสุ่มเลือกเส้นทางจากตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้น โดยจะทำการสุ่มเลือกทีละตัว จากตัวอย่างสมมติให้มีการสร้างประชากรกลุ่มละ 3 ตัว จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 6 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$

กลุ่มที่ 2 : สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$

7.1.3 การประเมินค่าประชากร

การประเมินค่าประชากร (Evaluate the Population) เป็นการคำนวณค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจากตัวอย่างคือ การหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด ซึ่งจะได้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของแต่ละสตริงคำตอบ ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

7.1.4 การคัดเลือกคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Select the Candidates) เป็นการเลือกคำตอบที่ดีของแต่ละกลุ่ม (Local Good Solution) และคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Global Good Solution) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย : *คำตอบที่ดี*
สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
กลุ่มที่ 2 : สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*
สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

ประชากร : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย
สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*
สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

7.1.5 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เพราะเป็นการปรับปรุงโอกาสในการถูกเลือกให้กับคำตอบที่ดี โดยมีวิธีการดังนี้

7.1.5.1 การกำหนดค่าของอนุภาค

การค้นหาคำตอบด้วยวิธี DPSO ลำดับงานที่ได้จะทำการแปลงให้อยู่ในรูปของตำแหน่ง (Job-to-Position) โดยค่าอนุภาคที่ได้จะอยู่ในรูปของตารางตำแหน่ง (Position

Matrix) จากตัวอย่างจะได้ลำดับเส้นทางของสตริงคำตอบที่ 1 $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ และคำตอบที่ 5 $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ ดังตารางที่ 7.3 และ 7.4 ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละกลุ่มและของประชากร โดยกำหนดให้แถวแทนเส้นทาง และคอลัมน์แทนตำแหน่ง ซึ่งจากตารางที่ 7.3 จะเห็นได้ว่า แถวที่ 2 ในคอลัมน์ที่ 1 มีค่าเท่ากับ 1 นั่นหมายความว่างานที่ 2 จัดอยู่ในตำแหน่งที่ 1 เป็นต้น

ตารางที่ 7.3 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบที่ 1 $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$

From-To	1	2	3	4	5
1	0	1	0	0	0
2	1	0	0	0	0
3	0	0	1	0	0
4	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	1

ตารางที่ 7.4 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบที่ 5 $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$

From-To	1	2	3	4	5
1	0	0	1	0	0
2	0	1	0	0	0
3	0	0	0	1	0
4	1	0	0	0	0
5	0	0	0	0	1

7.1.5.2 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) ได้จากการจดจำพฤติกรรมที่ดีจากประสบการณ์ที่ผ่านมา โดยได้มีการปรับปรุงเส้นทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในทุกๆ รอบการดำเนินงานจากสมการที่ (7.1) และ (7.2)

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 \left(P_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) + c_2 r_2 \left(G_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) \quad (7.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (7.2)$$

เมื่อ $V_{(i,j)}$ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

$X_{(i,j)}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

$P_{(i,j)}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดของฝูง (Lbest)

$G_{(i,j)}$ คือ ตำแหน่งของอนุภาคที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด (Gbest)

r_1 และ r_2 คือ ค่าสุ่มในช่วง (0, 1)

c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor)

w คือ น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight)

จากสมการที่ (7.1) เป็นการหาค่าทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคในแต่ละฝูงในรอบปัจจุบัน ($V_{(i,j)}$) โดยการนำค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ได้ในรอบก่อนหน้าของฝูงนั้นๆ ($V_{(i-1,j)}$) มาทำการปรับด้วยความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ดีที่สุดของฝูง ($P_{(i,j)}$) กับตำแหน่งของอนุภาคที่ได้จากสมการที่ (7.2) และความแตกต่างระหว่างตำแหน่งที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมดที่ได้ในรอบปัจจุบัน ($G_{(i,j)}$) กับตำแหน่งของอนุภาค โดยในสมการที่ (7.1) ได้ทำการแบ่งเป็น 3 ส่วน โดยส่วนที่สองเรียกว่า “Cognition” และในส่วนที่สามเรียกว่า “Social” (Shi and Eberhart, 1998)

ตัวแปร c_1 และ c_2 ใช้ในการกำหนดน้ำหนักให้กับสมการในส่วนของ Social และ Cognition ส่วนตัวแปร w เป็นค่าน้ำหนักที่ใช้ในการหน่วงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Shi and Eberhart, 1998) โดยมีสมการดังนี้

$$w_i = w_{\max} - \left(\frac{w_{\max} - w_{\min}}{k_{\max}} \right) \times k \qquad (7.3)$$

เมื่อ $w_{\min}, w_{\max}$ คือ น้ำหนักต่ำสุดและสูงสุด,

k คือรอบการทำงาน

$k_{\max}$ คือรอบการค้นหาสูงสุด

จากตัวอย่างจะทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละฝูงโดยใช้สมการที่ (7.1) เมื่อกำหนดให้ w, r_1, r_2 เท่ากับ 1 ส่วน c_1 และ c_2 เท่ากับ 0.1 จากนั้นปรับปรุงตารางตำแหน่งโดยใช้สมการที่ (7.2) ซึ่งในที่นี้ ตารางตำแหน่งในรอบก่อนหน้ากำหนดให้เท่ากับ 0 โดยจะได้ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของแต่ละฝูงดังตารางที่ 7.5-7.6 และตารางตำแหน่งของแต่ละฝูงดังตารางที่ 7.7-7.8

ตารางที่ 7.5 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มที่ 1

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	0	-0.1	0.1	0	0
y_{2j}	-0.1	0.1	0	0	0
y_{3j}	0	0	-0.1	0.1	0
y_{4j}	0.1	0	0	-0.1	0
y_{5j}	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.6 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มที่ 2

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	0	0	0	0	0
y_{2j}	0	0	0	0	0
y_{3j}	0	0	0	0	0
y_{4j}	0	0	0	0	0
y_{5j}	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.7 ตารางตำแหน่งของกลุ่มที่ 1

From-To	1	2	3	4	5
1	0	-0.1	0.1	0	0
2	-0.1	0.1	0	0	0
3	0	0	-0.1	0.1	0
4	0.1	0	0	-0.1	0
5	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.8 ตารางตำแหน่งของกลุ่มที่ 2

From-To	1	2	3	4	5
1	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0

7.1.5.3 Sigmoid Function

Sigmoid Function เป็นกระบวนการแปลงค่าจากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ได้ไปเป็นค่าความน่าจะเป็น เพื่อใช้ในการสุ่มประชากรในรอบถัดไป ดังสมการที่ (7.4) โดย $s(V_{(i,j)})$ คือ ค่า Sigmoid ที่ได้จากการแปลงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i จะได้ค่าดังตารางที่ 7.9 และ ตารางที่ 7.10

$$s(V_{(i,j)}) = \frac{1}{1+\exp(-V_{(i,j)})} \tag{7.4}$$

ตารางที่ 7.9 ตาราง Sigmoid ของกลุ่มที่ 1

From-To	1	2	3	4	5
1	0.5000	0.4750	0.5279	0.5000	0.5000
2	0.4750	0.5279	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.4750	0.5279	0.5000
4	0.5279	0.5000	0.5000	0.4750	0.5000
5	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

ตารางที่ 7.10 ตาราง Sigmoid ของกลุ่มที่ 2

From-To	1	2	3	4	5
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

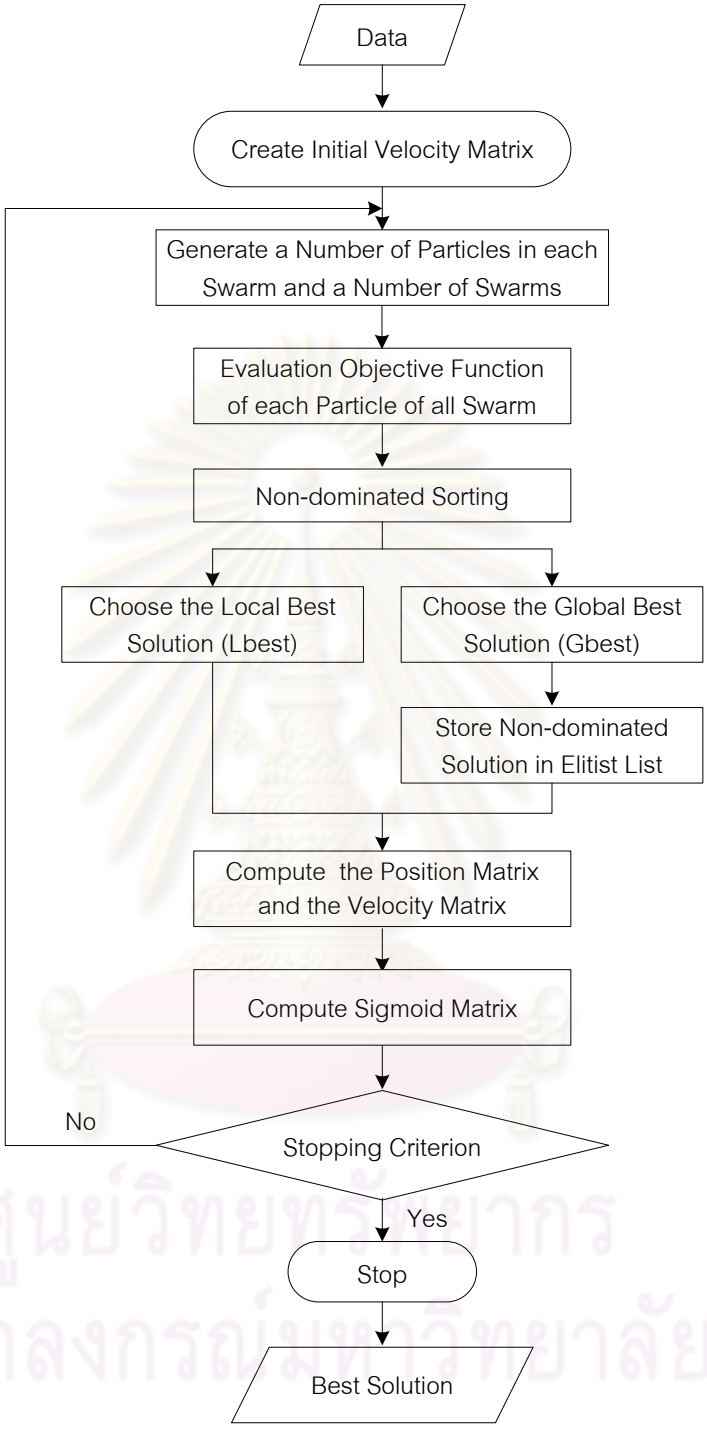
จากขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน รวมถึงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มจำนวน Swarm ฝูงๆ ละ Particle ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)
3. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
4. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่คำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับ Non-dominated Sorting ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด ซึ่งการกำหนดค่าความแข็งแรงในวิธี DPSO นั้นได้แบ่งเป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงในแต่ละฝูง และการกำหนดค่าความแข็งแรงของประชากรทั้งหมด
5. **Selection** : คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากข้อตอนที่ 4 จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lbest ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) และเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของประชากรทั้งหมดมาเป็น Gbest และทำการเก็บคำตอบ Gbest ที่ได้
6. **Update Matrix** : ปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) โดยใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) จากนั้นทำการปรับค่าในตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ Sigmoid Function เพื่อใช้ในการสุ่มสตริงคำตอบในรอบถัดไป โดยตารางทิศทางการเคลื่อนที่

ของอนุภาคที่ได้ในรอบนี้ จะกลายเป็นตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในรอบก่อนหน้า เมื่อทำการพิจารณาในรอบถัดไป

7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population : นำประชากรคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ที่ได้ในรอบนี้ไปรวมกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า และทำการเปรียบเทียบกันระหว่างประชากร ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบถัดไป
8. Stopping Criteria : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 7 ใหม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 9
9. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 7 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการทำงานของ DPSO

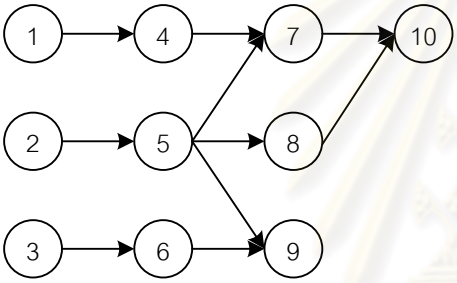
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.3 ตัวอย่างการนำวิธี DPSO ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

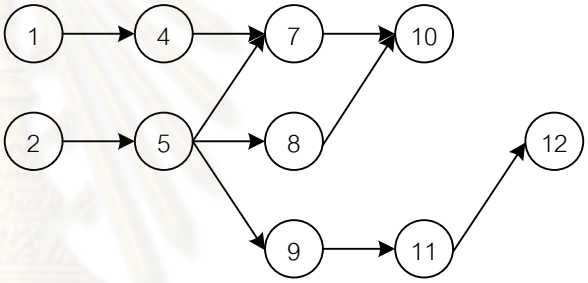
จากขั้นตอนของ DPSO ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละงานเป็นดังนี้

7.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

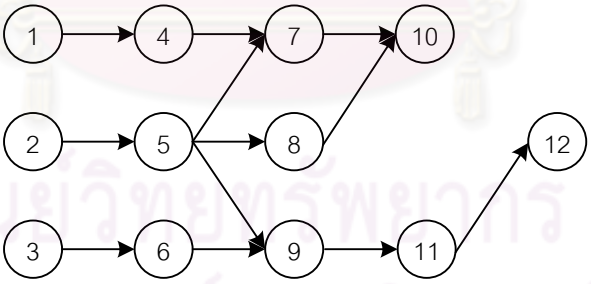
7.3.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 7.3



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 7.3 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

7.3.1.2 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** ซึ่งแสดงดังตารางที่ 7.11

ตารางที่ 7.11 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

7.3.1.3 **สร้างตาราง** Precedence Matrix **จากแผนภาพความสัมพันธ์** จะได้

ตารางที่ 7.12 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.3.1.4 **พารามิเตอร์ของ** DPSO ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) เท่ากับ 3
- จำนวนฝูง (Number of Swarms) เท่ากับ 2
- น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) เท่ากับ 1
- ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) เท่ากับ 0.1

7.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างสตริงคำตอบ โดยขั้นแรกต้องสร้างตารางตำแหน่งของอนุภาค และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือ จำนวนขั้นงานทั้งหมด โดยตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) ส่วนตารางตำแหน่งของอนุภาคจะมีค่าเริ่มต้นดังตารางที่ 7.13 และตารางที่ 7.14 ซึ่งได้จากการแปลงค่าสตริงคำตอบเริ่มต้นที่เกิดจากการสุ่มเท่ากับจำนวนฝูงที่กำหนดซึ่งในที่นี้เท่ากับ 2 ให้เป็นค่าตำแหน่งดังนี้

ฝูงที่ 1 : String Priority 11 = [5 9 12 11 1 10 8 4 7 2 3 6]

ฝูงที่ 2 : String Priority 21 = [3 12 6 10 8 9 4 2 11 5 1 7]

ตารางที่ 7.13 ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.14 ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
2	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
6	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
8	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
12	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.3.3 การถอดรหัสคำตอบ

ทำการแปลงสตริงคำตอบเริ่มต้นไปเป็นลำดับงานเพื่อนำไปจัดลงสถานีงาน โดยมีขั้นตอนการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงาน ดังนี้

- พิจารณาว่าขั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยจะดูจากตารางแสดงความสัมพันธ์ของขั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าขั้นงานนั้นสามารถถูกเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน
- ถ้ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานได้ ให้ทำการสุ่มเลือกงานจากตาราง Sigmoid เพื่อนำมาจัดลงลำดับขั้นงาน
- งานที่ถูกเลือกมาลงในลำดับของขั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานนั้นใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด
- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด

เมื่อพิจารณาหาสตริงคำตอบที่ 1 จะได้ลำดับขั้นงานในการทำงานเพื่อนำไปจัดลงในสถานีงาน จะได้ดังตารางที่ 7.15

ตารางที่ 7.15 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No.	Task	Selected	Side
1	1 , 2 , 3	3	E
2	1 , 2 , 6	6	L
3	1 , 2	2	R
4	1 , 5	1	L
5	4 , 5	4	L
6	5	5	E
7	7 , 8 , 9	7	E
8	8 , 9	9	E
9	8 , 11	8	R
10	10 , 11	11	E
11	10 , 12	12	R
12	10	10	E

เมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้สตริงลำดับงานเริ่มต้น 2 ตัว ดังนี้

ฝูงที่ 1 : Task Sequence 11 = [3 6 2 1 4 5 7 9 8 11 12 10]

ฝูงที่ 2 : Task Sequence 21 = [2 5 3 6 9 1 4 7 8 10 11 12]

ทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยมีวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรงานลงสถานีงานในบทที่ 3 ดังที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากลำดับงานทั้ง 2 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 7.16

ตารางที่ 7.16 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	2	4	3.5000	0.0612
21	3	5	4.5000	0.0877

7.3.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ในขั้นแรกจะทำการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ โดยจะทำการพิจารณาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุดในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุด จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

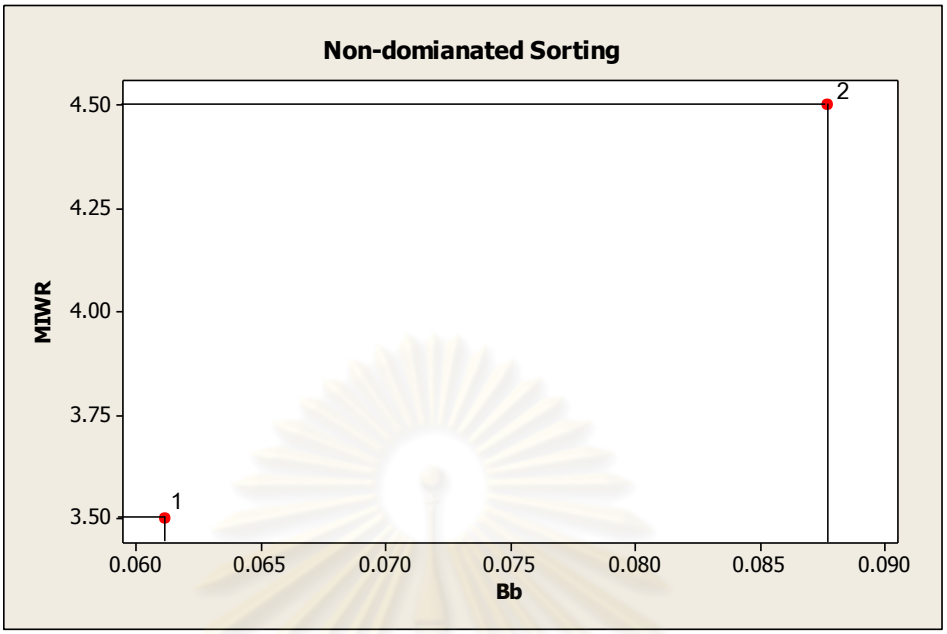
ซึ่งในที่นี้ สตริงคำตอบเริ่มต้นมีเพียง 2 ตัว จึงทำให้สตริงคำตอบเริ่มต้นแต่ละตัวเป็นค่า Lbest ของฝูงนั้นๆ ดังนี้

Lbest ของฝูงที่ 1 : สตริงคำตอบของฝูงที่ 1 = [5 9 12 11 1 10 8 4 7 2 3 6]

Lbest ของฝูงที่ 2 : สตริงคำตอบของฝูงที่ 2 = [3 12 6 10 8 9 4 2 11 5 1 7]

จากนั้นนำสตริงคำตอบเริ่มต้นของฝูงที่ 1 และ 2 มารวมกันเพื่อหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่น้อยที่สุดที่ได้จากการ Non-dominated Sorting

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.4 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของประชากร

ตารางที่ 7.17 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.5000	0.0612	1	Gbest
21	4.5000	0.0877	2	

จากตารางที่ 7.17 จะได้ค่า Gbest ของสตริงคำตอบของประชากร ดังนี้

Gbest : สตริงคำตอบเริ่มต้นของฝูงที่ 1 = [5 9 12 11 1 10 8 4 7 2 3 6]

และเมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 7.18 โดยเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง จะเหมือนกับในอัลกอริทึมการบรรจวบ นั่นคือ จะทำโดยการนำสตริงคำตอบที่ดีในรอบที่กำลังพิจารณา (Current Good String) รวมกับสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบและหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) โดยวิธี Non-dominated Sorting ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน (Current Best String) และทำการจัดเก็บสตริงคำตอบเพื่อไปเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป

ตารางที่ 7.18 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	String Priority
11	[5 9 12 11 1 10 8 4 7 2 3 6]

7.3.5 การปรับปรุงค่าในตาราง

การปรับปรุงค่าในตารางตำแหน่งของอนุภาค และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค เป็นขั้นตอนที่สำคัญเป็นอย่างมาก เนื่องจากเป็นการปรับค่าเมื่อเทียบกับสตริงคำตอบที่ดี ซึ่งจะทำให้โอกาสในการค้นหาคำตอบในรอบถัดไปให้คำตอบที่เหมาะสมมากยิ่งขึ้น

โดยทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และตารางตำแหน่งของอนุภาค เพื่อใช้ในรอบถัดไป จากสมการที่ (7.1) และ (7.2) ตามลำดับ โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้ คือ Lbest และ Gbest จากนั้นทำการแปลงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ Sigmoid Function จากสมการที่ (7.4)

7.4.5.1 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.1) โดยในที่นี้กำหนดให้ r เท่ากับ 1 จะได้ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$V_{(i,j)} = 1 \times V_{(i-1,j)} + 0.1 \times 1\left(P_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) + 0.1 \times 1\left(G_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right)$$

ตารางที่ 7.19 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.20 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0
2	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0
3	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0
4	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0
5	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0
6	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
7	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	-0.1
8	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
9	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
10	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
11	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	-0.1	0.0	0.0	0.0
12	0.0	-0.1	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

7.4.5.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 7.21 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
9	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
12	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 7.22 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.9	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0.1	0	0
3	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0
4	0	0	0	0	0	0	0.9	0.1	0	0	0	0
5	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0
6	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0.9
8	0	0	0	0	0.9	0	0.1	0	0	0	0	0
9	0	0.1	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0.9	0	0.1	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.9	0	0	0
12	0	0.9	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0

7.3.6 การสร้างสตริงคำตอบเพื่อใช้ในรอบถัดไป

การสร้างสตริงคำตอบเพื่อใช้ในรอบถัดไป ทำโดยการใช้ Sigmoid Function เป็นการแปลงค่าตัวเลขที่ได้จากในทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ไปเป็นค่าความน่าจะเป็นเพื่อใช้ในการสร้างสตริงคำตอบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.4)

ตารางที่ 7.23 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
3	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
4	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
5	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
6	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
7	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
8	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
10	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
11	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
12	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

ตารางที่ 7.24 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.500	0.500	0.500	0.500	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500
2	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.525	0.500	0.500
3	0.475	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.525	0.500
4	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500
5	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.500
6	0.500	0.500	0.475	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.525
7	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.525	0.500	0.500	0.475
8	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
9	0.500	0.525	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
10	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500
11	0.500	0.500	0.500	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.475	0.500	0.500	0.500
12	0.500	0.475	0.525	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500	0.500

7.3.7 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

เริ่มจากการสร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นจากตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1 และตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2 ที่ได้จากรอบก่อนหน้า โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน

จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 6 สตริงคำตอบ ดังนี้

ฝูงที่ 1 : String Priority 11 = [11 4 7 3 2 6 10 12 9 1 5 8]

String Priority 12 = [2 7 11 12 8 4 3 9 10 6 1 5]

String Priority 13 = [11 5 4 10 6 8 9 12 3 2 7 1]

ฝูงที่ 2 : String Priority 21 = [9 3 8 4 12 1 2 11 5 6 7 10]

String Priority 22 = [6 9 11 10 7 4 8 12 3 1 5 2]

String Priority 23 = [3 7 9 8 1 2 5 11 6 12 10 4]

จากสตริงคำตอบที่ได้ นำมาถอดรหัสแปลงเป็นลำดับงานได้ดังนี้

ฝูงที่ 1 : Task Sequence 11 = [1 3 6 2 4 5 8 7 9 11 12 10]

Task Sequence 12 = [3 2 5 8 6 9 1 4 7 10 11 12]

Task Sequence 13 = [1 4 2 5 8 7 3 6 9 11 10 12]

ฝูงที่ 2 : Task Sequence 21 = [1 3 4 2 5 8 7 10 6 9 11 12]

Task Sequence 22 = [3 2 5 8 1 4 7 6 9 11 12 10]

Task Sequence 23 = [3 2 1 4 6 5 8 9 11 7 10 12]

จากลำดับงานทั้ง 6 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 7.25

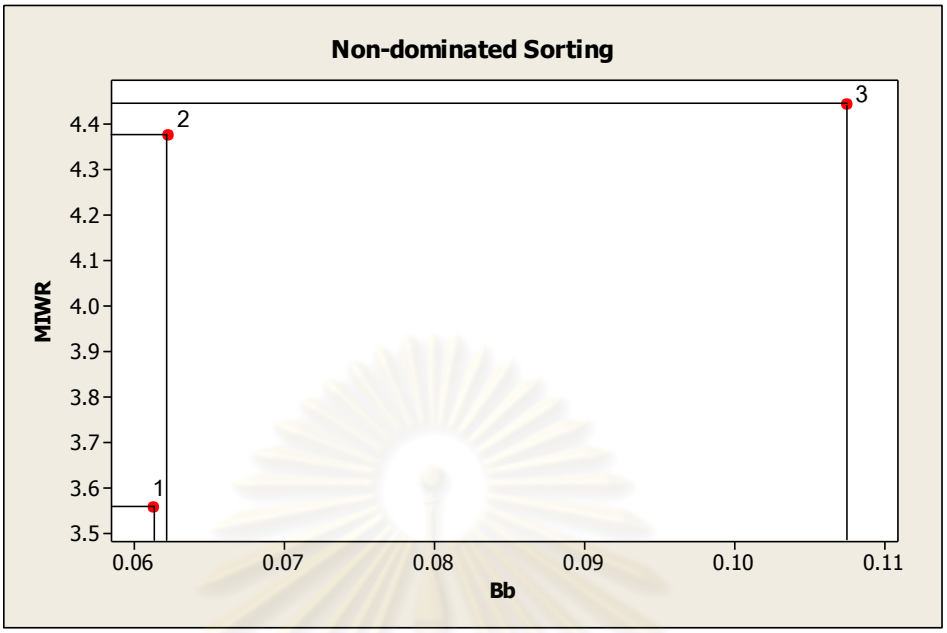
ตารางที่ 7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	2	4	3.5556	0.0612
12	3	5	4.3750	0.0622
13	3	5	4.4444	0.1075
21	2	4	3.4286	0.0068
22	3	5	4.5000	0.0466
23	2	4	3.4286	0.1701

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เริ่มจากการประเมินค่าสตริงคำตอบโดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) โดยพิจารณาจาก Front ที่น้อยที่สุดของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง ดังรูปที่ 7.5 ถึงรูปที่ 7.6 และตารางที่ 7.26 ถึงตารางที่ 7.27 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุดจากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง ดังรูปที่ 7.7 และตารางที่ 7.28 และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.5 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

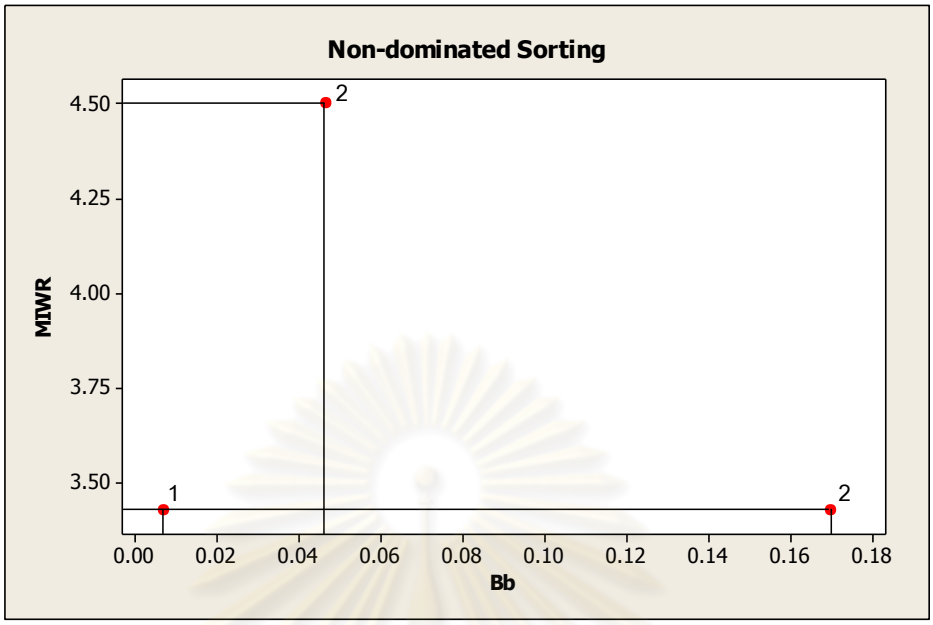
ตารางที่ 7.26 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.5556	0.0612	1	Lbest
12	4.3750	0.0622	2	
13	4.4444	0.1075	3	

จากตารางที่ 7.27 จะได้ค่า Lbest ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ดังนี้

Lbest : String Priority 11 = [11 4 7 3 2 6 10 12 9 1 5 8]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.6 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

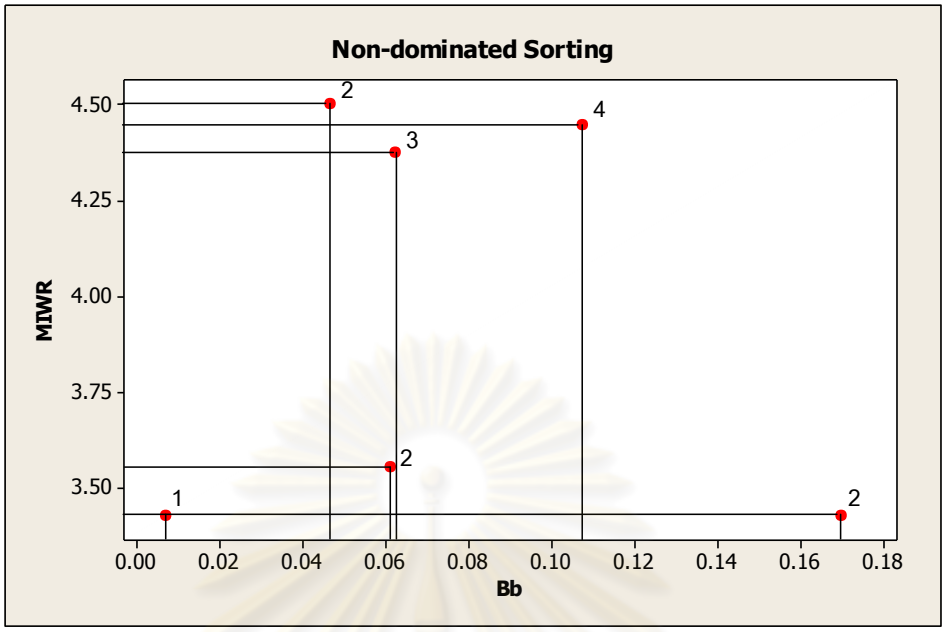
ตารางที่ 7.27 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
21	3.4286	0.0068	1	Lbest
22	4.5000	0.0466	2	
23	3.4286	0.1701	2	

จากตารางที่ 7.27 จะได้ค่า Lbest ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ดังนี้

Lbest : String Priority 21 = [9 3 8 4 12 1 2 11 5 6 7 10]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.7 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของประชากร

ตารางที่ 7.28 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.5556	0.0612	2	
12	4.3750	0.0622	3	
13	4.4444	0.1075	4	
21	3.4286	0.0068	1	Gbest
22	4.5000	0.0466	2	
23	3.4286	0.1701	2	

จากตารางที่ 7.28 จะได้ค่า Gbest ของสตริงคำตอบ ดังนี้

Gbest : String Priority 21 = [9 3 8 4 12 1 2 11 5 6 7 10]

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

และเมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยนำมารวมกับค่า Gbest ในรอบก่อนหน้า ดังตารางที่ 7.29

ตารางที่ 7.29 การรวมสตริงคำตอบ

รอบการทำงาน	สตริงคำตอบที่	String Priority
1	11	[5 9 12 11 1 10 8 4 7 2 3 6]
2	21	[9 3 8 4 12 1 2 11 5 6 7 10]

การปรับปรุงค่าในตาราง

ทำการปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้ คือ Lbest และ Gbest จากนั้นทำการแปลงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเป็นค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ Sigmoid Function

1. การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.1) โดยจะได้ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

$$V_{(i,j)} = 1 \times V_{(i-1,j)} + 0.1 \times 1\left(P_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) + 0.1 \times 1\left(G_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right)$$

ตารางที่ 7.30 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	-0.2	0.1	0	0	0	0.1	0	0
2	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	-0.2	0	0
3	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	-0.2	0
4	0	0.1	0	0.1	0	0	0	-0.2	0	0	0	0
5	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0
6	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	-0.2
7	0	0	0.1	0	0	0	0	0	-0.2	0	0.1	0
8	0	0	0.1	0	0	0	-0.2	0	0	0	0	0.1
9	0.1	-0.2	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	-0.2	0.1	0	0	0	0	0.1
11	0.1	0	0	-0.2	0	0	0	0.1	0	0	0	0
12	0	0	-0.2	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0

ตารางที่ 7.31 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0.08	0.20	0	0	0	0	-0.28	0
2	0	0	0	0	0	0	0.20	-0.28	0	0.08	0	0
3	-0.28	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0
4	0	0	0	0.20	0	0	-0.28	0.08	0	0	0	0
5	0.08	0	0	0	0	0	0	0	0.20	-0.28	0	0
6	0	0	-0.28	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0.08
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.08	0	0.20	-0.28
8	0	0	0.20	0	-0.28	0	0.08	0	0	0	0	0
9	0.20	0.08	0	0	0	-0.28	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	-0.28	0	0.08	0	0	0	0	0	0.20
11	0	0	0	0.08	0	0	0	0.20	-0.28	0	0	0
12	0	-0.28	0.08	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0

2. การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 7.32 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0.8	0.1	0	0	0	0.1	0	0
2	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0	0	0.8	0	0
3	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.8	0
4	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0.8	0	0	0	0
5	0.8	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0.1	0
6	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0.8
7	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0.8	0	0.1	0
8	0	0	0.1	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0.1
9	0.1	0.8	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0.8	0.1	0	0	0	0	0.1
11	0.1	0	0	0.8	0	0	0	0.1	0	0	0	0
12	0	0	0.8	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0	0

ตารางที่ 7.33 ตารางตำแหน่งของอนุภาค ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	0	0.18	0.20	0	0	0	0	0.62	0
2	0	0	0	0	0	0	0.20	0.62	0	0.18	0	0
3	0.62	0.20	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0
4	0	0	0	0.20	0	0	0.62	0.18	0	0	0	0
5	0.18	0	0	0	0	0	0	0	0.20	0.62	0	0
6	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0	0.20	0	0.18
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0.18	0	0.20	0.62
8	0	0	0.20	0	0.62	0	0.18	0	0	0	0	0
9	0.20	0.18	0	0	0	0.62	0	0	0	0	0	0
10	0	0	0	0.62	0	0.18	0	0	0	0	0	0.20
11	0	0	0	0.18	0	0	0	0.20	0.62	0	0	0
12	0	0.62	0.18	0	0.20	0	0	0	0	0	0	0

การสร้างสตริงคำตอบเพื่อใช้ในรอบถัดไป

การสร้างสตริงคำตอบเพื่อใช้ในรอบถัดไป ทำโดยการใช้ Sigmoid เป็นการแปลงค่าตัวเลขที่ได้จากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ไปเป็นค่าความน่าจะเป็นเพื่อใช้ในการสร้างสตริงคำตอบ สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.3)

ตารางที่ 7.34 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5250	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000
4	0.5000	0.5250	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5250	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.4502
7	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250
9	0.5250	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250
11	0.5250	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
12	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

ตารางที่ 7.35 ตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5200	0.5498	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4305	0.5000
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498	0.4305	0.5000	0.5200	0.5000	0.5000
3	0.4305	0.5498	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5200	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498	0.5000	0.5000	0.4305	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498	0.4305	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.4305	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498	0.5000	0.5200
7	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5200	0.5000	0.5498	0.4305
8	0.5000	0.5000	0.5498	0.5000	0.4305	0.5000	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
9	0.5498	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.4305	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.5000	0.5000	0.5000	0.4305	0.5000	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498
11	0.5000	0.5000	0.5000	0.5200	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498	0.4305	0.5000	0.5000	0.5000
12	0.5000	0.4305	0.5200	0.5000	0.5498	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

7.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว ดังนี้

7.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้น หมายถึง จำนวนสตริงคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน ซึ่งหากกำหนดจำนวนประชากรที่มีจำนวนน้อยเกินไปคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสม และถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการค้นหาคำตอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008) โดยจำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

7.4.1.1 **จำนวนฝูง (Number of Swarms)** เป็นจำนวนฝูงซึ่งเป็นกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบ

7.4.1.2 **จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm)** เป็นจำนวนอนุภาคหรือจำนวนสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง

การกำหนดจำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงนั้นจึงจำเป็นต้องคำนึงถึงจำนวนของประชากรที่จะได้ในแต่ละรอบเจนเนอเรชัน ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เท่ากับ 100

ประชากรตามที่กล่าวมาแล้วข้างต้น จึงมีจำนวนที่สามารถใช้ในการทดลอง ซึ่งจะทำการพิจารณาเป็นปัจจัยได้ทั้งหมด 3 ระดับ ได้แก่

- ระดับที่ 1 จำนวนฝูงเท่ากับ 4 และ จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 25
- ระดับที่ 2 จำนวนฝูงเท่ากับ 5 และ จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 20
- ระดับที่ 3 จำนวนฝูงเท่ากับ 10 และ จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.4.2 น้ำหนักการหน่วง

น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight) เป็นค่าที่ใช้กำหนดน้ำหนักความสำคัญในการจดจำคำตอบจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เท่ากับ 1 (Liao et al., 2007 ; Tseng and Liao, 2008)

7.4.3 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor) เป็นค่าที่ใช้กำหนดน้ำหนักความสำคัญในการจดจำคำตอบจากประสบการณ์ของฝูง และประสบการณ์ของอนุภาคทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยได้กำหนดให้เท่ากับ 0.1 ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษที่ใช้ในอัลกอริทึมการบรรจบ บทที่ 6 ซึ่งเป็นค่าที่ใช้ในการปรับปรุงตารางมีหน้าที่เช่นเดียวกับค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

7.4.4 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะขอเลือกใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting

7.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments)

การออกแบบการทดลองของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค จะทำการทดลองแบบปัจจัยเดียว โดยในแต่ละการทดลองจะมีการทำซ้ำ (Replication) เท่ากับ 2 ทดลอง ซึ่งมีปัญหาการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา คือ

- ปัญหาการทดลองที่ 1 มีจำนวนขั้นงาน 12 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 7 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 10 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 2 มีจำนวนขั้นงาน 65 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 490 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 250 เจนเนอเรชัน

- ปัญหาการทดลองที่ 3 มีจำนวนขั้นงาน 148 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 408 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 4 มีจำนวนขั้นงาน 205 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 2454 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 600 เจนเนอเรชัน
- ปัญหาการทดลองที่ 5 มีจำนวนขั้นงาน 183 ขั้นงาน ที่รอบการทำงานเท่ากับ 22 โดยมีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

ซึ่งมีพารามิเตอร์ที่ต้องทำการทดลองเพื่อหาปัจจัยที่เหมาะสม ดังนี้

ตารางที่ 7.36 รายละเอียดพารามิเตอร์ที่ทำการทดสอบในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	จำนวนระดับของปัจจัย	ระดับปัจจัย
จำนวนฝูง และ จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	3	ระดับที่ 1 จำนวนฝูงเท่ากับ 4 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 25 ระดับที่ 2 จำนวนฝูงเท่ากับ 5 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 20 ระดับที่ 3 จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

จะได้ว่าการทดลองในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมีปัจจัย 1 ปัจจัย 3 ระดับ และมีการทำซ้ำเท่ากับ 2 ดังนั้นจะมีจำนวนทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ในแต่ละปัญหาการทดลองเท่ากับ 3x2 = 6 การทดลอง

7.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองทั้งหมดจะทำการแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม จึงทดสอบด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ซึ่งกำหนดให้เป็นตัวแปรตอบสนอง ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) โดยมีขั้นตอนการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการทดสอบพารามิเตอร์ในบทที่ 4 และ 6

7.6.1 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 12 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

One-way ANOVA: Convergence versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.0000000	0.0000000	*	*
Error	3	0.0000000	0.0000000		
Total	5	0.0000000			

S = 0 R-Sq = *% R-Sq(adj) = *%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.000000000	0.000000000	*
2	2	0.000000000	0.000000000	*
3	2	0.000000000	0.000000000	*
				0.000000 0.000010 0.000020 0.000030

Pooled StDev = 0.000000000

รูปที่ 7.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 7.8 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เนื่องจากกลุ่มคำตอบที่ได้จากระดับปัจจัยต่างๆ มีค่าเท่ากัน เมื่อมีค่าของกลุ่มคำตอบไม่แตกต่างกันแล้วจึงทำการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงใช้เวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) น้อยที่สุด คือ ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

ตารางที่ 7.37 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 12 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.6.2 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 65 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

One-way ANOVA: Convergence versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.00348	0.00174	1.57	0.342
Error	3	0.00334	0.00111		
Total	5	0.00682			

S = 0.03336 R-Sq = 51.08% R-Sq(adj) = 18.46%

รูปที่ 7.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 7.9 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

One-way ANOVA: Spread versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.0047	0.0023	0.23	0.807
Error	3	0.0303	0.0101		
Total	5	0.0350			

S = 0.1005 R-Sq = 13.35% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 7.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 7.10 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

One-way ANOVA: Ratio versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.0798	0.0399	1.12	0.433
Error	3	0.1067	0.0356		
Total	5	0.1865			

S = 0.1886 R-Sq = 42.79% R-Sq(adj) = 4.64%

รูปที่ 7.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 7.11 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงใช้เวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) น้อยที่สุด คือ ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

ตารางที่ 7.38 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 65 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.6.3 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 148 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

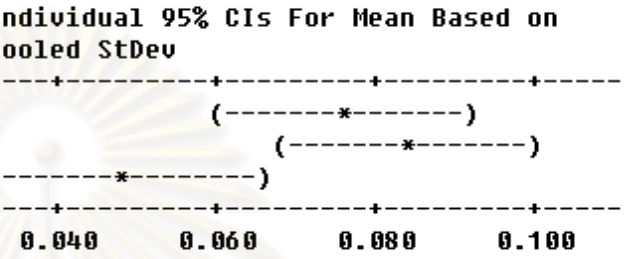
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

One-way ANOVA: Convergence versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.0013890	0.0006945	12.65	0.034
Error	3	0.0001646	0.0000549		
Total	5	0.0015536			

S = 0.007408 R-Sq = 89.40% R-Sq(adj) = 82.34%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.07605	0.01237
2	2	0.08430	0.00000
3	2	0.04870	0.00339



Pooled StDev = 0.00741

รูปที่ 7.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 7.12 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) คือมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ระดับปัจจัยจำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

ตารางที่ 7.39 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 148 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.6.4 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 205 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

One-way ANOVA: Convergence versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.000512	0.000256	0.40	0.699
Error	3	0.001901	0.000634		
Total	5	0.002413			

S = 0.02517 R-Sq = 21.23% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 7.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 7.13 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement)

One-way ANOVA: Spread versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.06983	0.03492	3.68	0.156
Error	3	0.02848	0.00949		
Total	5	0.09831			

S = 0.09743 R-Sq = 71.03% R-Sq(adj) = 51.72%

รูปที่ 7.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread Measurement

จากรูปที่ 7.14 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) จึงทำการวิเคราะห์ด้วยอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution)

One-way ANOVA: Ratio versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.1277	0.0638	1.18	0.418
Error	3	0.1621	0.0540		
Total	5	0.2898			

S = 0.2325 R-Sq = 44.05% R-Sq(adj) = 6.76%

รูปที่ 7.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-dominated Solution

จากรูปที่ 7.15 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงทำการวิเคราะห์เวลาในการคำนวณ พบว่า ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงใช้เวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) น้อยที่สุด คือ ระดับของปัจจัยจำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

ตารางที่ 7.40 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 205 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.6.5 การวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ในปัญหา 183 ขั้นงาน

การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์จะวิเคราะห์จากความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อคำตอบจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยเริ่มวิเคราะห์จากตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดสอบ

One-way ANOVA: Convergence versus Num_swarm&particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Num_swarm&partic	2	0.07544	0.03772	11.50	0.039
Error	3	0.00984	0.00328		
Total	5	0.08529			

S = 0.05728 R-Sq = 88.46% R-Sq(adj) = 80.76%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	+---------+---------+---------+---------
1	2	0.31810	0.01853	(-------*--------)
2	2	0.39785	0.03599	(--------*-------)
3	2	0.13035	0.09058	(--------*-------)

0.00 0.15 0.30 0.45

Pooled StDev = 0.05728

รูปที่ 7.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal Set

จากรูปที่ 7.16 พบว่าปัจจัยจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) คือมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ระดับปัจจัยจำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

ตารางที่ 7.41 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 183 ขั้นงาน ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงเท่ากับ 10 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

7.7 **สรุปท้ายบท**

เนื้อหาที่กล่าวในบทนี้เป็นการนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ซึ่งเป็นวิธีการทางฮิวริสติกแบบใหม่ ซึ่งมีวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นคล้ายกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ ใช้วิธีสุ่มในการหาคำตอบของประชากรเริ่มต้น ซึ่งคำตอบที่ได้สามารถยอมรับได้ และใช้เวลาไม่นานในการหาค้นหาคำตอบ โดยมีพื้นฐานมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนก ซึ่งได้ทำการจดจำเส้นทางจากประสบการณ์ที่เคยผ่านมา โดยนกแต่ละตัวจะแทนด้วยอนุภาค (Particle) โดยใช้หลักการการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปในจุดหมายและทิศทางต่างๆ และทำการจดจำคำตอบที่ได้พบ ซึ่งอนุภาคทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อยๆ เรียกว่า ฝูง (Swarm) โดยตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Best Solution : Lbest) และตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเป็นสตริงลำดับขั้นงาน (Task Sequence) ซึ่งได้มาจากการสุ่มเลือกงานจากค่าความน่าจะเป็น ซึ่งค่าความน่าจะเป็นนี้ได้มีการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ได้ค้นพบในแต่ละรอบการทำงาน อีกทั้งในบทนี้ได้มีการกล่าวถึง การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยทั้งหมด 5 ปัญหา คือ จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งมีพื้นฐานมาจากจำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในอัลกอริทึมอื่นๆ เพื่อง่ายต่อการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ โดยจากผลการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของจำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงของปัญหาทั้งหมด 5 ปัญหาที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 7.6 สามารถสรุปได้ว่าควรมีการกำหนดให้จำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10

บทที่ 8

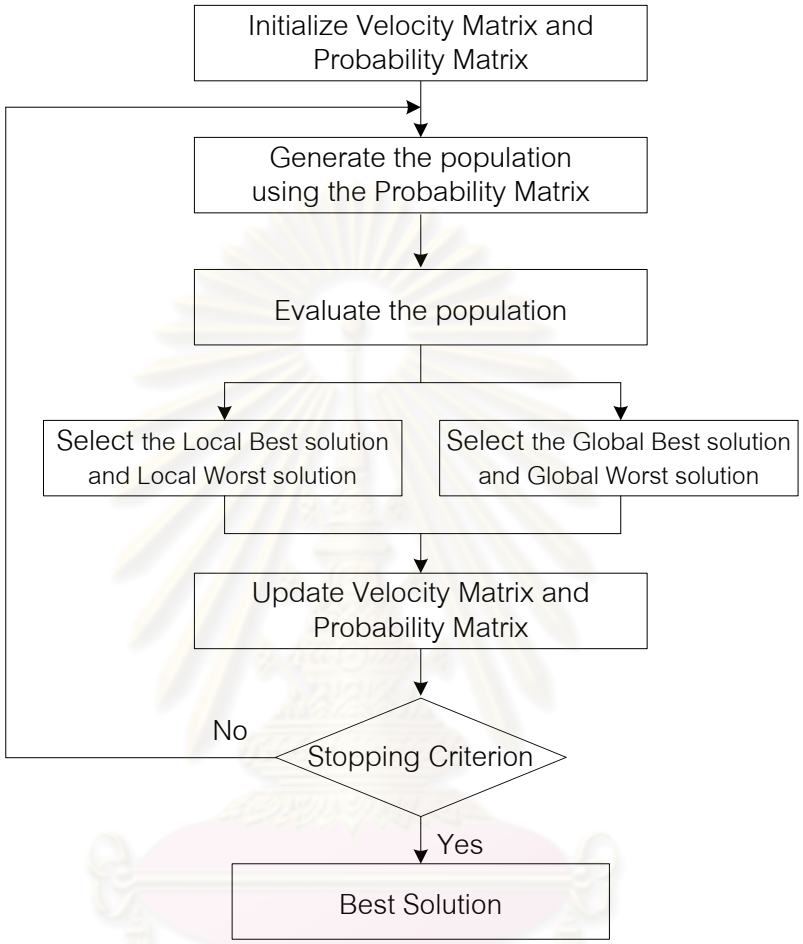
การพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้ความรู้เชิงลบ และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

ในบทนี้จะขอนำเสนออัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งได้พัฒนามาจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (PSO) ร่วมกับการใช้หลักความน่าจะเป็นในการคัดเลือกคำตอบ และการนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) และตัวอย่างการคำนวณ รวมถึงการกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยที่แตกต่างกัน 5 ปัญหา

8.1 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK)

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ หรือ PSONK เป็นวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหา ซึ่งพัฒนามาจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 7 โดยวิธี PSONK นี้ได้มีการนำความรู้เชิงลบเข้ามาประยุกต์ใช้ เพื่อให้กระบวนการค้นหาคำตอบได้มีการหลีกเลี่ยงการนำไปสู่คำตอบที่ไม่ดีด้วย โดยมีการใช้หลักการการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปในจุดหมายและทิศทางต่างๆ และทำการจดจำคำตอบที่ได้พบเช่นเดียวกับวิธี PSO โดยใช้หลักการความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเช่นเดียวกับอัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN) ซึ่งรายละเอียดได้กล่าวมาแล้วในบทที่ 6 โดยในวิธี PSONK จะทำการหาตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของแต่ละฝูง รวมถึงการหาตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของประชากร ซึ่งเรียกตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Best Solution : Lbest) และตำแหน่งของคำตอบที่แย่ที่สุดของแต่ละฝูงเรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Worst Solution : Lworst) รวมถึงตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Best Solution : Gbest) และตำแหน่งของคำตอบที่แย่ที่สุดของประชากรจะ

เรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Worst Solution : Gworst) โดยมีขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ดังนี้



รูปที่ 8.1 ขั้นตอนพื้นฐานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

8.1.1 การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก

การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize the generator) เป็นการสร้างตารางความน่าจะเป็น (Probability Matrix) เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทาง ซึ่งค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n-1$ แต่ยกเว้นในแนวทะแยมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เมื่อ n คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมดต้องไป และสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) ซึ่งค่าในตารางเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 0 ตัวอย่างเช่น การเดินทางของพนักงานที่แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม (Swarm) ที่ต้องเดินทางผ่านไปทั้ง 5 เมืองที่ทำให้เสียค่าใช้จ่ายในการเดินทางน้อยที่สุด โดยมีข้อจำกัดว่าแต่ละเมืองสามารถเดินผ่านได้ 1 ครั้ง โดยมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j ดังตารางที่ 8.1 และจะได้ตาราง

ความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทางดังตารางที่ 8.2 และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ ดังตารางที่ 8.3

ตารางที่ 8.1 ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของพนักงาน

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	3	2	1	2
y_{2j}	1	-	2	4	5
y_{3j}	2	5	-	3	1
y_{4j}	3	1	5	-	4
y_{5j}	5	3	4	2	-

ตารางที่ 8.2 ตารางความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางเริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0.25	0.25	0.25	0.25
y_{2j}	0.25	-	0.25	0.25	0.25
y_{3j}	0.25	0.25	-	0.25	0.25
y_{4j}	0.25	0.25	0.25	-	0.25
y_{5j}	0.25	0.25	0.25	0.25	-

ตารางที่ 8.3 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้นของทั้ง 2 กลุ่ม

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0	0	0	0
y_{2j}	0	-	0	0	0
y_{3j}	0	0	-	0	0
y_{4j}	0	0	0	-	0
y_{5j}	0	0	0	0	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.1.2 การสร้างประชากรเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น (Generate the Population) เป็นการสุ่มเลือกเส้นทางจากตารางทิศทางการเคลื่อนที่เริ่มต้น โดยจะทำการสุ่มเลือกทีละตัว จากตัวอย่างสมมติให้มีการสร้างประชากรกลุ่มละ 3 ตัว จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 6 ตัว ดังนี้

กลุ่มที่ 1 : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$

กลุ่มที่ 2 : สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$

สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$

8.1.3 การประเมินค่าประชากร

การประเมินค่าประชากร (Evaluate the Population) เป็นการคำนวณค่าตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งจากตัวอย่างคือ การหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางที่น้อยที่สุด ซึ่งจะได้ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของแต่ละสตริงคำตอบ ดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย

8.1.4 การคัดเลือกคำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Select the Candidates) เป็นการเลือกคำตอบที่ดีของแต่ละกลุ่ม (Local Best Solution) คำตอบที่แย่ของแต่ละกลุ่ม (Local Worst Solution) คำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Global Best Solution) และ คำตอบที่แย่ของประชากรทั้งหมด (Global Worst Solution) ดังนี้

กลุ่มที่ 1 : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย : *คำตอบที่ดี*

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย : *คำตอบที่แย่*

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

กลุ่มที่ 2 : สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย : *คำตอบที่แย่*

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*

สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

ประชากร : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย : *คำตอบที่แย่*

สตริงคำตอบที่ 3 : $[x_3, x_2, x_1, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย

สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*

สตริงคำตอบที่ 6 : $[x_2, x_1, x_4, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 11 หน่วย

8.1.5 การปรับปรุงค่าในตารางทิศทางการเคลื่อนที่

การปรับปรุงค่าในตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Update Velocity Matrix) เป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ โดยได้มีการเพิ่มโอกาสในการถูกเลือกให้กับคำตอบที่ดี และลดโอกาสในการถูกเลือกให้คำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \quad (8.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (8.2)$$

เมื่อ $V_{(i,j)}$ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

$X_{(i,j)}$ คือ ค่าความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของอนุภาคในฝูงที่ j รอบที่ i

r_1 และ r_2 คือ ค่าสุ่มในช่วง (0, 1)

c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor)

w คือ น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight)

D_1 และ D_2 คือ การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยใช้คำตอบในส่วนของ Local และ Global ตามลำดับ โดยกระบวนการในการปรับปรุงตารางดังต่อไปนี้

8.1.5.1 กรณีสตริงคำตอบที่ดี

นำสตริงคำตอบที่ดีที่ได้จากการคัดเลือกมาพิจารณาทีละคู่ลำดับ เมื่อกำหนดให้คู่ลำดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_r โดยจะเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่ง $x_{c,r}$

ในตารางความน่าจะเป็น เท่ากับ $\frac{cr}{n-2}$ และทำการลดค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ $x_{c,j}$ เมื่อ $j=1,2,...,n$ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)^2}$ ดังสมการที่ (8.3)

$$x_{c,r}(t+1)=x_{c,r}(t)+\frac{cr}{(n-2)}(r_{c,r}(t+1))+\frac{cr}{(n-2)^2}\left(\sum_{j=1}^{n}r_{c,j}(t+1)\right) \quad (8.3)$$

โดยที่ $x_{c,r}(t+1)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r เพื่อนำไปใช้ในเจนเนอเรชันถัดไป

$x_{c,r}(t)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r ในเจนเนอเรชันที่กำลังพิจารณา

$r_{c,r}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_r เป็นคำตอบที่ดี

$r_{c,j}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับทั้งหมดคือคู่ลำดับ x_c, x_j เมื่อ $j=1,2,...,n$

8.1.5.2 **กรณีสตริงคำตอบที่แย่**

นำสตริงคำตอบที่แย่ที่ได้จากการคัดเลือกมาพิจารณาทีละคู่ลำดับ เมื่อกำหนดให้คู่ลำดับของสตริงที่พิจารณาคือ x_c, x_p โดยจะลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่ง $x_{c,p}$ ในตารางความน่าจะเป็น เท่ากับ $\frac{cr}{n-2}$ และทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ $x_{c,j}$ เมื่อ $j=1,2,...,n$ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)^2}$ ดังสมการที่ (8.4)

$$x_{c,p}(t+1)=x_{c,p}(t)-\frac{cr}{(n-2)}(p_{c,p}(t+1))+\frac{cr}{(n-2)^2}\left(\sum_{j=1}^{n}p_{c,j}(t+1)\right) \quad (8.4)$$

โดยที่ $x_{c,p}(t+1)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p เพื่อนำไปใช้ในเจนเนอเรชันถัดไป

$x_{c,p}(t)$ คือ ค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p ในเจนเนอเรชันที่กำลังพิจารณา

$p_{c,p}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นเมื่อพิจารณาคู่ลำดับ x_c, x_p เป็นคำตอบที่แย่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$p_{c,j}$ คือ จำนวนนับทั้งหมดที่จะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น เมื่อพิจารณาคู่ลำดับทั้งหมดคือคู่ลำดับ x_c, x_j เมื่อ $j = 1,2,...,n$

และเมื่อทำการรวมค่าที่ได้จากการเพิ่มค่าและการลดค่า จะได้ค่าความน่าจะเป็นร่วม x_{c_1,c_2} ดังสมการ (8.5)

$$x_{c_1,c_2}(t+1) = x_{c_1,c_2}(t) + \frac{cr}{(n-2)}\left(r_{c_1,c_2}(t+1) - p_{c_1,c_2}(t+1)\right) + \frac{cr}{(n-2)^2}\left(\sum_{j=1}^{n} p_{c_1,j}(t+1) - \sum_{j=1}^{n} r_{c_1,j}(t+1)\right) \quad (8.5)$$

จากตัวอย่างข้างต้นที่ได้ทำการคัดเลือกไว้ได้สตริงคำตอบที่นำมาปรับปรุงตารางดังนี้

กลุ่มที่ 1 : สตริงคำตอบที่ 1 : $[x_2, x_1, x_3, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 13 หน่วย : *คำตอบที่ดี*
สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย : *คำตอบที่แย่*

กลุ่มที่ 2 : สตริงคำตอบที่ 4 : $[x_5, x_3, x_2, x_1, x_4]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 15 หน่วย : *คำตอบที่แย่*
สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*

ประชากร : สตริงคำตอบที่ 2 : $[x_1, x_3, x_2, x_4, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 20 หน่วย : *คำตอบที่แย่*
สตริงคำตอบที่ 5 : $[x_4, x_2, x_1, x_3, x_5]$ มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 7 หน่วย : *คำตอบที่ดี*

โดยได้ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของกลุ่มที่ 1 โดยกำหนดให้ c เท่ากับ 0.1 และ w, r เท่ากับ 1 ได้ดังนี้

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีในส่วน Local

เริ่มจากการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับ x_2, x_1 ในตำแหน่ง x_{21} เท่ากับ $\frac{cr}{5-2} = 0.0333$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{23}, x_{24} และ x_{25} เท่ากับ $\frac{cr}{(5-2)^2} = 0.0111$

การเพิ่มค่า : คู่ลำดับ x_{21} มีค่าเท่ากับ 0+0.0333 = 0.0333

การลดค่า : คู่ลำดับ x_{23} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = -0.0111
x_{24} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = -0.0111
x_{25} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = -0.0111

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดีจะได้ดังตารางที่ 8.4

ตารางที่ 8.4 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดีในส่วน Local

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	-0.0111	0.0333	-0.0111	-0.0111
y_{2j}	0.0333	-	-0.0111	-0.0111	-0.0111
y_{3j}	-0.0111	-0.0111	-	0.0333	-0.0111
y_{4j}	-0.0111	-0.0111	-0.0111	-	0.0333
y_{5j}	0	0	0	0	-

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่แย่ในส่วน Local

เริ่มจากการลงโทษแก่คู่ลำดับ x_1, x_3 ในตำแหน่ง x_{13} เท่ากับ $\frac{cr}{5-2} = 0.0333$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{12}, x_{14} และ x_{15} เท่ากับ $\frac{cr}{(5-2)^2} = 0.0111$

การลงโทษ : คู่ลำดับ x_{13} มีค่าเท่ากับ 0.0333-0.0333 = 0

การเพิ่มค่า : คู่ลำดับ x_{12} มีค่าเท่ากับ -0.0111+0.0111 = 0

x_{14} มีค่าเท่ากับ -0.0111+0.0111 = 0

x_{15} มีค่าเท่ากับ -0.0111+0.0111 = 0

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่แย่จะได้ดังตารางที่ 8.5

ตารางที่ 8.5 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่ในส่วน Local

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0	0	0	0
y_{2j}	0.0444	-	0	-0.0444	0
y_{3j}	0	-0.0444	-	0.0444	0
y_{4j}	0	0	0	-	0
y_{5j}	0	0	0	0	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีในส่วน Global

เริ่มจากการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับ x_4, x_2 ในตำแหน่ง x_{42} เท่ากับ $\frac{cr}{5-2}$ $= 0.0333$ และลดค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{41}, x_{43} และ x_{45} เท่ากับ $\frac{cr}{(5-2)^2} = 0.0111$

การเพิ่มค่า : คู่ลำดับ x_{42} มีค่าเท่ากับ 0+0.0333 = 0.0333

การลดค่า : คู่ลำดับ x_{41} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = 0.0111

x_{43} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = 0.0111

x_{45} มีค่าเท่ากับ 0-0.0111 = 0.0111

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดีจะได้ดังตารางที่ 8.6

ตารางที่ 8.6 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดีในส่วน Global

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	-0.0111	-0.0111	0.0333	-0.0111
y_{2j}	0.0778	-	-0.0111	-0.0556	-0.0111
y_{3j}	-0.0111	-0.0556	-	0.0333	0.0333
y_{4j}	-0.0111	0.0333	-0.0111	-	-0.0111
y_{5j}	0	0	0	0	-

- การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยใช้สตริงคำตอบที่แย่ในส่วน Global

เริ่มจากการลงโทษแก่คู่ลำดับ x_1, x_3 ในตำแหน่ง x_{13} เท่ากับ $\frac{cr}{5-2}$ $= 0.0333$ และเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในตำแหน่ง x_{12}, x_{14} และ x_{15} เท่ากับ $\frac{cr}{(5-2)^2} = 0.0111$

การลงโทษ : คู่ลำดับ x_{13} มีค่าเท่ากับ -0.0111-0.0333 = -0.0444

การเพิ่มค่า : คู่ลำดับ x_{12} มีค่าเท่ากับ -0.0111+0.0111 = 0

x_{14} มีค่าเท่ากับ 0.0333+0.0111 = 0.0444

x_{15} มีค่าเท่ากับ -0.0111+0.0111 = 0

และทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นจนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่แย่จะได้ดังตารางที่ 8.7

ตารางที่ 8.7 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบที่แย่ในส่วน Global

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0	-0.0444	0.0444	0
y_{2j}	0.0889	-	0	-0.0889	0
y_{3j}	0	-0.0889	-	0.0444	0.0444
y_{4j}	0	0.0444	0	-	-0.0444
y_{5j}	0	0	0	0	-

เมื่อทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่เรียบร้อยแล้ว จะทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินทาง โดยใช้สมการที่ (8.2) จะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของกลุ่มที่ 1 เพื่อนำไปใช้ในการสร้างประชากรในรอบถัดไปดังตารางที่ 8.8

ตารางที่ 8.8 ตารางความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของกลุ่มที่ 1 หลังจากปรับปรุงสตริงคำตอบ

i ไป j	y_{i1}	y_{i2}	y_{i3}	y_{i4}	y_{i5}
y_{1j}	-	0.2500	0.2056	0.2944	0.2500
y_{2j}	0.3389	-	0.2500	0.1611	0.2500
y_{3j}	0.2500	0.1611	-	0.2944	0.2944
y_{4j}	0.2500	0.2944	0.2500	-	0.2056
y_{5j}	0.2500	0.2500	0.2500	0.2500	-

ซึ่งจากตารางจะเห็นว่า เส้นทางที่ทำให้ได้คำตอบที่ดี จะมีค่าความน่าจะเป็นมาก ทำให้โอกาสในการเลือกเส้นทางครั้งต่อไปมีโอกาสถูกเลือกมากยิ่งขึ้น ส่วนในคำตอบที่แย่จะมีลดลงทำให้การสุ่มเลือกเส้นทางนั้นมีโอกาสน้อยลง

8.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **Data Input** : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน รวมถึงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)
2. **Representation & Initialization** : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มจากตารางความน่าจะเป็นมาเท่ากับจำนวน Swarm ฝูงๆ ละ Particle ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population) โดยสุ่มเลือกงานลำดับแรกจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก และงานลำดับอื่นๆ จากตารางความน่าจะเป็นร่วม
3. **Evaluation** : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
4. **Pareto Based Approach** : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่คำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับ Non-dominated Sorting ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด ซึ่งการกำหนดค่าความแข็งแรงในวิธี PSONK นั้นได้แบ่งเป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงในแต่ละฝูง และการกำหนดค่าความแข็งแรงของประชากรทั้งหมด
5. **Selection** : คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากข้อตอนที่ 4 จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lbest ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่ดี (Local Good Solution) รวมถึงเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lworst ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่แย่ (Local Worst Solution) และเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของประชากรทั้งหมด (Global Good Solution)

มาเป็น Gbest รวมถึงเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของประชากรทั้งหมด (Global Worst Solution) มาเป็น Gworst และทำการเก็บคำตอบ Gbest ที่ได้

6. **Update Probability Matrix** : ปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) โดยการเพิ่มค่าให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และลดค่าให้แก่สตริงคำตอบที่แย่ ดังสมการที่ (8.6) และทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ดังสมการที่ (8.7) เพื่อใช้ในการสุ่มสตริงคำตอบในรอบถัดไป

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \quad (8.6)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (8.7)$$

เมื่อ $V_{(i,j)}$ คือ ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในฝูงที่ j รอบการทำงานที่ i

$X_{(i,j)}$ คือ ค่าความน่าจะเป็นร่วมของเส้นทางการเดินทางของอนุภาคในฝูงที่ j รอบการทำงานที่ i

r_1 และ r_2 คือ ค่าสุ่มในช่วง (0, 1)

c_1 และ c_2 คือ ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor)

w คือ น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight)

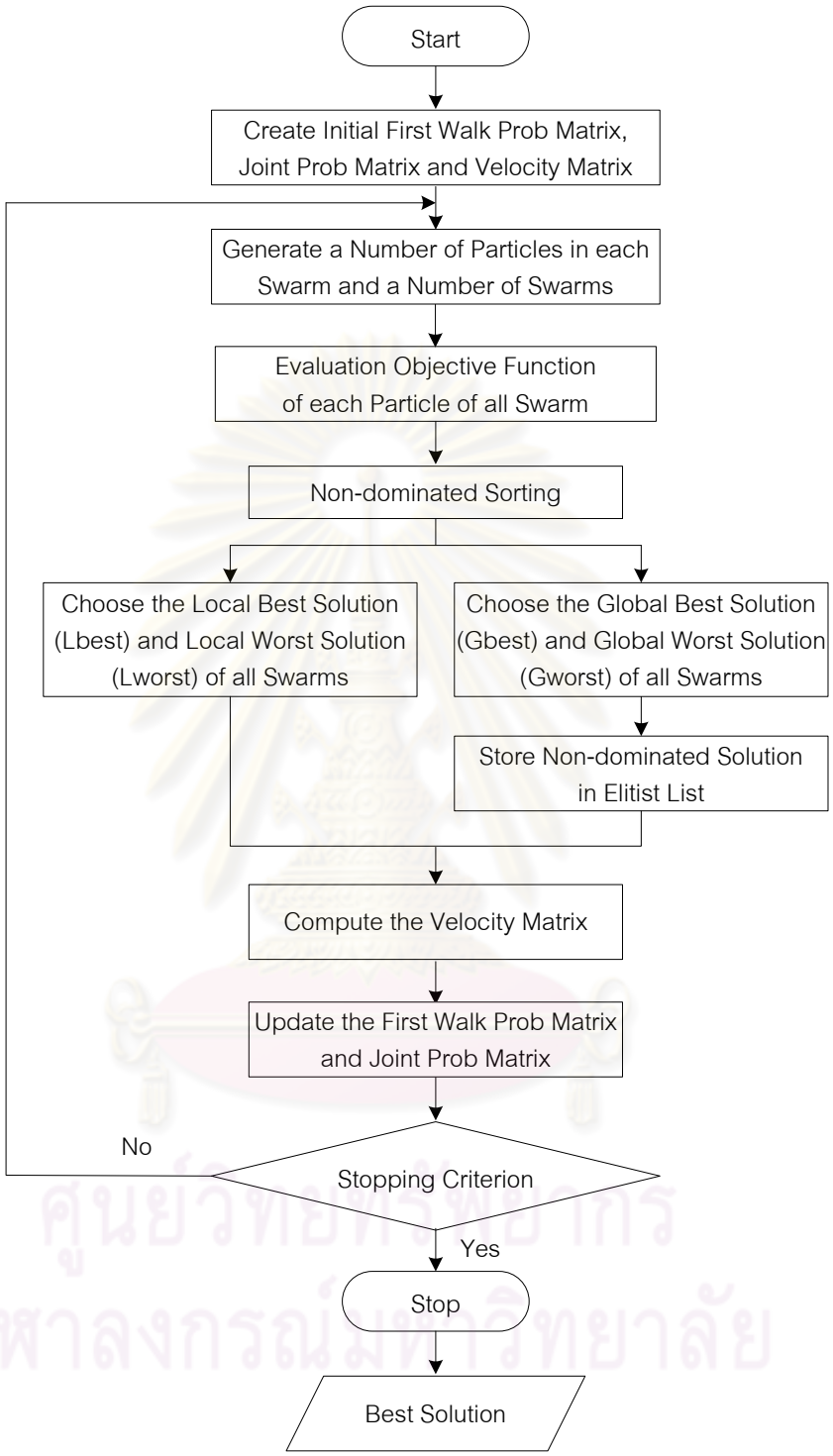
D_1 และ D_2 คือ การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยใช้คำตอบในส่วนของ Local และ Global ตามลำดับ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับกระบวนการในการปรับปรุงตาราง โดยในที่นี้แบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)** ซึ่งค่า D_1 และ D_2 จะหมายถึงค่าความน่าจะเป็นที่นำมาใช้ปรับปรุงตาราง โดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีเท่ากับ $\frac{1}{n-1}$ และลดค่าความน่าจะเป็นแก่งานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{1}{(n-1)^2}$ ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่แย่ จะทำการลดค่าความ

น่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $\frac{1}{n-1}$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่งานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{1}{(n-1)^2}$ โดยจะทำให้ผลรวมค่าความน่าจะเป็นของตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อนำไปใช้ในการสุ่มเลือกงานแรกของสตริงคำตอบเบื้องต้นในรอบถัดไป

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค** (Velocity Matrix) โดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดีเท่ากับ $\frac{1}{n-2}$ และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{1}{(n-2)^2}$ ในทางกลับกันเมื่อพิจารณาสตริงคำตบที่แย่ จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ $\frac{1}{n-2}$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{1}{(n-2)^2}$ ซึ่งจะทำให้ผลรวมค่าความน่าจะเป็นของตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งเมื่อแทนค่าในสมการที่ (8.7) จะทำให้ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ที่ได้รับการปรับปรุงนั้นมีค่าเท่ากับ 1 เพื่อนำไปใช้ในการสุ่มเลือกขั้นงานของสตริงคำตอบเบื้องต้นในรอบถัดไป

7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population : นำประชากรคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ที่ได้ไปรวมกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า และทำการเปรียบเทียบกันระหว่างประชากร ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบถัดไป
8. Stopping Criteria : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 7 ใหม่ ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 9
9. Stop : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 7 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 8.2 ขั้นตอนการทำงานของ PSONK

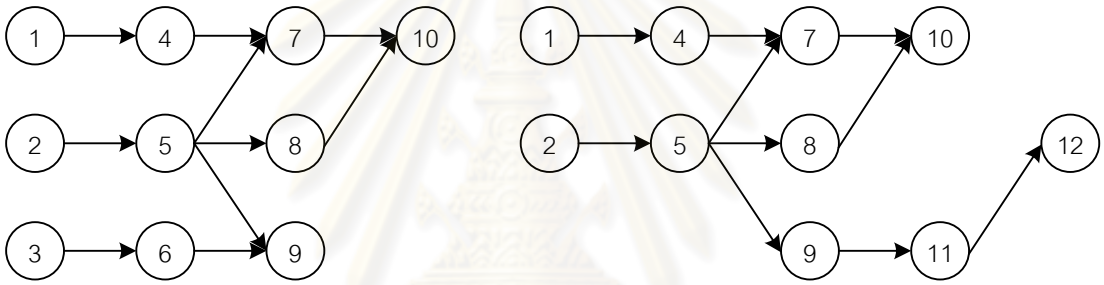
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.3 ตัวอย่างการนำวิธี PSONK ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

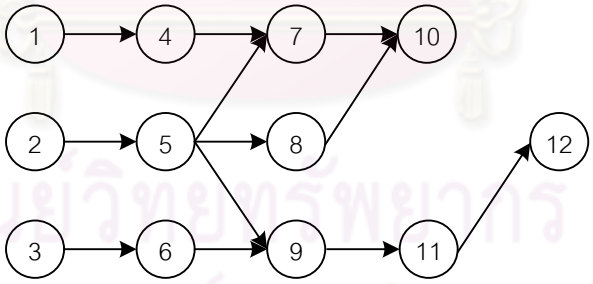
จากขั้นตอนของ PSONK ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละงานเป็นดังนี้

8.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

8.3.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 8.3



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 8.3 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

8.3.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 8.9

ตารางที่ 8.9 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

8.3.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix จากแผนภาพความสัมพันธ์ จะได้

ตารางที่ 8.10 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.3.1.4 **พารามิเตอร์ของ** PSONK ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) = 3
- จำนวนฝูง (Number of Swarms) = 2
- น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) = 1
- ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) = 0.1

8.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างสตริงคำตอบ โดยขั้นแรกต้องสร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1 \times n$ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n = 1/12 = 0.0833$ และตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากับ $1/(n-1) = 0.0909$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมซึ่งเท่ากับ 0 ส่วนตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) โดยตารางเริ่มต้นของฝูงที่ 1 และฝูงที่ 2 จะมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 8.11 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

ตารางที่ 8.12 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
9	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909
10	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

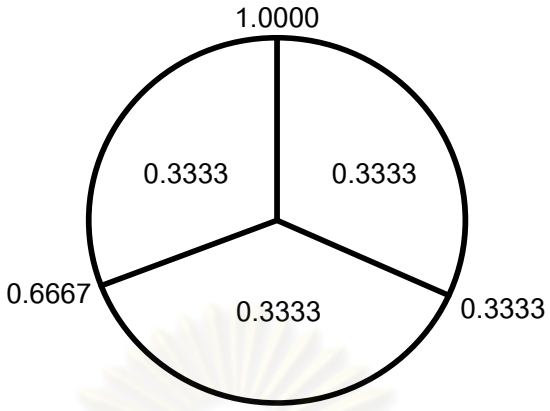
8.3.3 การสร้างสตริงคำตอบ

สร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน โดยมีวิธีการสร้างลำดับงานที่ 1 ดังนี้

- พิจารณาขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรก โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix ที่มีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งจากตารางที่ 8.10 พบว่าขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานแรกได้ ได้แก่ ขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 ซึ่งเป็นขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า
- จะเห็นได้ว่ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งของขั้นงานแรกได้ จึงต้องมาพิจารณาที่ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก ซึ่งในขั้นงานที่ 1, 2 และ 3 มีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0833, 0.0833 และ 0.0833 ตามลำดับดังตารางที่ 8.11 โดยจะทำการสุ่มเลือกงาน เพื่อนำมาจัดลงลำดับขั้นงาน โดยมีวิธีการสุ่มเลือกขั้นงานโดยใช้ Roulette Wheel Selection (Goldberg, 1989) ดังตารางที่ 8.13 และรูปที่ 8.4 ซึ่งเป็นวงกลมที่มีพื้นที่ขนาด 1 หน่วย โดยพื้นที่จะถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามสัดส่วนในการประมาณค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน จากนั้นทำการหมุนวงล้อ ซึ่งในที่นี้สมมติได้ค่าเท่ากับ 0.2462 ดังนั้นขั้นงานที่ได้คือ ขั้นงานที่ 1 จึงนำขั้นงานที่ 1 มาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

ตารางที่ 8.13 การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน

ขั้นงานที่	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสะสม
1	0.0833	0.3333	0.3333
2	0.0833	0.3333	0.6667
3	0.0833	0.3333	1
รวม	0.2499	1	



รูปที่ 8.4 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน

- ตัดขั้นงานที่ 1 ซึ่งถูกเลือกลงในลำดับของขั้นงานแล้ว โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานที่ 1 ใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานที่ 1 นั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 8.14

ตารางที่ 8.14 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	*1*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*	*0*
2	*1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	*1*	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	*1*	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	*1*	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	*1*	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix ใหม่อีกครั้ง เพื่อหาขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งถัดไปได้ ซึ่งจากตารางที่ 8.14 พบว่าขั้นงานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งที่ 2 ได้ ได้แก่ ขั้นงานที่ 2, 3 และ 4 ซึ่งมีผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix เท่ากับ 0

- จะเห็นได้ว่ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งถัดไปได้ จึงต้องมาพิจารณาที่ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า และในคอลัมน์ที่ 2, 3 และ 4 พบว่ามีค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0909, 0.0909 และ 0.0909 ตามลำดับดังตารางที่ 8.12 โดยจะทำการสุ่มเลือกงานด้วยวิธี Roulette Wheel Selection (Goldberg, 1989) ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เพื่อนำมาจัดลงลำดับขั้นงานในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งในที่นี้สุ่มได้ขั้นงานที่ 3
- ตัดขั้นงานที่ 3 ทิ้ง โดยเปลี่ยนตัวเลขในแถวของงานที่ 3 ใน Precedence Matrix เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนตัวเลขในคอลัมน์ของงานที่ 3 นั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 8.15

ตารางที่ 8.15 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	*3*	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	1	0	*1*	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	***0***	***0***	***1***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***	***0***
4	1	0	*1*	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	1	0	*1*	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	1	0	*1*	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	1	0	*1*	0	0	0	0	0	0	0	0	0

- หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ของ Precedence Matrix ใหม่อีกครั้ง ซึ่งในที่นี้คือขั้นงานที่ 2, 4 และ 6 จากนั้นทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงาน (Task Sequence) จนหมด

สามารถสรุปการคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1 เพื่อนำไปจัดลงในสถานีงานได้ดังตารางที่ 8.16

ตารางที่ 8.16 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No.	Task	Selected	Side
1	1 , 2 , 3	1	L
2	2 , 3 , 4	3	E
3	2 , 4 , 6	2	R
4	4 , 5 , 6	4	L
5	5 , 6	5	E
6	6 , 7 , 8	8	R
7	6 , 7	6	L
8	7 , 9	7	E
9	9 , 10	9	E
10	10 , 11	10	E
11	11	11	E
12	12	12	R

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานโดยใช้วิธีการข้างต้น จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว (กำหนดให้มีจำนวนฝูงเท่ากับ 2 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 3) ดังนี้

ฝูงที่ 1 : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

String12 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

String13 = [1 2 3 5 8 6 4 7 10 9 11 12]

ฝูงที่ 2 : String21 = [3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]

String22 = [3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]

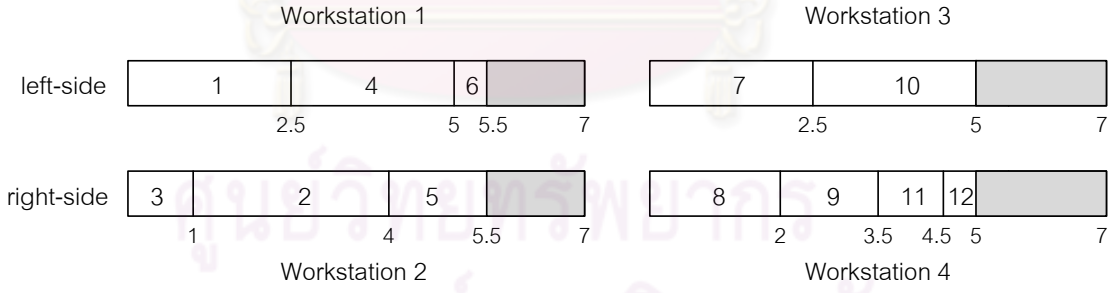
String23 = [2 1 5 4 7 8 3 6 10 9 11 12]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle time) เท่ากับ 7 ซึ่งการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจาณาด้านที่งานสามารถทำได้ โดยถ้าด้านของงานนั้นเป็น L จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านซ้าย ถ้าด้านของงานนั้นเป็น R จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านขวา และถ้าเป็น E นั่นคืองานนั้นสามารถทำด้านใดก็ได้ โดยในที่นี้จะจัดลงสถานีงานด้านที่สามารถเริ่มงานได้ก่อน และถ้าเวลาเริ่มงานมีค่าเท่ากันจะใช้วิธีการสุ่มเลือกด้าน ซึ่งการจัดสรรงานจำเป็นต้องคำนึงถึง Precedence Diagram ด้วย โดยสามารถทำการจัดสรรงานลงสถานีงานได้ดังตารางที่ 8.17

ตารางที่ 8.17 การจัดสรรงานลงสถานีงาน

งาน (ด้าน)	งานก่อนหน้า	เวลาขั้นงาน	เวลาเริ่มงาน	เวลารวมเมื่องานถูกจัดสรร	สถานีงาน	ด้าน
1 (L)	-	2.5	0.0	2.5	1	L
3 (E)	-	1.0	0.0	1.0	2	R
2 (R)	-	3.0	1.0	4.0	2	R
4 (L)	1	2.5	2.5	5.0	1	L
5 (E)	2	1.5	4.0	5.5	2	R
8 (R)	5	2.0	0.0	2.0	4	R
6 (L)	3	0.5	5.0	5.5	1	L
7 (E)	4 , 5	2.5	0.0	2.5	3	L
9 (E)	5 , 6	1.5	2.0	3.5	4	R
10 (E)	7 , 8	2.5	2.5	5.0	3	L
11 (E)	9	1.0	3.5	4.5	4	R
12 (R)	11	0.5	4.5	5.0	4	R

จากลำดับงานที่ 1 จะได้ จำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีงานดังรูปที่ 8.5



รูปที่ 8.5 สายการประกอบแบบสองด้าน

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากสตริงคำตอบทั้ง 6 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 8.18

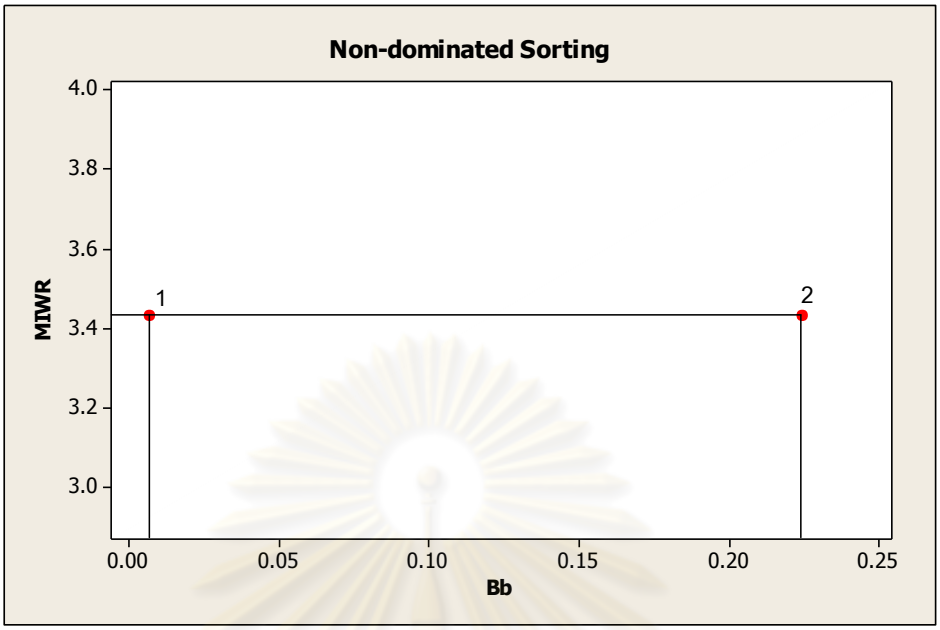
ตารางที่ 8.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

อนุภาค	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	2	4	3.4286	0.0068
12	3	6	5.3333	0.0313
13	2	4	3.4286	0.2245
21	2	4	3.5000	0.1156
22	3	6	5.2500	0.0313
23	3	5	4.4444	0.1302

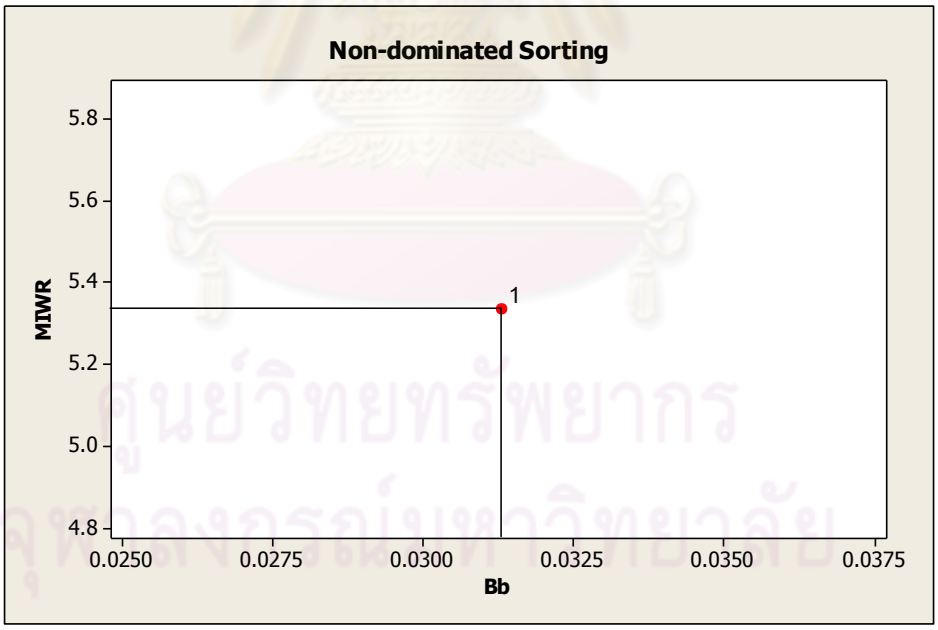
8.3.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ในขั้นแรกจะทำการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ โดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) และสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 8.6-8.9 และตารางที่ 8.19-8.22 และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง ดังรูปที่ 8.10-8.11 และตารางที่ 8.23-8.24 และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.6 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.7 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.19 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.4286	0.0068	1	Lbest
13	3.4286	0.2245	2	-

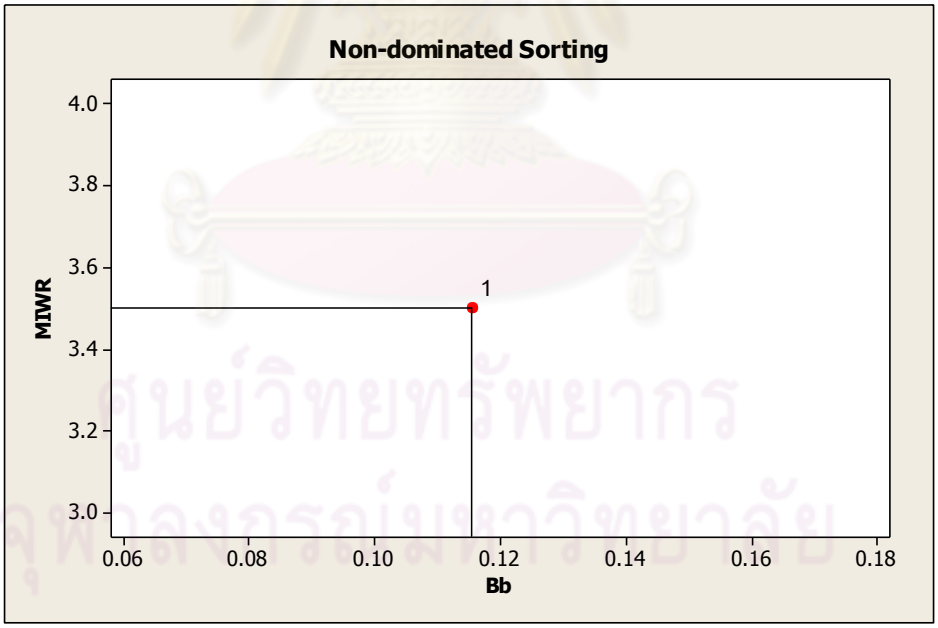
ตารางที่ 8.20 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
12	5.3333	0.0313	1	Lworst

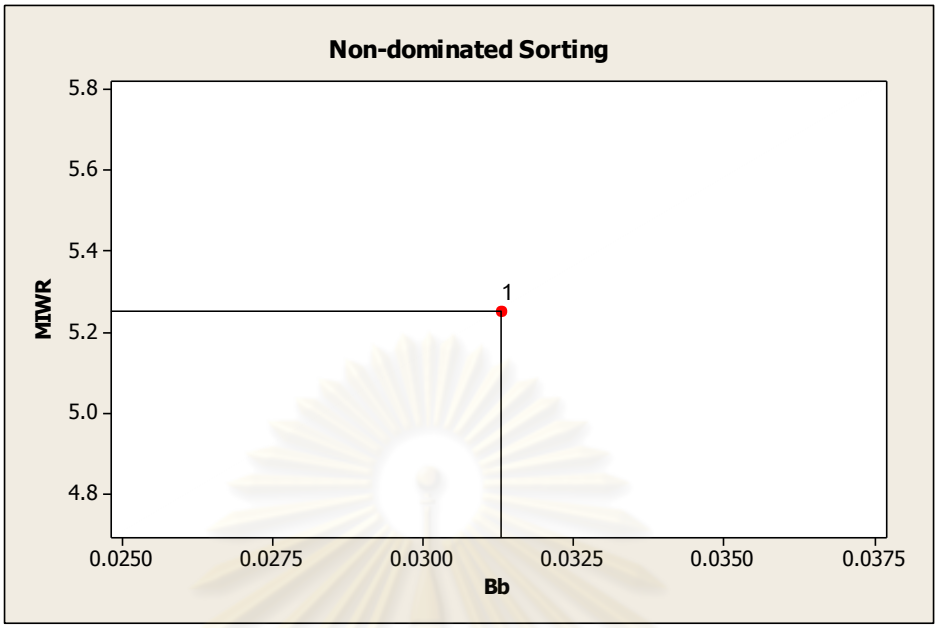
จากตารางที่ 8.19 และ 8.20 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ดังนี้

Lbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]



รูปที่ 8.8 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.9 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.21 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
21	3.5000	0.1156	1	Lbest

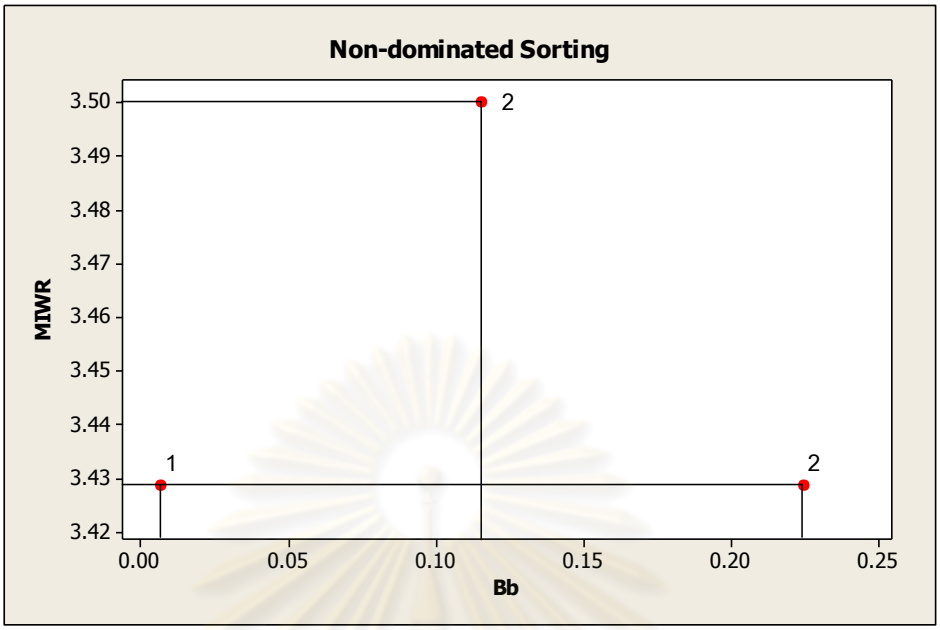
ตารางที่ 8.22 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
22	5.2500	0.0313	1	Lworst

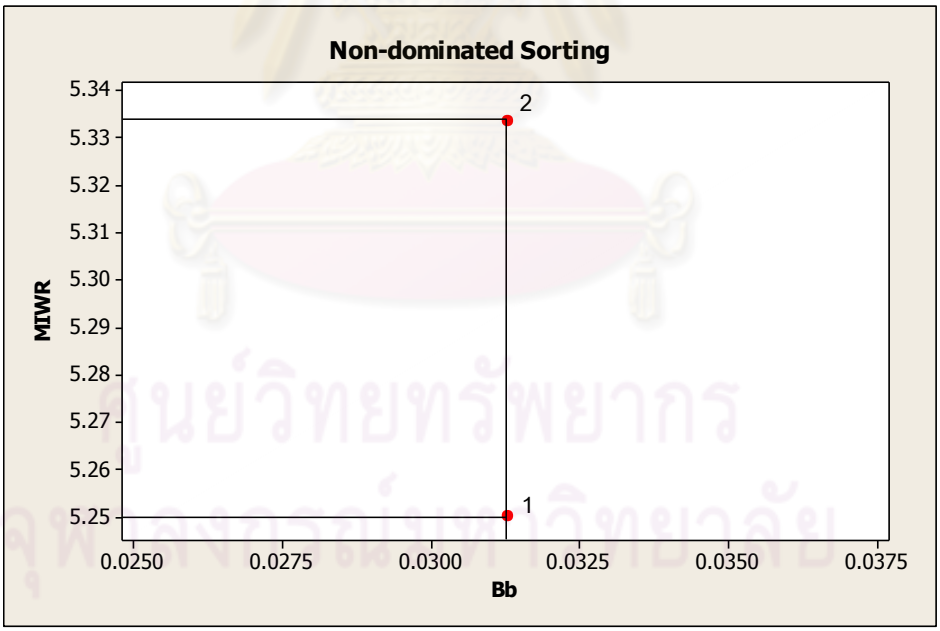
จากตารางที่ 8.21 และ 8.22 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ดังนี้

Lbest : String21 = [3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]

Lworst : String22 = [3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]



รูปที่ 8.10 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.11 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.23 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.4286	0.0068	1	Gbest
13	3.4286	0.2245	2	-
21	3.5000	0.1156	2	-

ตารางที่ 8.24 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
12	5.3333	0.0313	2	Gworst
22	5.2500	0.0313	1	-

จากตารางที่ 8.23 และ 8.24 จะได้ค่า Gbest และ Gworst ของสตริงคำตอบของประชากร ดังนี้

Gbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

และเมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

ตารางที่ 8.25 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
11	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

8.3.5 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตาราง

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไปเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในสตริงคำตอบที่แย่ เพื่อให้โอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่ดีในรอบถัดไปมีค่าเพิ่มขึ้นและเป็นการลดโอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่แย่ออกมา โดยตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และตาราง

ความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8.6) และ (8.7) ตามลำดับ

8.3.5.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $r=1$ และ $c=0.1$ จะทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)}=\frac{0.1\times1}{(12-1)}=0.0091$ และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)^2}=\frac{0.1\times1}{(12-1)^2}=0.0008$ จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)}=0.0091$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)^2}=0.0008$ และนำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) โดยทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

Gbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 11 ซึ่ง

งานอันดับแรก คือ งานที่ 1 จึงทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0833+0.0091 = 0.0924

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตารางที่ 8.26 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0924	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0924-0.0091 = 0.0833

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตารางที่ 8.27 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 11 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งที่ 1 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งที่ 1 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.28

ตารางที่ 8.28 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String21 = [3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]

Lworst : String22 = [3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]

Gbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.29

ตารางที่ 8.29 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

8.3.5.2 **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)**

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $r = 1$ และ $c = 0.1$ โดยทำการปรับปรุงโดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)} = \frac{0.1 \times 1}{(12-2)} = 0.01$ และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)^2} = \frac{0.1 \times 1}{(12-2)^2} = 0.001$ จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)} = 0.01$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)^2} = 0.001$ และนำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงต่อ โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) และทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

Gbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 11 ซึ่งจะพิจารณาคู่ลำดับ โดยทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบคือ (1,3), (3,2), (2,4), …, (10,11), (11,12) เท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,3) จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0+0.01 = 0.01

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (3,2) จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (3,2) มีค่าเท่ากับ 0+0.01 = 0.01

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (3,1) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,3) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (3,4) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,5) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,6) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,7) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,10) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,12) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,4) จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0+0.01 = 0.01

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,12) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 จนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดี จะได้ดังตารางที่ 8.30

ตารางที่ 8.30 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-0.001	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
2	-0.001	-	-0.001	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
3	-0.001	0.010	-	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
4	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
5	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	-0.001	-0.001	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
6	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
7	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	-0.001	0.010	-0.001	-0.001	-0.001
8	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.010	-0.001	-	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
9	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001	-0.001
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ดังนี้

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.001-0.01 = -0.011

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.01+0.001 = 0.011

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,2) จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ -0.001-0.01 = -0.011

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ 0.01+0.001 = 0.011

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (4,12) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,3) จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ -0.001-0.01 = -0.011

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 12

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0.010+0.001=0.011

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ตำแหน่งที่ (2,12) มีค่าเท่ากับ -0.001+0.001 = 0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 จนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่แย่ คือ สตริงคำตอบที่ 12 จะได้ดังตารางที่ 8.31

ตารางที่ 8.31 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.011	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-	-0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.011	-	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	-0.011	0.000	-	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	-0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.011	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	-	0.000	-0.011	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-	0.011	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 11 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จะได้ค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.32

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.32 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.022	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-	-0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.022	-	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	-0.022	0.000	-	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	-0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.022	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	-	0.000	0.022	0.000	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	-	0.000	-0.022	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	-	0.022	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String21 = [3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]

Lworst : String22 = [3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]

Gbest : String11 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String12 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.33

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.33 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.011	-0.011	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	0.000
2	0.011	-	-0.011	0.011	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.011	-	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	-0.011	0.000	-	0.022	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.011	0.000	-	0.011	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-	0.000	0.022	-0.011	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.000	0.000
9	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.011	0.000	0.000
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.001	0.001	0.001	-0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-

8.3.5.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8.7) โดยจะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 8.34 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.1129	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0689	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.1129	-	0.0909	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0689	0.0909	-	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0689	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.1129	0.0909	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0689	-	0.0909	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129	0.0909	-	0.0909	0.0689	0.0909	0.0909
9	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0689	-	0.1129	0.0909	0.0909
10	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

ตารางที่ 8.35 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.1019	0.0799	0.0909	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0799	0.0909
2	0.1019	-	0.0799	0.1019	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.1019	-	0.0909	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0799	0.0909	-	0.1129	0.0909	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.0909	0.0909	0.0909	0.1019	0.0909	-	0.1019	0.0909	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0799	-	0.0909	0.1129	0.0799	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
9	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.1019	0.0909	0.0909
10	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	-	0.1009	0.0899
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0919	0.0919	0.0919	0.0809	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	-

8.3.6 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

สร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้า ซึ่งเมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

ฝูงที่ 1 : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

String12 = [1 4 3 6 2 5 9 7 8 11 12 10]

String13 = [3 6 1 4 2 5 9 8 11 12 7 10]

ฝูงที่ 2 : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

String22 = [3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]

String23 = [3 2 1 5 4 6 9 11 8 7 10 12]

จากลำดับงานทั้ง 6 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 8.36

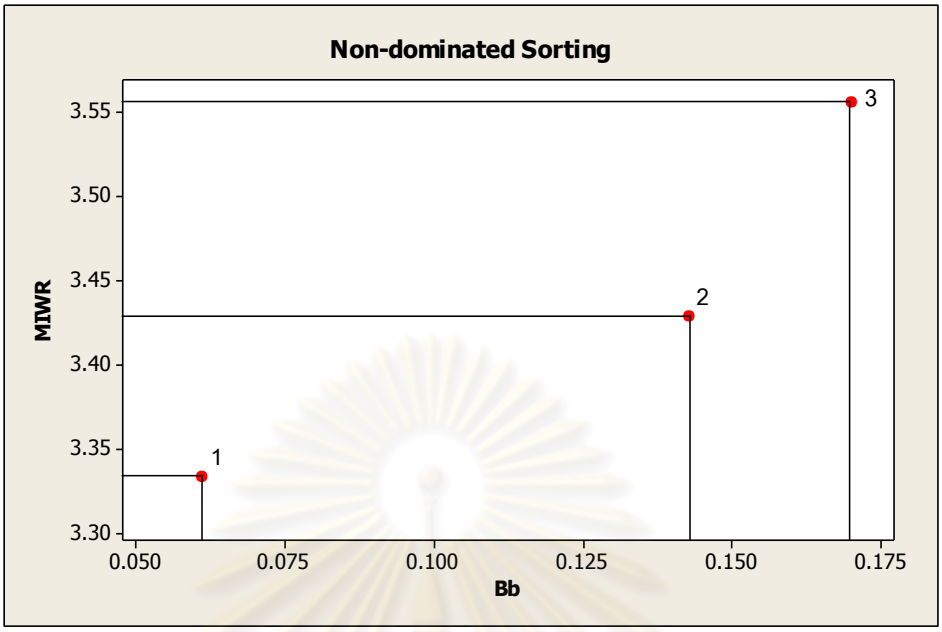
ตารางที่ 8.36 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

อนุภาค	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	2	4	3.3333	0.0612
12	2	4	3.5556	0.1701
13	2	4	3.4286	0.1429
21	3	6	5.4000	0.0259
22	2	4	3.4286	0.1701
23	3	5	4.4444	0.0721

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ทำการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ โดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) และสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและมากที่สุด ตามลำดับ ดังรูปที่ 8.12-8.14 และตารางที่ 8.37-8.39 และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง ดังรูปที่ 8.15-8.16 และตารางที่ 8.40-8.41 และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 8.12 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

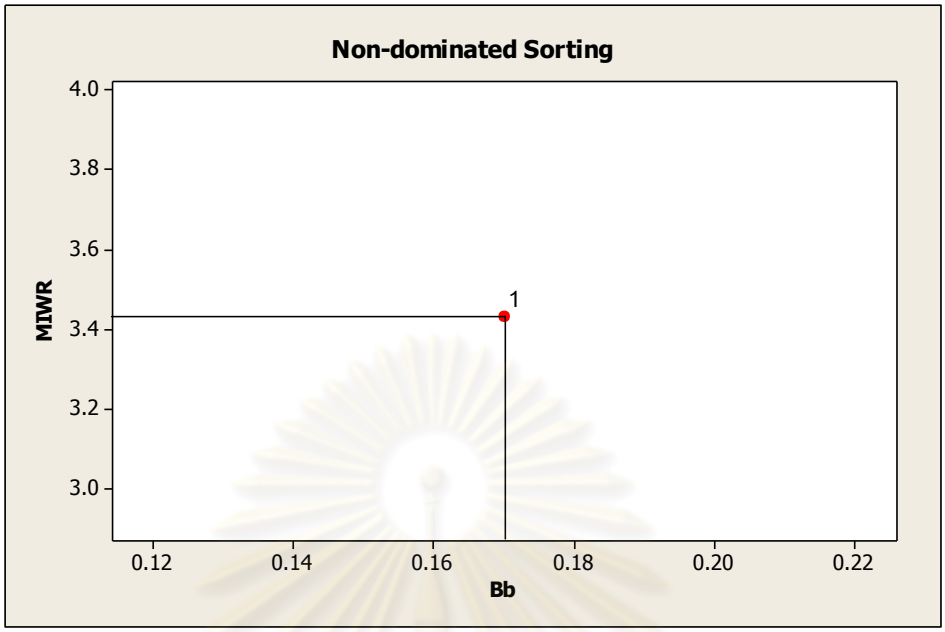
ตารางที่ 8.37 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.3333	0.0612	1	Lbest
12	3.5556	0.1701	3	Lworst
13	3.4286	0.1429	2	-

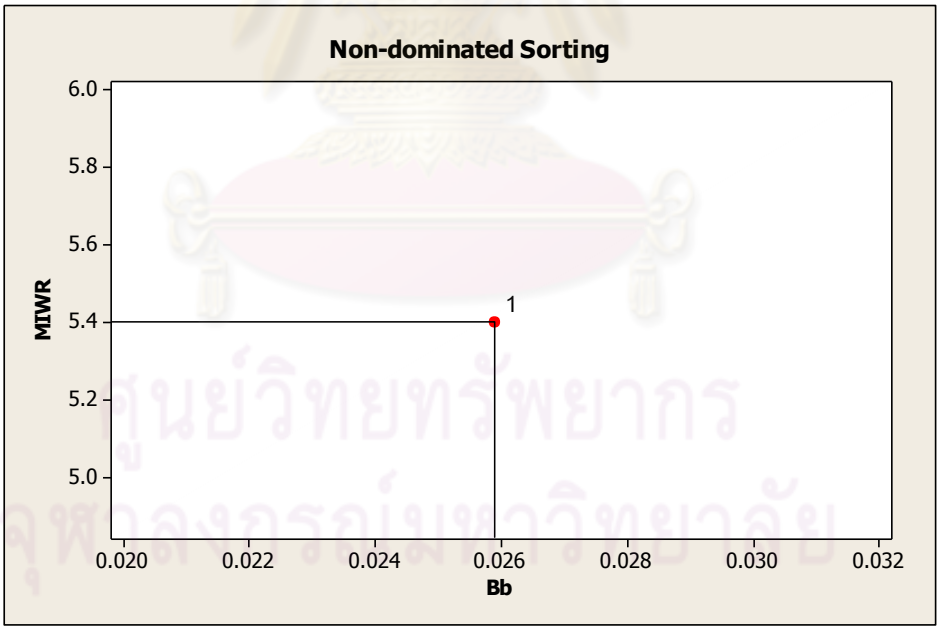
จากตารางที่ 8.37 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ดังนี้

Lbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 3 6 2 5 9 7 8 11 12 10]



รูปที่ 8.13 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.14 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.38 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
22	3.4286	0.1701	1	Lbest

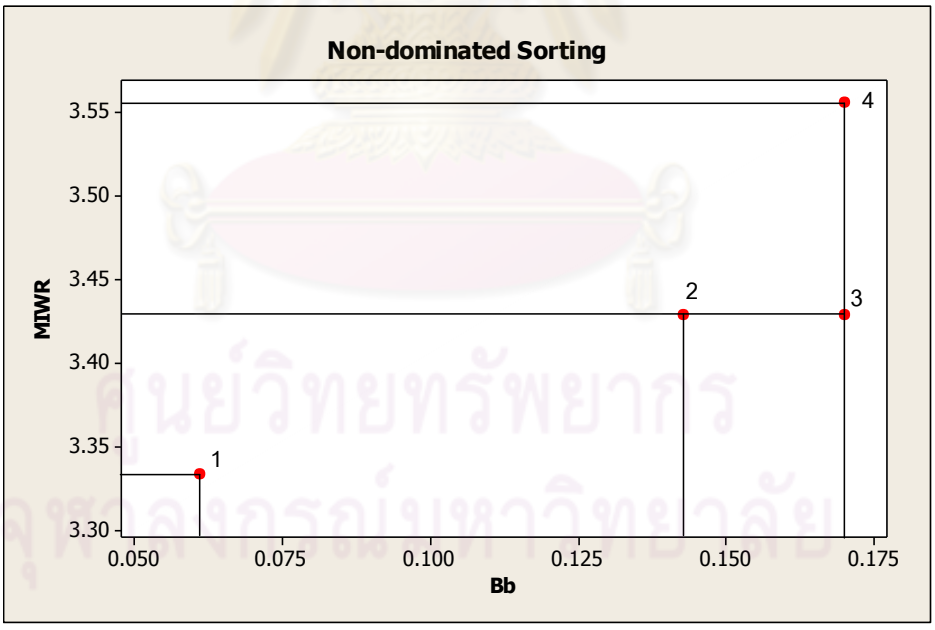
ตารางที่ 8.39 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
21	5.4000	0.0259	1	Lworst

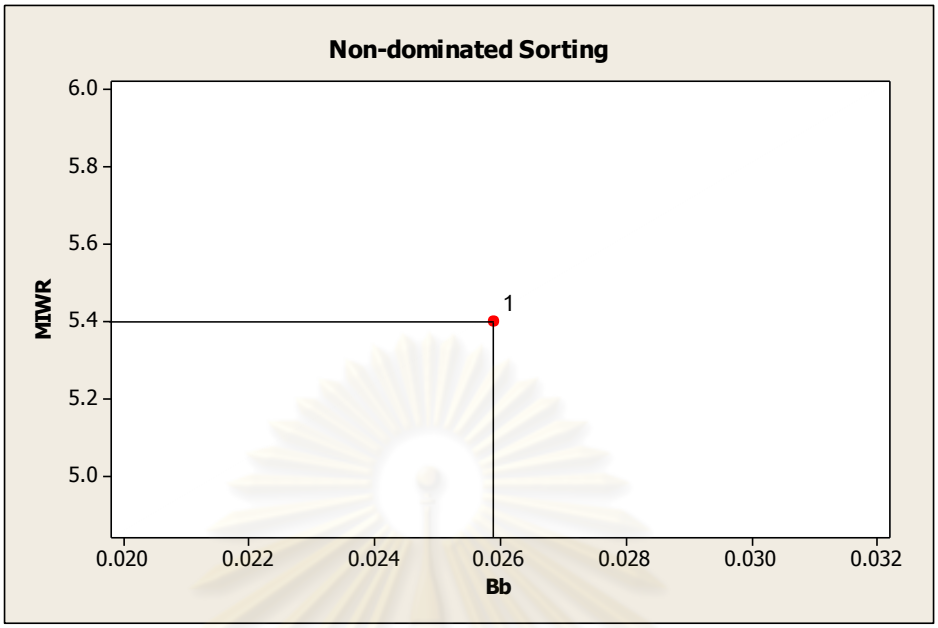
จากตารางที่ 8.38 และ 8.39 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ดังนี้

Lbest : String22 = [3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]

Lworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]



รูปที่ 8.15 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.16 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบของประชากร เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.40 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
11	3.3333	0.0612	1	Gbest
12	3.5556	0.1701	4	-
13	3.4286	0.1429	2	-
22	3.4286	0.1701	3	-

ตารางที่ 8.41 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
21	5.4000	0.0259	1	Gworst

จากตารางที่ 8.40 และ 8.41 จะได้ค่า Gbest และ Gworst ของสตริงคำตอบของประชากร ดังนี้

Gbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

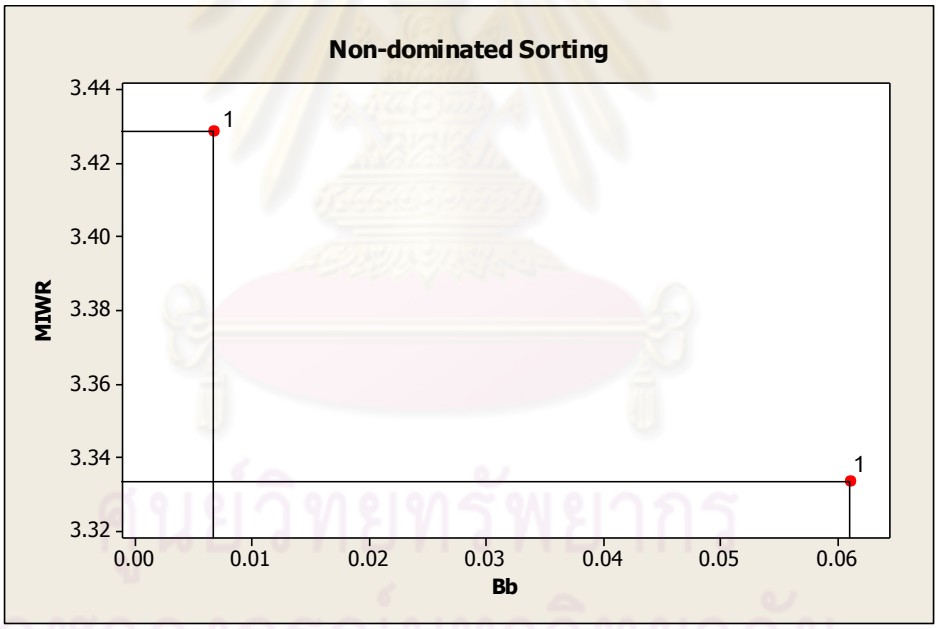
เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยนำมารวมกับค่า Gbest ในรอบก่อนหน้า ดังตารางที่ 8.42

ตารางที่ 8.42 การรวมสตริงคำตอบ

รอบการทำงาน	สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	11	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]
2	11	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

และทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting



รูปที่ 8.17 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 8.43 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1	3.4286	0.0068	1
2	3.3333	0.0612	1

จากสตริงคำตอบทั้ง 4 ตัว จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 8.44

ตารางที่ 8.44 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตาราง

1. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

นำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้ามาทำการปรับปรุง โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ 0.0091 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และนำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) โดยทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 3 6 2 5 9 7 8 11 12 10]

Gbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 11 ซึ่งงานอันดับแรก คือ งานที่ 3 จึงทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ได้ดังตารางที่ 8.45

ตารางที่ 8.45 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0825	0.0825	0.0924	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825	0.0825

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ได้ดังตารางที่ 8.46

ตารางที่ 8.46 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0734	0.0833	0.0932	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 11 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 3 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 21 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งที่ 2 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.47

ตารางที่ 8.47 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0734	0.0734	0.1031	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String22 = [3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]

Lworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

Gbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 เพื่อใช้ในรอบถัดไป ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.48

ตารางที่ 8.48 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0635	0.1031	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

2. การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

นำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้ามาทำการปรับปรุงโดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และนำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงต่อ โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) และทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค** (Velocity Matrix) **ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Lworst : String12 = [1 4 3 6 2 5 9 7 8 11 12 10]

Gbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 11 ซึ่งจะพิจารณาคู่ลำดับ โดยทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบคือ (3,1), (1,4), (4,6), …, (10,11), (11,12) เท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ได้ดังตารางที่ 8.49

ตารางที่ 8.49 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-0.001	0.021	-0.012	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
2	-0.001	-	-0.023	0.021	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
3	0.010	0.021	-	-0.001	-0.023	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
4	-0.001	-0.023	-0.001	-	0.021	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001
5	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	-0.001	-0.023	0.021	0.010	-0.001	-0.001	-0.001
6	-0.001	0.010	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.021	-0.001	-0.023	-0.001	-0.001	-0.001
7	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.023	-	-0.001	0.021	0.010	-0.001	-0.001
8	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	0.021	0.010	-	-0.001	-0.023	-0.001	-0.001
9	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.012	-	0.021	-0.001	-0.001
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 12 ด้วยการลดความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ได้ดังตารางที่ 8.50

ตารางที่ 8.50 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.022	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-	-0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.011	0.022	-	0.000	-0.022	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	-0.022	-0.011	-	0.022	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	-0.022	0.022	0.000	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.022	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	-	-0.011	0.022	0.011	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.011	-	0.000	-0.022	-0.011	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-0.011	-	0.022	0.000	0.000
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-0.010	0.001	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 11 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 21 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จะได้ค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.51

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.51 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.022	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-	-0.033	0.022	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.022	0.022	-	0.000	-0.033	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	-0.022	-0.011	-	0.022	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.011	0.000	0.000	0.000	-	0.000	-0.022	0.022	0.011	0.000	0.000	0.000
6	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	-	0.011	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.022	-	-0.022	0.022	0.022	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.022	-	-0.011	-0.022	-0.011	0.000
9	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	0.000	-	0.011	0.000	0.000
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-0.010	0.001	-

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค** (Velocity Matrix) **ของฝูงที่ 2**

Lbest : String22 = [3 6 1 4 2 5 8 9 7 10 11 12]

Lworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

Gbest : String11 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gworst : String21 = [2 3 5 1 4 6 7 8 9 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.52

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.52 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.000	0.011	-0.011	0.000	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	0.000
2	0.011	-	-0.033	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.011	0.011	-	0.000	-0.033	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-	0.022	-0.011	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	-0.022	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.011	0.011	0.000	0.000	0.000
6	0.011	0.011	0.000	0.011	0.000	-	-0.011	0.000	-0.022	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-	-0.022	0.022	0.011	0.000	0.000
8	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	-	-0.011	0.000	0.000	0.000
9	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	0.011	-	-0.011	0.000	0.000
10	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-0.001	-	0.010	-0.001
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000
12	0.001	0.001	0.001	-0.010	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	0.001	-

3. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป โดยจะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 8.53 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.1349	0.0469	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0359	0.1349	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.1129	0.1349	-	0.0909	0.0359	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0469	0.0799	-	0.1349	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0469	0.1349	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.0909	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.1239	0.0909	0.0469	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0469	-	0.0689	0.1349	0.1129	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1349	0.1129	-	0.0799	0.0469	0.0799	0.0909
9	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0799	0.0689	-	0.1239	0.0909	0.0909
10	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	-	0.1009	0.0899
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0809	0.0919	-

ตารางที่ 8.54 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.1129	0.0689	0.0909	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0689	0.0909
2	0.1129	-	0.0469	0.1129	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.1019	0.1129	-	0.0909	0.0469	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0799	0.0909	-	0.1349	0.0799	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.1019	0.1019	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.1019	0.1019	0.0909	0.1129	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0469	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0689	-	0.0689	0.1349	0.0909	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1019	-	0.0799	0.0909	0.0909	0.0909
9	0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1019	0.1019	-	0.0909	0.0909	0.0909
10	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	-	0.1109	0.0889
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0929	0.0929	0.0929	0.0709	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-

8.4 **วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ** (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ***ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่*** (Local Search)

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหาที่มีโครงสร้างการคำนวณเช่นเดียวกับวิธี PSONK ที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น โดยได้เพิ่มการค้นหาเฉพาะที่เข้าไปหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นและหลังการสิ้นสุดกระบวนการ โดยการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเพื่อเพิ่มความหลากหลายของประชากรคำตอบเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการ และการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบเพื่อเป็นการปรับปรุงคำตอบสุดท้ายให้ดีขึ้นจนไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีก โดยกระบวนการค้นหาเฉพาะที่นั้นได้กล่าวไว้ในบทของเมมเมติกอัลกอริทึม

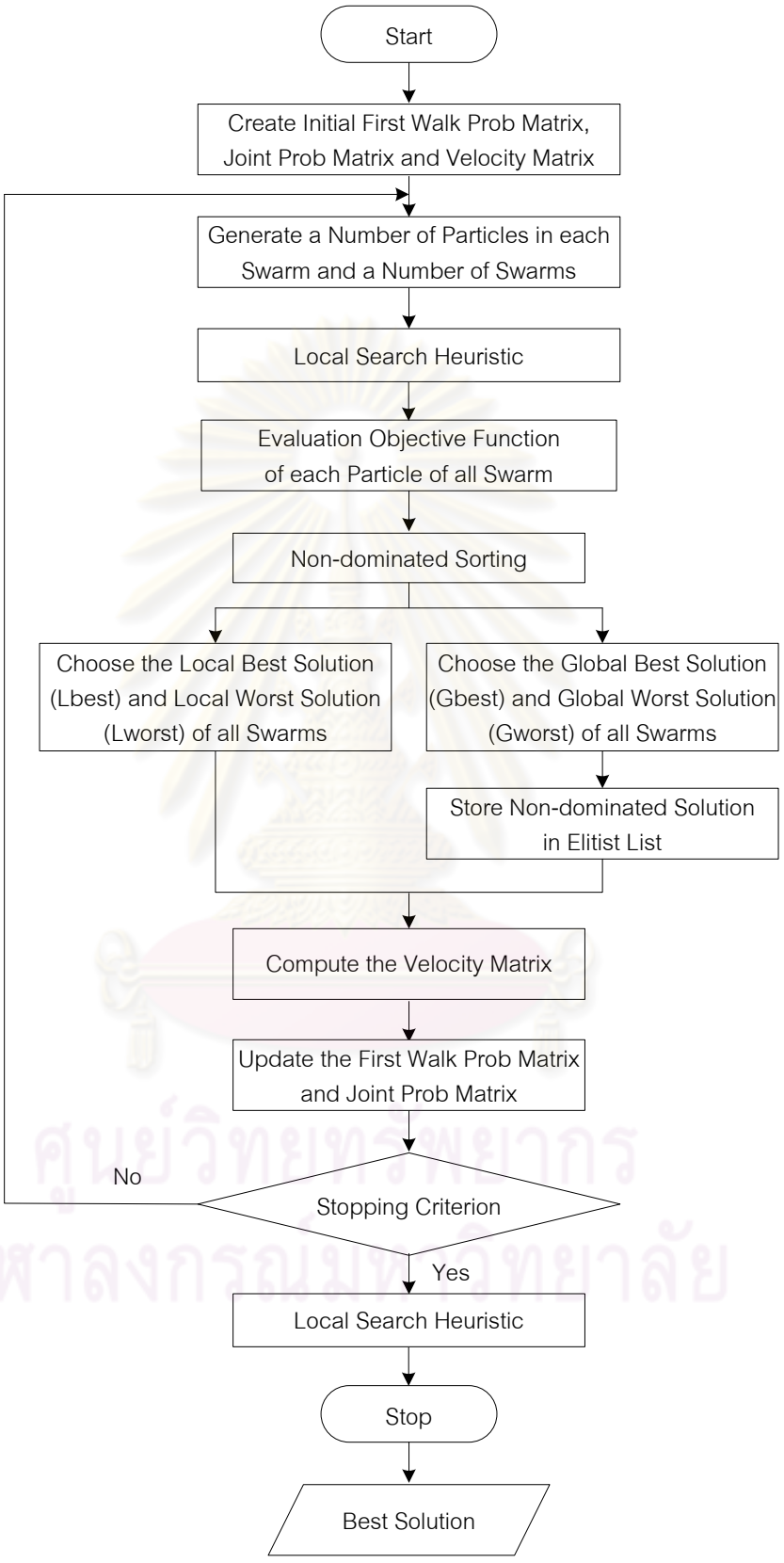
8.5 **ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์**

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. Data Input : รับข้อมูลต่างๆ ได้แก่ จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานและด้านที่สามารถทำงานได้ของแต่ละขั้นงาน รวมถึงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)
2. Representation & Initialization : นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มจากตารางความน่าจะเป็นมาเท่ากับจำนวน Swarm ฝูงๆ ละ Particle ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population) โดยสุ่มเลือกงานลำดับแรกจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก และงานลำดับอื่นๆ จากตารางความน่าจะเป็นร่วม
3. Local Search Heuristic : ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k ครั้ง โดยความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ภายหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ที่กำหนด
4. Repair String : ทำการปรับปรุงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธี PSONK เป็นสตริงคำตอบลำดับงานจึงทำให้หลังการค้นหาเฉพาะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบซึ่งอาจขัดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน
5. Evaluation : คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ เช่น จำนวนคู่สถานีงาน จำนวนสถานีงาน ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานของประชากรคำตอบ
6. Pareto Based Approach : กำหนดค่าความแข็งแรงให้แก่คำตอบโดยใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยใช้วิธีการจัดอันดับ Non-dominated Sorting โดยคำตอบจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่ม ซึ่งกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด โดยได้ทำการแบ่งเป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงในแต่ละฝูง และการกำหนดค่าความแข็งแรงของประชากรทั้งหมด
7. Selection : คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากข้อตอนที่ 4 จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lbest ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่ดี (Local Good Solution) รวมถึงเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น

Lworst ซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่แย่ (Local Worst Solution) และเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของประชากรทั้งหมด (Global Good Solution) มาเป็น Gbest รวมถึงเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของประชากรทั้งหมด (Global Worst Solution) มาเป็น Gworst และทำการเก็บคำตอบ Gbest ที่ได้

8. **Update Probability Matrix** : ปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) โดยการเพิ่มค่าให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และลดค่าให้แก่สตริงคำตอบที่แย่ และทำการเตรียมตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในการสุ่มสตริงคำตอบในรอบถัดไป
9. **Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population** : นำประชากรคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ที่ได้ไปรวมกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า และทำการเปรียบเทียบกันระหว่างประชากร ด้วยวิธี Non-dominated Sorting และทำการเก็บประชากรคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับประชากรที่ดีที่สุดในรอบถัดไป
10. **Stopping Criteria** : ทำการวนซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งถ้าจำนวนรอบการทำงานน้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดให้กลับไปทำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 9 ใหม่ ($t = t + 1$) ถ้าไม่ใช่ให้ทำในขั้นตอนที่ 11
11. **Local Search Heuristic** : ทำการปรับปรุงคำตอบที่ได้หลังจากสิ้นสุดกระบวนการเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k รอบ หรือจนกว่าไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีก
12. **Repair String** : ทำการปรับปรุงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้ในวิธี PSONK เป็นสตริงคำตอบลำดับงานจึงทำให้หลังการค้นหาเฉพาะที่เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบซึ่งอาจขัดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน
13. **Stop** : หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในขั้นตอนที่ 12 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



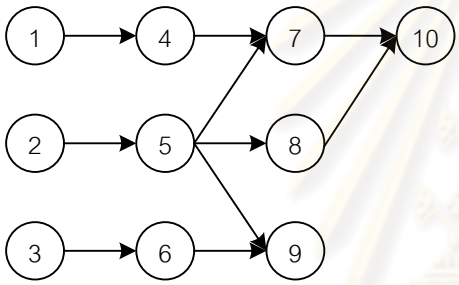
รูปที่ 8.18 ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

8.6 ตัวอย่างการนำวิธี PSONK ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

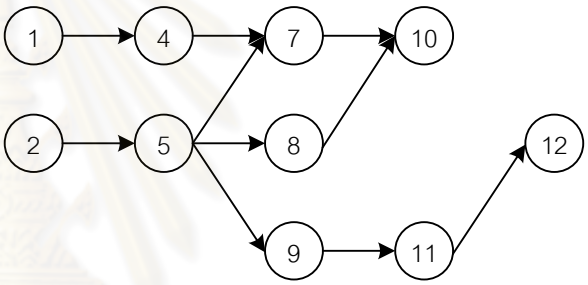
จากขั้นตอนของ PSONK ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ที่ได้นำเสนอ สามารถนำมาทดลองใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาของ Kim et al. (2000) ที่มีงานทั้งหมด 12 งาน จำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด ได้แก่ A และ B มีรอบเวลาการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 7 ซึ่งความสัมพันธ์ของแต่ละงานเป็นดังนี้

8.6.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

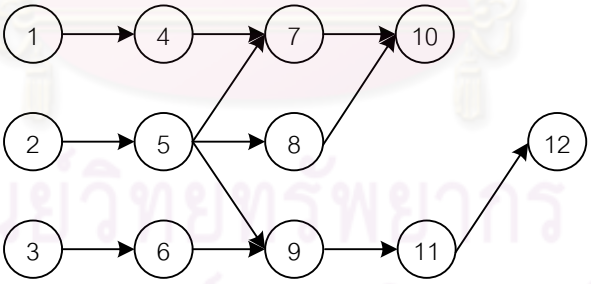
8.6.1.1 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) แสดงดังรูปที่ 8.13



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A และ B

รูปที่ 8.19 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงาน Kim et al. (2000)

8.6.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน ซึ่งแสดงดังตารางที่ 8.55

ตารางที่ 8.55 เวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิด A และ B ในแต่ละขั้นงาน

Task	Side	Model		
		A	B	Mean
1	L	2	3	2.5
2	R	3	3	3
3	E	2	0	1
4	L	3	2	2.5
5	E	1	2	1.5
6	L	1	0	0.5
7	E	3	2	2.5
8	R	3	1	2
9	E	2	1	1.5
10	E	2	3	2.5
11	E	0	2	1
12	R	0	1	0.5

8.6.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix จากแผนภาพความสัมพันธ์ จะได้

ตารางที่ 8.56 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	1	1	1	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

8.6.1.4 **พารามิเตอร์ของ** PSONK+Local Search ที่เลือกใช้ คือ

- จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) เท่ากับ 3
- จำนวนฝูง (Number of Swarms) เท่ากับ 2
- น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) เท่ากับ 1
- ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) เท่ากับ 0.1
- วิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบ 2-Opt
- ความถี่ในการใช้การค้นหาเฉพาะที่ ทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงาน
- จำนวนการทำซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่ เท่ากับ 5 ครั้ง

8.6.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

งานวิจัยนี้ได้ใช้การสร้างสตริงคำตอบ โดยขั้นแรกต้องสร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1 \times n$ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ขนาด $n \times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n = 1/12 = 0.0833$ และตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากับ $1/(n-1) = 0.0909$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมซึ่งเท่ากับ 0 ส่วนตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) โดยตารางเริ่มต้นของฝูงที่ 1 และฝูงที่ 2 จะมีค่าเท่ากัน

ตารางที่ 8.57 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

ตารางที่ 8.58 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
2	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
3	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
4	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
5	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
6	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
7	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
8	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909
9	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909	0.0909
10	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909	0.0909
11	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-	0.0909
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

8.6.3 การสร้างสตริงคำตอบ

สร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูงเช่นเดียวกับในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (PSONK) โดยจะได้ลำดับขั้นงานในการทำงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

ฝูงที่ 1 : String 1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

String 1-2 = [1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]

String 1-3 = [1 2 3 5 8 6 4 7 10 9 11 12]

ฝูงที่ 2 : String 2-1 = [3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]

String 2-2 = [3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]

String 2-3 = [2 1 5 4 7 8 3 6 10 9 11 12]

8.6.4 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น

การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น เป็นกระบวนการปรับปรุงประชากรคำตอบเบื้องต้นให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้นก่อนเข้าสู่กระบวนการต่างๆ โดยในงานวิจัยได้กำหนดให้มีการทำซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น จำนวน 5 ครั้ง ในทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงานที่ใช้ในการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการสลับตำแหน่ง และสลับตำแหน่งที่เหลือด้วย

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 1 ในสตริงคำตอบฝูงที่ 1**

นำสตริงคำตอบตัวที่ 1 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 9

ก่อนทำ	1	3	2	4	5	8	6	7	9	10	11	12
หลังทำ	1	3	2	4	9	7	6	8	5	10	11	12

รูปที่ 8.20 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-1

นำสตริงคำตอบตัวที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 2 และ 8

ก่อนทำ	1	4	2	3	5	7	6	9	8	10	11	12
หลังทำ	1	9	6	7	5	3	2	4	8	10	11	12

รูปที่ 8.21 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-2

นำสตริงคำตอบตัวที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 9 และ 11

ก่อนทำ	1	2	3	5	8	6	4	7	10	9	11	12
หลังทำ	1	2	3	5	8	6	4	7	11	9	10	12

รูปที่ 8.22 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 1-3

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 1 ในสตริงคำตอบฝูงที่ 2**

นำสตริงคำตอบตัวที่ 1 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 4 และ 8

รูปที่ 8.23 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-1

นำสตริงคำตอบตัวที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 3 และ 12

รูปที่ 8.24 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-2

นำสตริงคำตอบตัวที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 4 และ 12

รูปที่ 8.25 การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น 2-Opt ของ String 2-3

จากการค้นหาเฉพาะที่โดยใช้สตริงคำตอบเริ่มต้น จำนวน 5 ครั้ง ได้สตริงคำตอบจากการค้นหาเฉพาะที่ดังนี้

ตารางที่ 8.59 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ ของฝูงที่ 1 ก่อนนำไปซ่อมแซมคำตอบ

ครั้งที่	String No.	Task Sequence
เริ่มต้น	1-1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]
	1-2	[1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]
	1-3	[1 2 3 5 8 6 4 7 10 9 11 12]
1	1-4	[1 3 2 4 9 7 6 8 5 10 11 12]
	1-5	[1 9 6 7 5 3 2 4 8 10 11 12]
	1-6	[1 2 3 5 8 6 4 7 11 9 10 12]
2	1-7	[3 2 1 6 5 4 9 8 11 12 7 10]
	1-8	[1 4 2 3 5 6 7 9 8 10 11 12]
	1-9	[1 2 3 5 8 6 4 11 9 10 7 12]
3	1-10	[1 3 11 10 9 7 6 8 5 4 2 12]
	1-11	[1 4 12 11 10 8 9 6 7 5 3 2]
	1-12	[6 8 5 3 2 1 4 7 10 9 11 12]
4	1-13	[6 8 5 4 2 3 1 7 9 10 11 12]
	1-14	[1 4 2 3 5 7 6 9 10 8 11 12]
	1-15	[1 2 3 5 8 6 12 11 9 10 7 4]
5	1-16	[1 3 2 4 5 10 9 7 6 8 11 12]
	1-17	[1 4 5 3 2 7 6 9 8 10 11 12]
	1-18	[8 5 3 2 1 6 4 7 10 9 11 12]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.60 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ของฝูงที่ 2 ก่อนนำไปซ่อมแซมคำตอบ

ครั้งที่	String No.	Task Sequence
เริ่มต้น	2-1	[3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]
	2-2	[3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]
	2-3	[2 1 5 4 7 8 3 6 10 9 11 12]
1	2-4	[3 2 1 9 7 5 4 6 8 10 11 12]
	2-5	[3 2 10 7 4 12 11 1 9 6 8 5]
	2-6	[2 1 8 7 4 5 3 6 10 9 11 12]
2	2-7	[12 11 10 8 9 7 5 4 6 1 2 3]
	2-8	[3 2 5 8 6 1 9 11 12 4 7 10]
	2-9	[2 1 5 12 11 9 10 6 3 8 7 4]
3	2-10	[3 2 1 6 4 5 8 9 7 10 11 12]
	2-11	[3 10 7 4 12 11 1 9 6 8 5 2]
	2-12	[2 1 5 4 7 8 11 9 10 6 3 12]
4	2-13	[3 2 1 6 5 4 7 9 8 10 11 12]
	2-14	[3 2 5 8 6 9 1 7 4 12 11 10]
	2-15	[2 8 7 4 5 1 3 6 10 9 11 12]
5	2-16	[3 2 1 6 7 5 4 9 8 10 11 12]
	2-17	[3 2 5 11 1 9 6 8 12 4 7 10]
	2-18	[2 1 5 4 10 6 3 8 7 9 11 12]

8.6.5 **การซ่อมแซมคำตอบ** (Repair Method)

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นสตริงคำตอบลำดับงาน เมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่แล้วอาจทำให้สตริงคำตอบบางตัวที่ได้ อาจเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) เนื่องจากขัดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน จึงต้องมีการปรับปรุงสตริงคำตอบโดยพยายามรักษาลำดับงานในสตริงคำตอบให้คงเดิมมากที่สุด (Kim et al, 1996) ซึ่งมีวิธีการซ่อมแซมคำตอบดังตัวอย่างการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่ 4 ของฝูงที่ 1 ดังนี้

สตริงคำตอบก่อนการซ่อมแซม คือ [1 3 2 4 9 7 6 8 5 10 11 12]

1. หางานที่ไม่มีงานก่อนหน้าจากความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน ในที่นี้ คืองานที่ 1, 2 และ 3
2. นำงานที่มีอยู่ในตำแหน่งต้นสุดในสตริงคำตอบก่อนการซ่อมแซม ซึ่งในที่นี้คืองานที่ 1 กำหนดลงในสตริงคำตอบที่ต้องการซ่อมแซม และตัดงานนั้นออกจากการพิจารณา
3. ทำตามขั้นตอนจนกำหนดงานลงในสตริงคำตอบครบทุกงาน

และจะได้สตริงคำตอบหลังทำการซ่อมแซม คือ [1 3 2 4 6 5 9 7 8 10 11 12] จากนั้นทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่เหลือจะได้ดังตารางที่ 8.61-8.62

ตารางที่ 8.61 สตริงคำตอบหลังการซ่อมแซม ของฝูงที่ 1

ครั้งที่	String No.	Task Sequence
เริ่มต้น	1-1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]
	1-2	[1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]
	1-3	[1 2 3 5 8 6 4 7 10 9 11 12]
1	1-4	[1 3 2 4 6 5 9 7 8 10 11 12]
	1-5	[1 3 6 2 5 9 4 7 8 10 11 12]
	1-6	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
2	1-7	[3 2 1 6 5 4 9 8 11 12 7 10]
	1-8	[1 4 2 3 5 6 7 9 8 10 11 12]
	1-9	[1 2 3 5 8 6 4 9 11 7 10 12]
3	1-10	[1 3 6 4 2 5 9 11 7 8 10 12]
	1-11	[1 4 3 6 2 5 8 9 11 12 7 10]
	1-12	[3 6 2 5 8 1 4 7 10 9 11 12]
4	1-13	[2 5 8 3 6 1 4 7 9 10 11 12]
	1-14	[1 4 2 3 5 7 6 9 8 10 11 12]
	1-15	[1 2 3 5 8 6 9 11 12 4 7 10]
5	1-16	[1 3 2 4 5 7 6 9 8 10 11 12]
	1-17	[1 4 3 2 5 7 6 9 8 10 11 12]
	1-18	[3 2 5 8 1 6 4 7 10 9 11 12]

ตารางที่ 8.62 สตริงคำตอบหลังการซ่อมแซม ของฝูงที่ 2

ครั้งที่	String No.	Task Sequence
เริ่มต้น	2-1	[3 2 1 6 4 5 7 9 8 10 11 12]
	2-2	[3 2 5 8 6 9 1 11 12 4 7 10]
	2-3	[2 1 5 4 7 8 3 6 10 9 11 12]
1	2-4	[3 2 1 5 4 7 6 9 8 10 11 12]
	2-5	[3 2 1 4 6 5 7 9 11 12 8 10]
	2-6	[2 1 4 5 8 7 3 6 10 9 11 12]
2	2-7	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	2-8	[3 2 5 8 6 1 9 11 12 4 7 10]
	2-9	[2 1 5 3 6 9 11 12 8 4 7 10]
3	2-10	[3 2 1 6 4 5 8 9 7 10 11 12]
	2-11	[3 1 4 6 2 5 7 9 11 12 8 10]
	2-12	[2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]
4	2-13	[3 2 1 6 5 4 7 9 8 10 11 12]
	2-14	[3 2 5 8 6 9 1 4 7 11 12 10]
	2-15	[2 5 8 1 4 7 3 6 10 9 11 12]
5	2-16	[3 2 1 6 5 4 7 9 8 10 11 12]
	2-17	[3 2 5 1 6 9 11 8 12 4 7 10]
	2-18	[2 1 5 4 3 6 8 7 10 9 11 12]

8.6.6 **การประเมินค่า** (Evaluation)

ทำการจัดลำดับงานลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 7 โดยมีวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรงานลงสถานีงานในวิธี PSONK ที่ได้นำเสนอมาแล้ว โดยในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากลำดับงานทั้งหมด สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 8.63 และตารางที่ 8.64

ตารางที่ 8.63 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ ของฝูงที่ 1

อนุภาค	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1-1	2	4	3.4286	0.0068
1-2	3	6	5.3333	0.0313
1-3	2	4	3.4286	0.2245
1-4	2	4	3.5000	0.3061
1-5	3	6	5.4545	0.0327
1-6	2	4	3.2000	0.2245
1-7	2	4	3.4286	0.1429
1-8	2	4	3.5000	0.1701
1-9	2	4	3.4286	0.1701
1-10	2	4	3.4286	0.1701
1-11	2	4	3.5000	0.1701
1-12	3	6	5.4000	0.0340
1-13	3	5	4.4444	0.0792
1-14	3	6	5.3333	0.0313
1-15	3	5	4.2857	0.1135
1-16	3	6	5.3333	0.0313
1-17	3	6	5.3333	0.0313
1-18	3	6	5.4545	0.0272

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

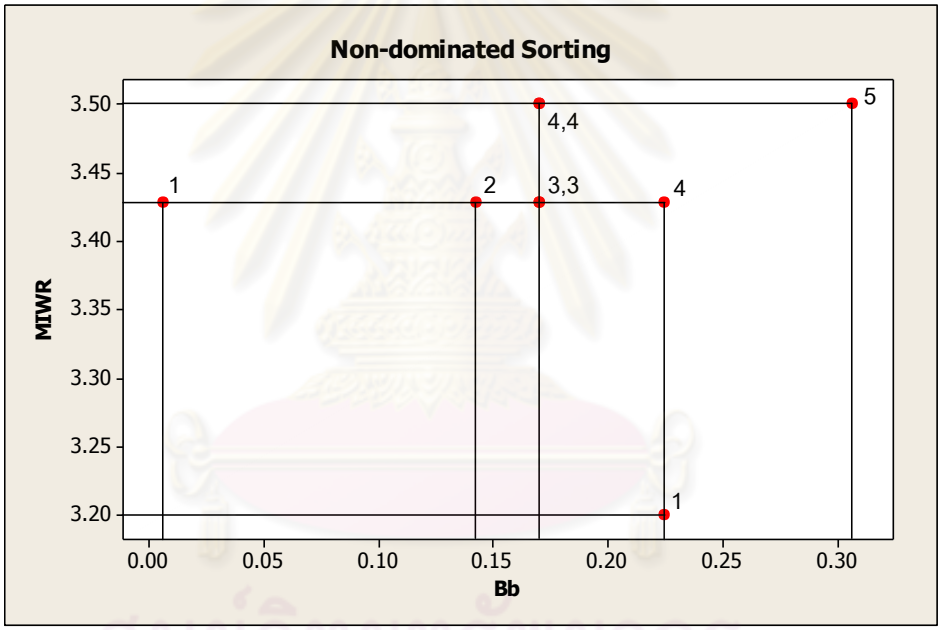
ตารางที่ 8.64 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ ของฝูงที่ 2

อนุภาค	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2-1	2	4	3.5000	0.1156
2-2	3	6	5.2500	0.0313
2-3	3	5	4.4444	0.1302
2-4	2	4	3.5000	0.1156
2-5	3	5	4.3750	0.0753
2-6	2	4	3.4286	0.0884
2-7	2	4	3.3333	0.0884
2-8	3	6	5.2500	0.0190
2-9	3	5	4.5455	0.0806
2-10	2	4	3.4286	0.1701
2-11	3	5	4.3750	0.0753
2-12	3	6	5.4545	0.0558
2-13	2	4	3.5000	0.1156
2-14	3	5	4.4444	0.0735
2-15	3	6	5.4000	0.0218
2-16	2	4	3.5000	0.1156
2-17	3	6	5.5000	0.0136
2-18	2	4	3.5556	0.1973

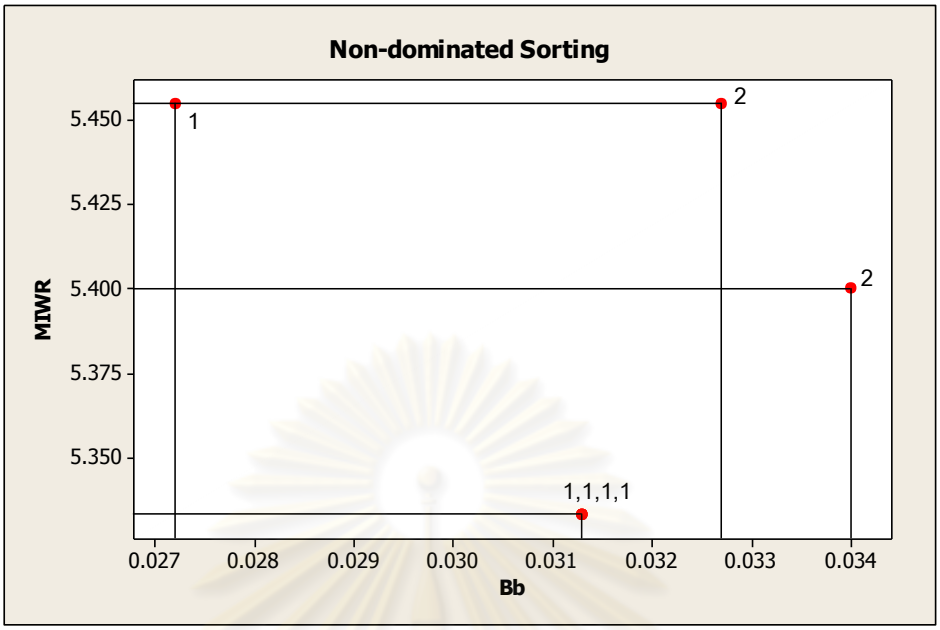
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.6.7 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ทำการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ โดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) และสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง ดังรูปที่ 8.26-8.29 และตารางที่ 8.65-8.68 และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ที่มีค่าน้อยที่สุดและมากที่สุด จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง ดังตารางที่ 8.69-8.70 และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้



รูปที่ 8.26 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.27 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.65 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-6	3.2000	0.2245	1	Lbest
1-1	3.4286	0.0068	1	Lbest
1-7	3.4286	0.1429	2	
1-9	3.4286	0.1701	3	-
1-10	3.4286	0.1701	3	-
1-3	3.4286	0.2245	4	-
1-8	3.5000	0.1701	4	-
1-11	3.5000	0.1701	4	-
1-4	3.5000	0.3061	5	-

ตารางที่ 8.66 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-2	5.3333	0.0313	1	-
1-14	5.3333	0.0313	1	-
1-16	5.3333	0.0313	1	-
1-17	5.3333	0.0313	1	-
1-18	5.4545	0.0272	1	-
1-12	5.4000	0.0340	2	Lworst
1-5	5.4545	0.0327	2	Lworst

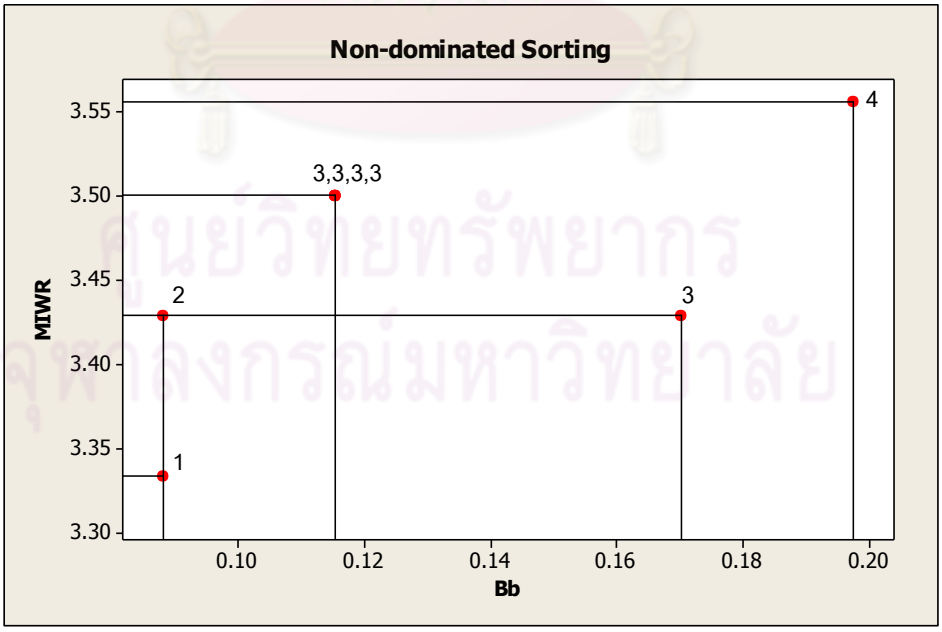
จากตารางที่ 8.66 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ดังนี้

Lbest : String1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

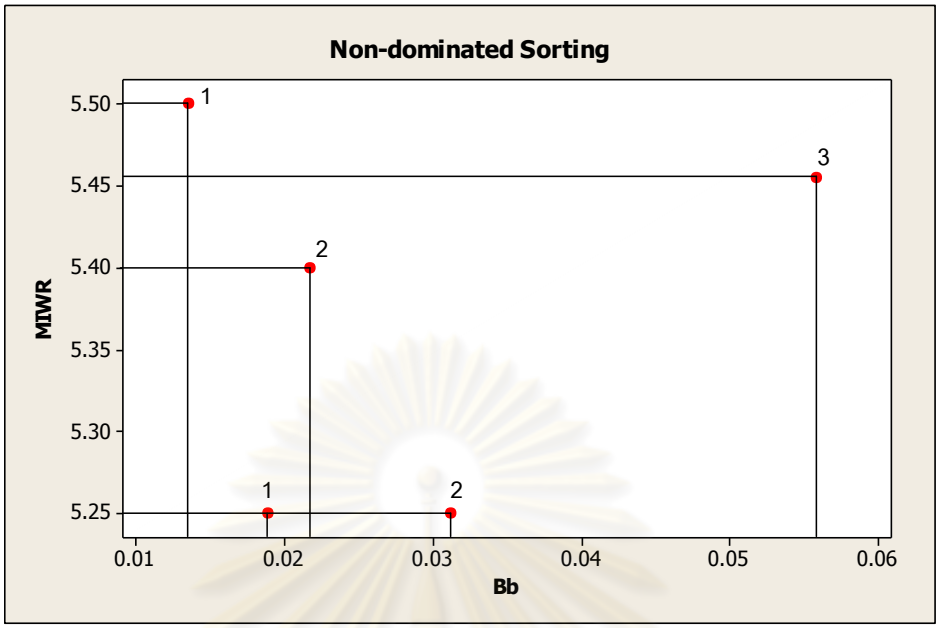
String1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String1-12 = [1 3 6 2 5 9 4 7 8 10 11 12]

String1-5 = [3 6 2 5 8 1 4 7 10 9 11 12]



รูปที่ 8.28 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 4



รูปที่ 8.29 ค่า Dummy Fitness โดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เมื่อพิจารณาเฉพาะจำนวนสถานีงานเท่ากับ 6

ตารางที่ 8.67 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
2-7	3.3333	0.0884	1	Lbest
2-6	3.4286	0.0884	2	-
2-10	3.4286	0.1701	3	-
2-1	3.5000	0.1156	3	-
2-13	3.5000	0.1156	3	-
2-4	3.5000	0.1156	3	-
2-16	3.5000	0.1156	3	-
2-18	3.5556	0.1973	4	-

ตารางที่ 8.68 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
2-8	5.2500	0.0190	1	-
2-17	5.5000	0.0136	1	-
2-2	5.2500	0.0313	2	-
2-15	5.4000	0.0218	2	-
2-12	5.4545	0.0558	3	Lworst

จากตารางที่ 8.68 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ดังนี้

Lbest : String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Lworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

ตารางที่ 8.69 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-6	3.2000	0.2245	1	Gbest
2-7	3.3333	0.0884	1	Gbest
1-1	3.4286	0.0068	1	Gbest
2-6	3.4286	0.0884	2	-
1-7	3.4286	0.1429	3	-
2-1	3.5000	0.1156	3	-
2-13	3.5000	0.1156	3	-
2-4	3.5000	0.1156	3	-
2-16	3.5000	0.1156	3	-
1-9	3.4286	0.1701	4	-
1-10	3.4286	0.1701	4	-
2-10	3.4286	0.1701	4	-
1-3	3.4286	0.2245	5	-

ตารางที่ 8.69 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (ต่อ)

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-8	3.5000	0.1701	5	-
1-11	3.5000	0.1701	5	-
1-4	3.5000	0.3061	6	-
2-18	3.5556	0.1973	6	-

ตารางที่ 8.70 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
2-8	5.2500	0.0190	1	-
2-17	5.5000	0.0136	1	-
2-2	5.2500	0.0313	2	-
2-15	5.4000	0.0218	2	-
1-18	5.4545	0.0272	3	-
1-2	5.3333	0.0313	3	-
1-14	5.3333	0.0313	3	-
1-16	5.3333	0.0313	3	-
1-17	5.3333	0.0313	3	-
1-12	5.4000	0.0340	4	-
1-5	5.4545	0.0327	4	-
2-12	5.4545	0.0558	5	Gworst

จากตารางที่ 8.70 จะได้ค่า Gbest และ Gworst ของสตริงคำตอบ ดังนี้

Gbest : String 1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String 1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

และเมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

ตารางที่ 8.71 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1-6	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
2-7	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
1-1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

8.6.8 การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตาราง

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไปเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่สตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในสตริงคำตอบที่แย่ เพื่อให้โอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่ดีในรอบถัดไปมีค่าเพิ่มขึ้นและเป็นการลดโอกาสในการเลือกสตริงคำตอบที่แย่ออกมา โดยตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (8.6) และสมการที่ (8.7) ตามลำดับ

8.6.8.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $r = 1$ และ $c = 0.1$ โดยทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)} = \frac{0.1 \times 1}{(12-1)} = 0.0091$ และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)^2} = \frac{0.1 \times 1}{(12-1)^2} = 0.0008$ จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)} = 0.0091$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)^2} = 0.0008$ และ

นำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) โดยทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String1-12 = [1 3 6 2 5 9 4 7 8 10 11 12]

String1-5 = [3 6 2 5 8 1 4 7 10 9 11 12]

Gbest : String1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 ตัวแรก คือ สตริงคำตอบที่ 1-6 ซึ่งงานอันดับแรก คือ งานที่ 1 จึงทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0833+0.0091 = 0.0924

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0833-0.0008 = 0.0825

สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 ตัวถัดไป คือ สตริงคำตอบที่ 1-1 ซึ่งงานอันดับแรก คือ งานที่ 1 จึงทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-1

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0924+0.0091 = 0.1015

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-1

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0008 = 0.0817

ตารางที่ 8.72 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1015	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-12 และ สตริงคำตอบที่ 1-5 ตามลำดับ ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 3 ตามลำดับ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1015-0.0091 = 0.0924

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0817+0.0008 = 0.0825

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-5

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0825-0.0091 = 0.0734

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 1-5

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0924+0.0008 = 0.0932

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0.0825+0.0008 = 0.0833

ตารางที่ 8.73 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.0932	0.0833	0.0734	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833	0.0833

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 1-6, 2-7 และ 1-1 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 2-12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งที่ 2 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.74

ตารางที่ 8.74 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1213	0.0718	0.0718	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Lworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

Gbest : String 1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String 1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.75

ตารางที่ 8.75 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1213	0.0618	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817

8.6.8.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $r=1$ และ $c=0.1$ ทำการปรับปรุงโดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)}$ $=\frac{0.1\times1}{(12-2)}=0.01$ และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)^2}$ $=\frac{0.1\times1}{(12-2)^2}=0.001$ จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ $\frac{cr}{(n-2)}=0.01$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $\frac{cr}{(n-1)^2}=0.001$ และนำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงต่อ โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) และทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Lworst : String1-12 = [1 3 6 2 5 9 4 7 8 10 11 12]

String1-5 = [3 6 2 5 8 1 4 7 10 9 11 12]

Gbest : String1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-6 ซึ่งจะพิจารณาคู่ลำดับ โดยทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบคือ (1,2), (2,3), (3,5), …, (11,10), (10,12) เท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,2) จากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0+0.01 = 0.01

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,3) จากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0+0.01 = 0.01

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1-6

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (2,12) มีค่าเท่ากับ 0-0.001 = -0.001

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 จนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ 1-6 จากนั้นปรับปรุงตารางโดยสตริงคำตอบที่ 1-1 ซึ่งจะพิจารณาคู่ลำดับ โดยทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบคือ (1,3), (3,2), (2,4), …, (10,11), (11,12) เท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จะได้ดังตารางที่ 8.76

ตารางที่ 8.76 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.009	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	-0.002	-	0.009	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
3	-0.002	0.009	-	-0.002	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.009	-0.002	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.002	-0.002	0.020	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
6	-0.002	-0.002	-0.002	0.009	-0.002	-	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.002	0.020	-0.002	-0.002	-0.002
8	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.020	-0.002	-	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
9	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.009	0.009	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.009	0.009
11	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.009	-	0.009
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-12 และ สตริงคำตอบที่ 1-5 ตามลำดับ ด้วยการลดความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ดังนี้

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,3) จากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.009-0.01 = -0.001

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.009+0.001 = 0.01

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (1,12) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (3,6) จากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (3,6) มีค่าเท่ากับ -0.002-0.01 = -0.012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1-12

ตำแหน่งที่ (3,1) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,2) มีค่าเท่ากับ 0.009+0.001 = 0.01

ตำแหน่งที่ (3,3) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (3,4) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,5) มีค่าเท่ากับ 0.009+0.001 = 0.01

ตำแหน่งที่ (3,7) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,8) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,9) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,10) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,11) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ตำแหน่งที่ (3,12) มีค่าเท่ากับ -0.002+0.001 = -0.001

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 จนครบทุกคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่แย่ทั้งสตริงคำตอบที่ 1-12 และ สตริงคำตอบที่ 1-5 จะได้ดังตารางที่ 8.77

ตารางที่ 8.77 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.011	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
2	0.000	-	0.011	0.011	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
3	0.000	0.011	-	0.000	0.011	-0.022	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
4	0.000	0.000	0.000	-	0.011	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
5	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.000	0.000	0.011	-0.011	0.000	0.000	0.000
6	0.000	-0.022	0.000	0.011	0.000	-	0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
7	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-	-0.011	0.022	-0.011	0.000	0.000
8	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	0.022	0.000	-	0.000	-0.011	0.000	0.000
9	0.000	0.000	0.000	-0.011	0.000	0.000	0.000	0.000	-	0.011	0.000	0.000
10	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-0.011	-	0.000	0.011
11	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.011	-	-0.011
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 1-6, 2-7 และ 1-1 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 2-12 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จะได้ค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.78

ตารางที่ 8.78 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.020	0.009	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	-0.013	-	0.020	0.020	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
3	-0.002	0.020	-	-0.002	0.020	-0.024	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4	-0.002	0.009	-0.002	-	0.020	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-	-0.002	-0.002	0.042	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002
6	-0.002	-0.024	-0.002	0.020	-0.002	-	0.020	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.024	0.042	-0.002	-0.002	-0.002
8	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.042	0.009	-	-0.002	-0.024	-0.002	-0.002
9	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.020	0.009	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-	0.009	0.020
11	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.020	-	-0.002
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

Lworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

Gbest : String 1-6 = [1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]

String 2-7 = [1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]

String 1-1 = [1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

Gworst : String 2-12 = [2 1 5 4 7 8 10 3 6 9 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.79

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.79 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.009	0.009	0.020	-0.024	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	-0.024	-	0.009	0.009	0.020	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
3	-0.002	0.009	-	-0.002	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4	-0.002	0.020	-0.002	-	0.009	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.024	-	-0.002	-0.002	0.042	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
6	-0.002	-0.002	-0.002	0.009	-0.002	-	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.024	0.020	0.020	-0.002	-0.002
8	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.020	0.020	-	-0.002	-0.024	-0.002	-0.002
9	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.009	0.009	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.009	0.009
11	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.009	-	0.009
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

8.6.8.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป โดยจะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 8.80 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0709	0.0819	0.0929	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
2	0.1039	-	0.0709	0.0709	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
3	0.0929	0.0709	-	0.0929	0.0709	0.1149	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
4	0.0929	0.0819	0.0929	-	0.0709	0.0929	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
5	0.0929	0.0929	0.0929	0.1039	-	0.0929	0.0929	0.0489	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929
6	0.0929	0.1149	0.0929	0.0709	0.0929	-	0.0709	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
7	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-	0.1149	0.0489	0.0929	0.0929	0.0929
8	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0489	0.0819	-	0.0929	0.1149	0.0929	0.0929
9	0.0929	0.0929	0.0929	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-	0.0709	0.0819	0.0929
10	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.1039	-	0.0819	0.0709
11	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0709	-	0.0929
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

ตารางที่ 8.81 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0819	0.0819	0.0709	0.1149	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
2	0.1149	-	0.0819	0.0819	0.0709	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
3	0.0929	0.0819	-	0.0929	0.0819	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
4	0.0929	0.0709	0.0929	-	0.0819	0.0929	0.1039	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
5	0.0929	0.0929	0.0929	0.1149	-	0.0929	0.0929	0.0489	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
6	0.0929	0.0929	0.0929	0.0819	0.0929	-	0.0819	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929
7	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-	0.1149	0.0709	0.0709	0.0929	0.0929
8	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0709	0.0709	-	0.0929	0.1149	0.0929	0.0929
9	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-	0.0819	0.0819	0.0929
10	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	-	0.0819	0.0819
11	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0929	0.0819	-	0.0819
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

8.6.9 การแก้ปัญหาในรอบถัดไป

เริ่มจากการสร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้า

เมื่อทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานจะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

ฝูงที่ 1 : String 1-1 = [3 2 1 4 6 5 7 9 8 11 10 12]

String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

String1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

ฝูงที่ 2 : String 2-1 = [3 6 1 4 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-2 = [1 2 3 4 5 6 7 9 11 8 10 12]

String 2-3 = [3 1 4 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

จากลำดับงานทั้ง 6 ตัว สามารถคำนวณค่าวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 8.82

ตารางที่ 8.82 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์

อนุภาค	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1-1	2	4	3.5000	0.0612
1-2	2	4	3.5000	0.1701
1-3	2	4	3.3333	0.0612
2-1	2	4	3.4286	0.2789
2-2	2	4	3.5000	0.0612
2-3	2	4	3.4286	0.0068

การคัดเลือกสตริงคำตอบ

ในการค้นหาคำตอบในรอบที่ 2 นี้จะไม่ทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น เนื่องจากเพื่อให้เข้าใจว่า การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบไม่จำเป็นต้องทำทุกรอบการทำงาน เนื่องจากจะทำให้เสียเวลาในการคำนวณ

เมื่อได้สตริงคำตอบแล้วจึงทำการประเมินค่า โดยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) และสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ดังตารางที่ 8.83-8.84 และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ดังตารางที่ 8.85 และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

ตารางที่ 8.83 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-3	3.3333	0.0612	1	Lbest
1-1	3.5000	0.0612	2	-
1-2	3.5000	0.1701	3	Lworst

จากตารางที่ 8.83 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ดังนี้

Lbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

Lworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

ตารางที่ 8.84 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
2-3	3.4286	0.0068	1	Lbest
2-1	3.4286	0.2789	2	Lworst
2-2	3.5000	0.0612	2	Lworst

จากตารางที่ 8.84 จะได้ค่า Lbest และ Lworst ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ดังนี้

Lbest : String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Lworst : String 2-1 = [3 6 1 4 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-2 = [1 2 3 4 5 6 7 9 11 8 10 12]

ตารางที่ 8.85 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Front	Selection
1-3	3.3333	0.0612	1	Gbest
2-3	3.4286	0.0068	1	Gbest
2-1	3.4286	0.2789	2	-
1-1	3.5000	0.0612	2	-
2-2	3.5000	0.0612	2	-
1-2	3.5000	0.1701	3	Gworst

จากตารางที่ 8.85 จะได้ค่า Gbest และ Gworst ของสตริงคำตอบ ดังนี้

Gbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Gworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

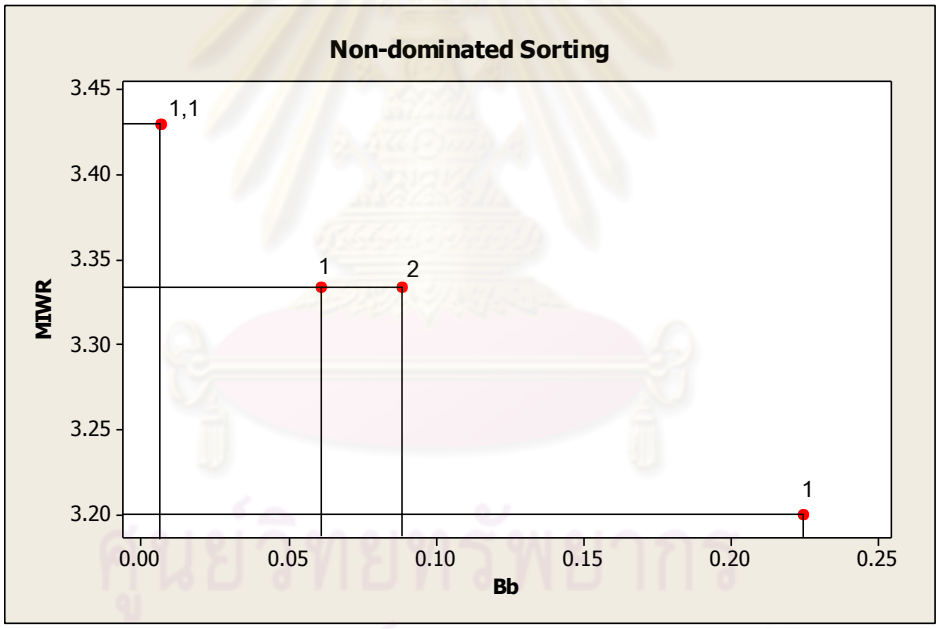
เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

และเมื่อได้ค่า Gbest จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยนำมารวมกับค่า Gbest ในรอบก่อนหน้า ดังตารางที่ 8.86

ตารางที่ 8.86 การรวมสตริงคำตอบ

รอบการทำงาน	สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	1-6	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
	2-7	[1 4 2 5 8 7 10 3 6 9 11 12]
	1-1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]
2	1-3	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
	2-3	[1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

และทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดเพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting



รูปที่ 8.30 การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 8.87 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน	Dummy Fitness
1-6	3.2000	0.2245	1
1-3	3.3333	0.0612	1
2-3	3.4286	0.0068	1
1-1	3.4286	0.0068	1
2-7	3.3333	0.0884	2

จากสตริงคำตอบทั้ง 4 ตัว จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไว้ โดยพิจารณาจากค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ดังตารางที่ 8.88

ตารางที่ 8.88 สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1-6	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
1-3	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
2-3	[1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]
1-1	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตาราง

1. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

นำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้ามาทำการปรับปรุง โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ 0.0091 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และนำตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงโดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรกในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร

(Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) โดยทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

Lworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Gworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-3 ซึ่งงานอันดับแรก คือ งานที่ 3 จึงทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ได้ดังตารางที่ 8.89

ตารางที่ 8.89 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1205	0.0710	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809	0.0809

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-2 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งแรกเท่ากับ 0.0091 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 ได้ดังตารางที่ 8.90

ตารางที่ 8.90 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1114	0.0718	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 1-3 และสตริงคำตอบที่ 2-3 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่ง

ที่ 1 เท่ากับ 0.0091 และลดค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 1-2 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0091 ในตำแหน่งแรก และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตำแหน่งอื่นๆ เท่ากับ 0.0008 จะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.91

ตารางที่ 8.91 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1106	0.0709	0.0908	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808	0.0808

- **การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Lworst : String 2-1 = [3 6 1 4 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-2 = [1 2 3 4 5 6 7 9 11 8 10 12]

Gbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Gworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 เพื่อใช้ในรอบถัดไป ซึ่งจะได้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.92

ตารางที่ 8.92 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
0.1213	0.0618	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817	0.0817

2. การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

นำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากรอบก่อนหน้ามาทำการปรับปรุงโดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Lbest) ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จากนั้นในสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Lworst) จะทำการลดค่าความน่าจะเป็น

ให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และนำตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ที่ได้จากการเพิ่มและลดค่าความน่าจะเป็นในแต่ละฝูงมาทำการปรับปรุงต่อ โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกันในสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Gbest) และสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Gworst) และทำการคำนวณเช่นเดียวกับ Lbest และ Lworst

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค** (Velocity Matrix) **ของฝูงที่ 1**

จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกจะได้สตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 และสตริงคำตอบที่ดีของประชากร ดังนี้

Lbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

Lworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

Gbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Gworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 โดยเริ่มจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-3 ซึ่งจะพิจารณาคู่ลำดับ โดยทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบคือ (3,1), (1,4), (4,6), …, (10,11), (11,12) เท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ได้ดังตารางที่ 8.93

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.93 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.019	0.008	0.008	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
2	-0.014	-	0.019	0.019	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
3	0.008	0.019	-	-0.003	0.019	-0.025	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
4	-0.003	0.008	-0.003	-	0.019	0.008	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
5	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-	-0.003	-0.003	0.041	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
6	-0.003	-0.014	-0.003	0.019	-0.003	-	0.019	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
7	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-	-0.014	0.041	-0.003	-0.003	-0.003
8	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	0.041	0.008	-	-0.003	-0.014	-0.003	-0.003
9	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-0.003	-0.003	0.008	-0.003	-	0.019	0.008	-0.003
10	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-	0.019	0.019
11	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	0.019	-	0.008
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1 คือ สตริงคำตอบที่ 1-2 ด้วยการลดความน่าจะเป็นให้กับคู่ลำดับในสตริงคำตอบเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 ได้ดังตารางที่ 8.94

ตารางที่ 8.94 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่แย่ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.020	0.009	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	-0.013	-	0.020	0.020	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
3	0.009	0.020	-	-0.002	0.020	-0.035	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4	-0.002	0.009	-0.013	-	0.020	0.009	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-	-0.002	-0.002	0.042	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002
6	-0.002	-0.024	-0.002	0.020	-0.002	-	0.020	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.013	0.042	-0.013	-0.002	-0.002
8	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.042	-0.002	-	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002
9	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-0.002	-0.002	0.009	-0.013	-	0.020	0.009	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-	0.009	0.020
11	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.020	-	-0.002
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

จากนั้นทำการปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่ดีของประชากร คือสตริงคำตอบที่ 1-3 และสตริงคำตอบที่ 2-3 ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 และปรับปรุงตารางด้วยสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร คือ สตริงคำตอบที่ 1-2 ด้วยการลดค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับเท่ากับ 0.01 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นกับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ 0.001 จะได้ค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 ดังตารางที่ 8.95

ตารางที่ 8.95 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.019	0.008	0.008	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
2	-0.014	-	0.030	0.019	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
3	0.019	0.019	-	-0.003	0.019	-0.036	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
4	-0.003	0.019	-0.025	-	0.019	0.019	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
5	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-	-0.003	-0.003	0.052	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003
6	-0.003	-0.025	-0.003	0.019	0.008	-	0.019	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
7	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-	-0.003	0.052	-0.025	-0.003	-0.003
8	-0.014	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	0.041	-0.003	-	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003
9	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-0.003	-0.003	0.019	-0.025	-	0.030	0.008	-0.003
10	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.014	-	0.019	0.019
11	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	-0.003	0.019	-	0.008
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

- **การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2**

Lbest : String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Lworst : String 2-1 = [3 6 1 4 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-2 = [1 2 3 4 5 6 7 9 11 8 10 12]

Gbest : String 1-3 = [3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]

String 2-3 = [1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]

Gworst : String 1-2 = [1 4 3 6 2 5 9 8 7 10 11 12]

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 เช่นเดียวกับฝูงที่ 1 ซึ่งจะได้ค่าตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 ดังตารางที่ 8.96

ตารางที่ 8.96 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2 หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบ

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	-0.002	0.009	0.031	-0.024	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
2	-0.024	-	0.020	0.009	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
3	0.009	0.009	-	-0.013	0.009	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
4	-0.002	0.031	-0.013	-	-0.002	0.009	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
5	-0.002	-0.002	-0.002	-0.024	-	-0.013	-0.002	0.064	-0.013	-0.002	-0.002	-0.002
6	-0.013	-0.002	-0.002	0.009	0.020	-	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	-0.024	0.031	0.009	-0.002	-0.002
8	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	0.020	0.031	-	-0.002	-0.035	-0.002	-0.002
9	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-	0.031	-0.002	-0.002
10	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-	0.020	-0.002
11	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002	-0.013	-0.002	0.009	-	0.020
12	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	-

3. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป โดยจะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1 และ 2 ดังนี้

ตารางที่ 8.97 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0519	0.0739	0.0849	0.1179	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959
2	0.1179	-	0.0409	0.0519	0.1179	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959
3	0.0739	0.0519	-	0.0959	0.0519	0.1509	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959
4	0.0959	0.0629	0.1179	-	0.0519	0.0739	0.1179	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959
5	0.0959	0.0959	0.0959	0.1179	-	0.0959	0.0959	-0.0031	0.1179	0.0959	0.0959	0.0959
6	0.0959	0.1399	0.0959	0.0519	0.0849	-	0.0519	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959
7	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	-	0.1179	-0.0031	0.1179	0.0959	0.0959
8	0.1179	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0079	0.0849	-	0.0959	0.1179	0.0959	0.0959
9	0.0959	0.0959	0.0959	0.1179	0.0959	0.0959	0.0739	0.1179	-	0.0409	0.0739	0.0959
10	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.1179	-	0.0629	0.0519
11	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0959	0.0519	-	0.0849
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

ตารางที่ 8.98 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	-	0.0839	0.0729	0.0399	0.1389	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949
2	0.1389	-	0.0619	0.0729	0.0619	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949
3	0.0839	0.0729	-	0.1059	0.0729	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949
4	0.0949	0.0399	0.1059	-	0.0839	0.0839	0.1169	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949
5	0.0949	0.0949	0.0949	0.1389	-	0.1059	0.0949	-0.0151	0.1059	0.0949	0.0949	0.0949
6	0.1059	0.0949	0.0949	0.0729	0.0729	-	0.0839	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949
7	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	-	0.1389	0.0399	0.0619	0.0949	0.0949
8	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0509	0.0399	-	0.0949	0.1499	0.0949	0.0949
9	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.1059	-	0.0509	0.0839	0.0949
10	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	-	0.0619	0.0839
11	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.0949	0.1059	0.0949	0.0729	-	0.0619
12	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	-

8.6.10 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการ

การค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบ หรือเมื่อทำการค้นหาคำตอบครบตามจำนวนเจนเนอเรชันแล้ว เป็นกระบวนการปรับปรุงคำตอบสุดท้าย เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจนกว่าจะไม่สามารถพบคำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิมจำนวน 5 รอบ โดยใช้การค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบด้วยวิธี 2-Opt โดยคำตอบที่ได้หลังจากสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบแสดงดังตารางที่ 8.99 และตารางที่ 8.100

ตารางที่ 8.99 สตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
3	[1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]
4	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

ตารางที่ 8.100 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่จะทำการค้นหาเฉพาะที่

สตริงคำตอบที่	จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	2	4	3.2000	0.2245
2	2	4	3.3333	0.0612
3	2	4	3.4286	0.0068
4	2	4	3.4286	0.0068

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่** 1

นำสตริงคำตอบตัวที่ 1 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 10

ก่อนทำ	1	2	3	5	8	6	4	7	9	11	10	12
หลังทำ	1	2	3	5	8	11	9	7	4	6	10	12

รูปที่ 8.31 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบตัวที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 9 และ 12

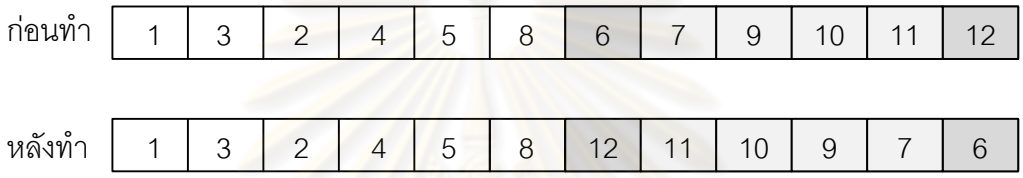
ก่อนทำ	3	1	4	6	2	5	9	7	8	10	11	12
หลังทำ	3	1	4	6	2	5	9	7	12	11	10	8

รูปที่ 8.32 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบตัวที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 11

รูปที่ 8.33 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบตัวที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 7 และ 12



รูปที่ 8.34 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 4

ตารางที่ 8.101 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 6 11 7 4 6 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 12 11 10 8]
3	[1 4 2 3 6 11 10 9 7 8 5 12]
4	[1 3 2 4 5 8 12 11 10 9 7 6]

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นสตริงคำตอบลำดับงาน เมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่แล้วจะทำให้สตริงคำตอบบางตัวที่ได้ อาจเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) เนื่องจากขัดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน จึงต้องมีการปรับปรุงสตริงคำตอบโดยพยายามรักษาลำดับงานในสตริงคำตอบให้คงเดิมมากที่สุด (Kim et al, 1996) ซึ่งมีวิธีการซ่อมแซมคำตอบดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 8.6.5

ตารางที่ 8.102 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 4 7 6 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 11 12 8 10]
3	[1 4 2 3 6 5 9 11 7 8 10 12]
4	[1 3 2 4 5 8 7 10 6 9 11 12]

ตารางที่ 8.103 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 1

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	5	4.4444	0.1132
2	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	5	4.2857	0.7530
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.1790
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.0068

จากตารางที่ 8.103 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับ (Lacomme et al., 2006) เมื่อกำหนดให้ S เป็นคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่ และ S' เป็นคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ โดยจะทำการยอมรับคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยมีกฎที่ใช้อยู่ 4 กฎ ดังตารางที่ 8.104

ตารางที่ 8.104 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

กฎการยอมรับ	เงื่อนไข
กฎที่ 1	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$
กฎที่ 2	$(accept(S,S')) = f_2(S') - f_2(S) < 0$
กฎที่ 3	$(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) \le 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) < 0$ หรือ $(accept(S,S')) = f_1(S') - f_1(S) < 0$ และ $f_2(S') - f_2(S) \le 0$
กฎที่ 4	$(accept(S,S')) = w_1(f_1(S') - f_1(S)) + (1-w_1)(f_2(S') - f_2(S)) \le 0$

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่ดีกว่าสตริงคำตอบเดิม เนื่องจากปฏิเสธกฎการยอมรับทั้ง 4 ข้อ จึงทำการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำอีก

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 2**

นำสตริงคำตอบตัวที่ 1 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 7

ก่อนทำ	1	2	3	5	8	6	4	7	9	11	10	12
หลังทำ	1	2	3	5	4	6	8	7	9	11	10	12

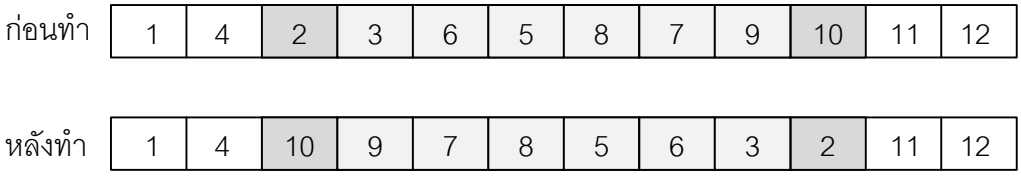
รูปที่ 8.35 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบตัวที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 7

ก่อนทำ	3	1	4	6	2	5	9	7	8	10	11	12
หลังทำ	3	1	4	6	9	5	2	7	8	10	11	12

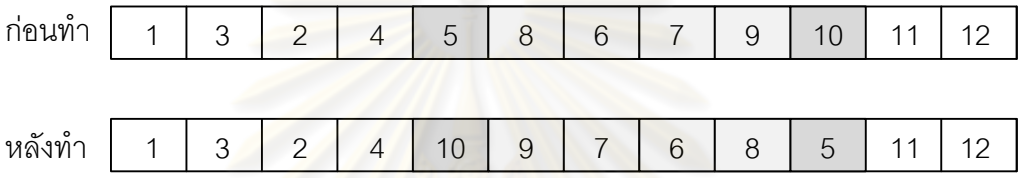
รูปที่ 8.36 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบตัวที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 3 และ 10



รูปที่ 8.37 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบตัวที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt โดยทำการสุ่มตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 5 และ 10



รูปที่ 8.38 การค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการด้วยวิธี 2-Opt ของสตริงคำตอบที่ 4

ตารางที่ 8.105 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 4 6 8 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 9 5 2 7 8 10 11 12]
3	[1 4 10 9 7 8 5 6 3 2 11 12]
4	[1 3 2 4 10 9 7 6 8 5 11 12]

ตารางที่ 8.106 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 4 6 8 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
3	[1 4 3 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
4	[1 3 2 4 6 5 9 7 8 10 11 12]

ตารางที่ 8.107 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 2

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	4	3.2000	0.2245
2	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	4	3.3333	0.0612
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.5000	0.3061
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.5000	0.3061

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่ดีกว่าสตริงคำตอบเดิม จึงทำการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำอีก

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 3**

ตารางที่ 8.108 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 5 3 2 8 6 4 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 8 7 9 10 11 12]
3	[1 4 2 3 9 7 8 5 6 10 11 12]
4	[1 3 11 10 9 7 6 8 5 4 2 12]

ตารางที่ 8.109 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 3 2 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 8 7 9 10 11 12]
3	[1 4 2 3 5 7 8 6 9 10 11 12]
4	[1 3 6 4 2 5 9 11 7 8 10 12]

ตารางที่ 8.110 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 3

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	5	4.5455	0.0274
2	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	4	3.5000	0.1837
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.0068
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.1701

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่ดีกว่าสตริงคำตอบเดิม จึงทำการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำอีก

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 4**

ตารางที่ 8.111 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 9 7 4 6 8 5 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 10 8 11 12]
3	[1 4 2 3 6 11 10 9 7 8 5 12]
4	[1 6 8 5 4 2 3 7 9 10 11 12]

ตารางที่ 8.112 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 4 6 5 9 7 8 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
3	[1 4 2 3 6 5 9 11 7 8 10 12]
4	[1 4 2 5 8 3 6 7 9 10 11 12]

ตารางที่ 8.113 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 4

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	4	3.5000	0.1156
2	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	4	3.3333	0.0612
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.4286	0.1701
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.5000	0.1837

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่ดีกว่าสตริงคำตอบเดิม จึงทำการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำอีก

- **การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ครั้งที่ 5**

ตารางที่ 8.114 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt ก่อนซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 6 11 9 7 4 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 12 11]
3	[1 4 2 3 6 10 9 7 8 5 11 12]
4	[4 2 3 1 5 8 6 7 9 10 11 12]

ตารางที่ 8.115 สตริงคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ หลังการซ่อมแซมคำตอบ

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 6 9 11 4 7 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
3	[1 4 2 3 6 5 9 7 8 10 11 12]
4	[2 3 1 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

ตารางที่ 8.116 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ครั้งที่ 5

สตริงคำตอบที่	ลักษณะคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
1	ก่อนทำ	4	3.2000	0.2245
	หลังทำ	5	4.2857	0.1135
2	ก่อนทำ	4	3.3333	0.0612
	หลังทำ	4	3.3333	0.0612
3	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.5000	0.3061
4	ก่อนทำ	4	3.4286	0.0068
	หลังทำ	4	3.5000	0.1837

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ครบจำนวนครั้งที่กำหนดคือเท่ากับ 5 ครั้ง พบว่า ไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่ดีกว่าสตริงคำตอบเดิม จึงได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดดังตารางที่ 8.117

ตารางที่ 8.117สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบที่	Task Sequence
1	[1 2 3 5 8 6 4 7 9 11 10 12]
2	[3 1 4 6 2 5 9 7 8 10 11 12]
3	[1 4 2 3 6 5 8 7 9 10 11 12]
4	[1 3 2 4 5 8 6 7 9 10 11 12]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.7 กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว ดังนี้

8.7.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนประชากรเบื้องต้น หมายถึง จำนวนสตริงคำตอบทั้งหมดที่อยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน ซึ่งหากกำหนดจำนวนประชากรที่มีจำนวนน้อยเกินไปคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสม และถ้ามีมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการค้นหาคำตอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2008) โดยจำนวนประชากรเบื้องต้นที่ใช้ของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคได้แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ จำนวนฝูง (Number of Swarms) เป็นจำนวนฝูงซึ่งเป็นกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบ จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) เป็นจำนวนอนุภาคหรือจำนวนสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ จำนวนฝูงเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงเท่ากับ 10 ดังที่ได้ทำการทดสอบในบทที่ 7

8.7.2 น้ำหนักการหน่วง

น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight) เป็นค่าที่ใช้กำหนดน้ำหนักความสำคัญในการจดจำคำตอบจากประสบการณ์ที่ผ่านมา ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้เท่ากับ 1 (Liao et al., 2007 ; Tseng and Liao, 2008)

8.7.3 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor) เป็นค่าที่ใช้กำหนดน้ำหนักความสำคัญในการจดจำคำตอบจากประสบการณ์ของฝูง และประสบการณ์ของอนุภาคทั้งหมดตามลำดับ ซึ่งในงานวิจัยได้กำหนดให้เท่ากับ 0.1 เช่นเดียวกับในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในบทที่ 7

8.7.4 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto Based Approach) เป็นวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับคำตอบ ซึ่งมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้จะขอเลือกใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989)

8.7.5 วิธีการค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ จะมีการประยุกต์ใช้ใน 2 ขั้นตอน คือ การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น และการค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการ ซึ่งการค้นหาเฉพาะที่ของวิธีนี้จะเลือกใช้การค้นหาเฉพาะที่แบบ 2-Opt เนื่องจากเป็นวิธีที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย และมีประสิทธิภาพ (Kumar and Singh, 2007)

8.7.6 ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่

ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ เป็นรอบที่จะทำการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ในงานวิจัยนี้จึงกำหนดให้มีการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นในทุกๆ 10% ของจำนวนเจนเนอเรชันในแต่ละปัญหา เพื่อเป็นการประหยัดเวลาในการหาคำตอบ

8.7.7 จำนวนครั้งในการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำในแต่ละรอบ

จำนวนครั้งในการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำในแต่ละรอบในงานวิจัยได้กำหนดให้เท่ากับ 5 ครั้ง โดยในส่วนของการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นจะทำการค้นหาเฉพาะที่จำนวน 5 ครั้ง เพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลาย ส่วนการค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการจะทำการค้นหาเฉพาะที่เพื่อทำการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น จนกว่าจะได้คำตอบเดิมจำนวน 5 ครั้งติดต่อกัน จึงจะหยุดกระบวนการค้นหาเฉพาะที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.8 สรุปท้ายบท

เนื้อหาในบทนี้ได้กล่าวถึงอัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งได้พัฒนามาจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (PSO) ร่วมกับการใช้หลักความน่าจะเป็นในการคัดเลือกคำตอบเช่นเดียวกับอัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN) โดยจะทำการหาตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของแต่ละฝูง รวมถึงการหาตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดของประชากร ซึ่งเรียกตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Best Solution : Lbest) และตำแหน่งของคำตอบที่แย่ที่สุดของแต่ละฝูงเรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Worst Solution : Lworst) รวมถึงตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Best Solution : Gbest) และตำแหน่งของคำตอบที่แย่ที่สุดของประชากรจะเรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งคำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับอัลกอริทึมการบรรจวบ จึงได้มีการพัฒนาโดยการประยุกต์ใช้ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการค้นหาคำตอบของปัญหาที่มีโครงสร้างการคำนวณเช่นเดียวกับวิธี PSONK โดยได้เพิ่มการค้นหาเฉพาะที่เข้าไปหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นและหลังการสิ้นสุดกระบวนการ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 9

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม แบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์

บทนี้จะเสนอผลการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้การจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์ของปัญหาการทดลองที่ใช้ทั้งหมด 5 ปัญหา ประกอบด้วยวิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ เพื่อตรวจสอบว่าวิธีการค้นหาคำตอบวิธีใดที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด

9.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

การค้นหาคำตอบด้วยวิธีการต่างๆ จำเป็นต้องมีพารามิเตอร์เข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละวิธีการในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ที่มีหลายวัตถุประสงค์ มีทั้งที่เหมือนกันและแตกต่างกันออกไป โดยได้ทำการทดสอบเพื่อหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งได้กล่าวมาแล้วในบทก่อนหน้า โดยในการค้นหาค่าที่เหมาะสมของแต่ละอัลกอริทึมจะทำการทดลองด้วยปัญหา และจำนวนเจนเนอเรชันที่เหมือนกัน ดังนี้

9.1.1 ปัญหาในงานวิจัย

ในงานวิจัยได้ทำการทดลองโดยใช้ปัญหาที่แตกต่างกันทั้งหมด 5 ปัญหา ดังนี้

ตารางที่ 9.1 รายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัย

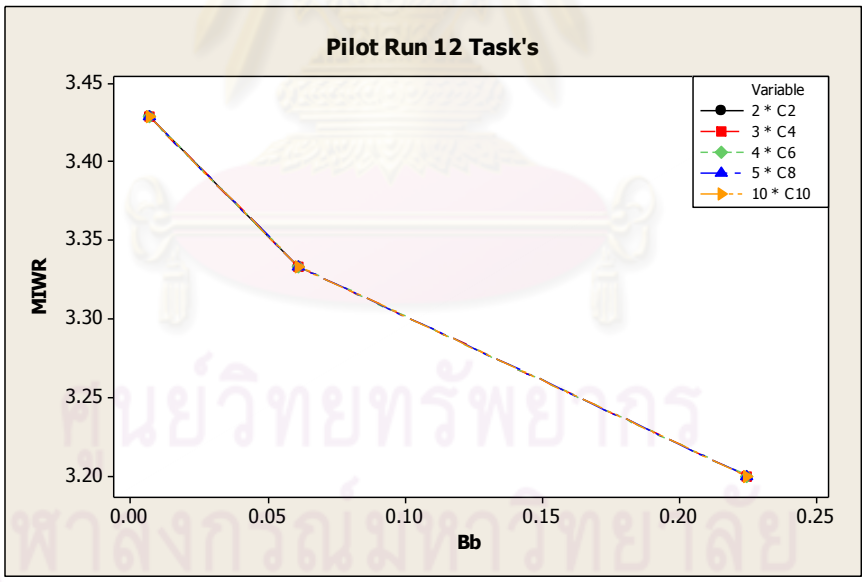
ปัญหา	ความสัมพันธ์ก่อน-หลัง	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชนิด)	จำนวนงาน	รอบเวลาการทำงาน (นาที)
1	Kim et al. (2000)	2	12	5, 7, 8
2	Lee et al. (2001)	3	65	326, 490, 544
3	Bartholdi (1993)	4	148	204, 306, 408
4	Lee et al. (2001)	4	205	1888, 2266, 2454
5	Case study	2	183	22

9.1.2 จำนวนเจนเนอเรชัน

จำนวนเจนเนอเรชัน คือ จำนวนรอบในการทำงานตั้งแต่เริ่มต้นกระบวนการจนสิ้นสุดกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสม ซึ่งถ้าหากกำหนดจำนวนเจนเนอเรชันน้อยเกินไป จะทำให้คำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด และถ้าหากกำหนดจำนวนเจนเนอเรชันมากเกินไป จะทำให้สูญเสียเวลาในการคำนวณโดยไม่จำเป็น

ในงานวิจัยนี้จึงได้ทำการทดลองเพื่อหาจำนวนเจนเนอเรชันที่เหมาะสมของแต่ละปัญหาการทดลอง โดยกำหนดให้มีจำนวนในการทดลองเท่ากับ 1000 รอบ เพื่อทำการค้นหาจำนวนรอบที่ให้ค่าที่เหมาะสมที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 ของงานวิจัยคือ จำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ที่ทำให้ได้คำตอบที่ซ้ำเดิมจำนวน 100 รอบ ซึ่งพารามิเตอร์อื่นๆ ที่ใช้ในการทดลองจะได้มาจากการสุ่ม โดยมีผลการทดลองหาจำนวนเจนเนอเรชันของปัญหาทั้ง 5 ปัญหา ดังนี้

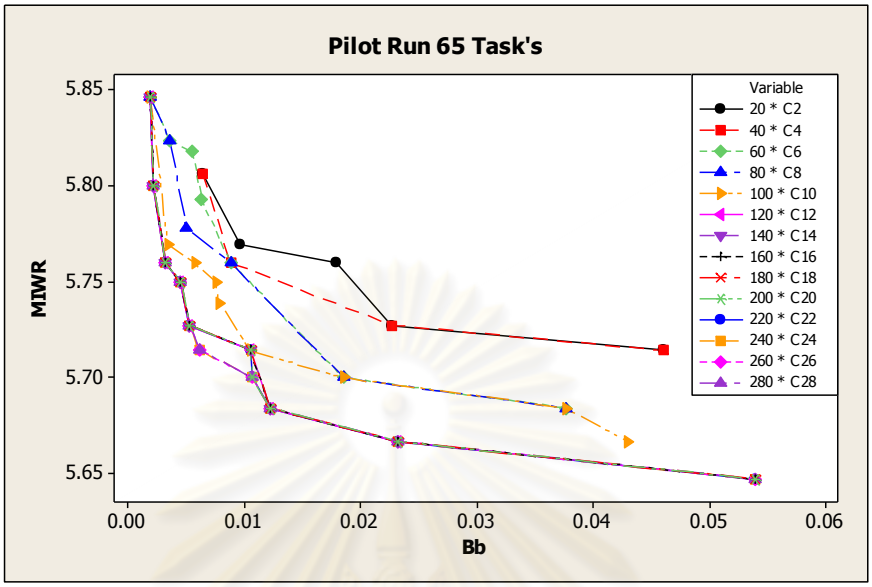
9.1.2.1 ปัญหา 12 ขั้นงาน



รูปที่ 9.1 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 12 ขั้นงาน

จากรูปที่ 9.1 พบว่า ที่ปัญหา 12 ขั้นงาน จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีคำตอบซ้ำเดิมที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 3 ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัญหา 12 ขั้นงานมีจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเท่ากับ 10 เจนเนอเรชัน

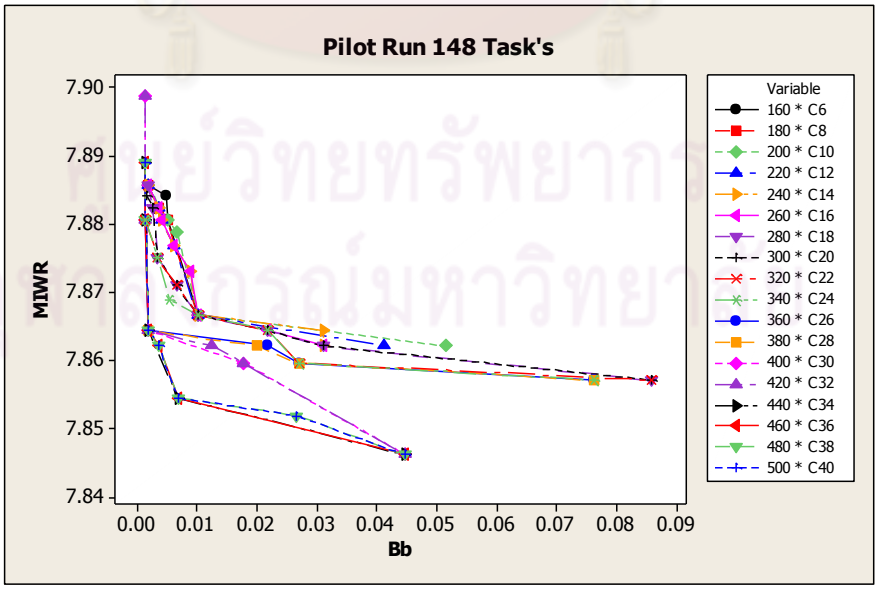
9.1.2.2 ปัญหา 65 ขั้นงาน



รูปที่ 9.2 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 65 ขั้นงาน

จากรูปที่ 9.2 พบว่า ที่ปัญหา 65 ขั้นงาน จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีคำตอบซ้ำเดิมที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 240 ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัญหา 65 ขั้นงานมีจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเท่ากับ 250 เจนเนอเรชัน

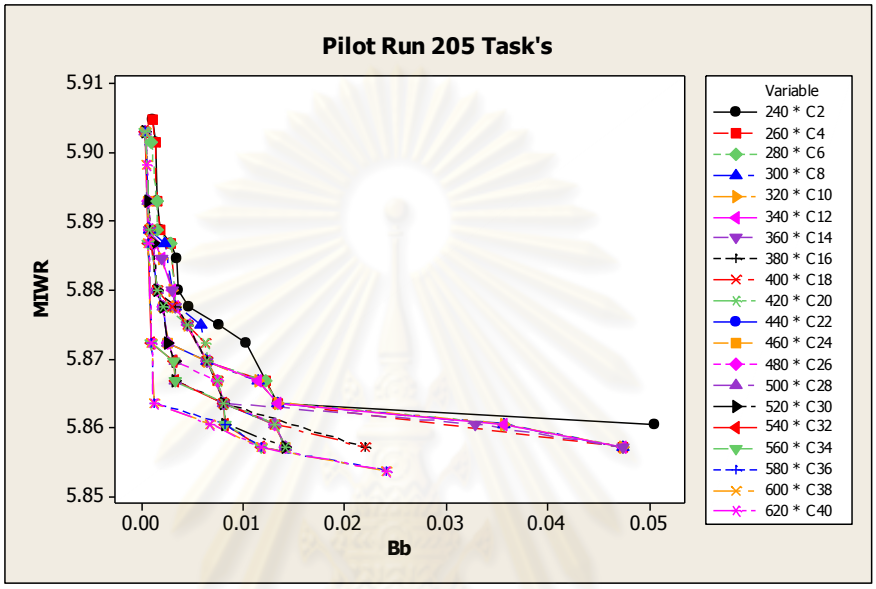
9.1.2.3 ปัญหา 148 ขั้นงาน



รูปที่ 9.3 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 148 ขั้นงาน

จากรูปที่ 9.3 พบว่า ที่ปัญหา 148 ขั้นงาน จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีคำตอบซ้ำเดิมที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 480 ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัญหา 148 ขั้นงานมีจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

9.1.2.4 ปัญหา 205 ขั้นงาน

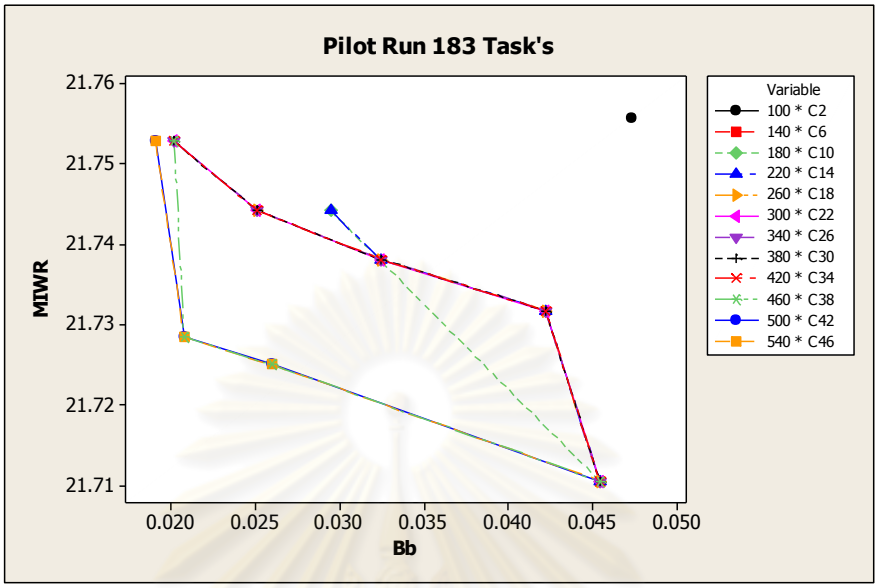


รูปที่ 9.4 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 205 ขั้นงาน

จากรูปที่ 9.4 พบว่า ที่ปัญหา 205 ขั้นงาน จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีคำตอบซ้ำเดิมที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 600 ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัญหา 205 ขั้นงานมีจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเท่ากับ 600 เจนเนอเรชัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.1.2.5 ปัญหา 183 ขั้นงาน



รูปที่ 9.5 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 183 ขั้นงาน

จากรูปที่ 9.5 พบว่า ที่ปัญหา 183 ขั้นงาน จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีคำตอบซ้ำเดิมที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 480 ดังนั้นจึงกำหนดให้ปัญหา 183 ขั้นงานมีจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการค้นหาคำตอบเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

จากการทดลองเพื่อหาจำนวนเจนเนอเรชันในแต่ละปัญหาการทดลองสามารถสรุปได้ดังตารางที่ 9.2

ตารางที่ 9.2 ผลการวิเคราะห์จำนวนเจนเนอเรชัน

ปัญหา	ความสัมพันธ์ก่อน-หลัง	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชนิด)	จำนวนงาน	จำนวนเจนเนอเรชัน
1	Kim et al. (2000)	2	12	10
2	Lee et al. (2001)	3	65	250
3	Bartholdi (1993)	4	148	500
4	Lee et al. (2001)	4	205	600
5	Case study	2	183	500

9.2 การค้นหาคำตอบของปัญหา 12 ขั้นงาน

9.2.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

9.2.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.3 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.4 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.5 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.6 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงาน เท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.7 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงาน เท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.8 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงาน เท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

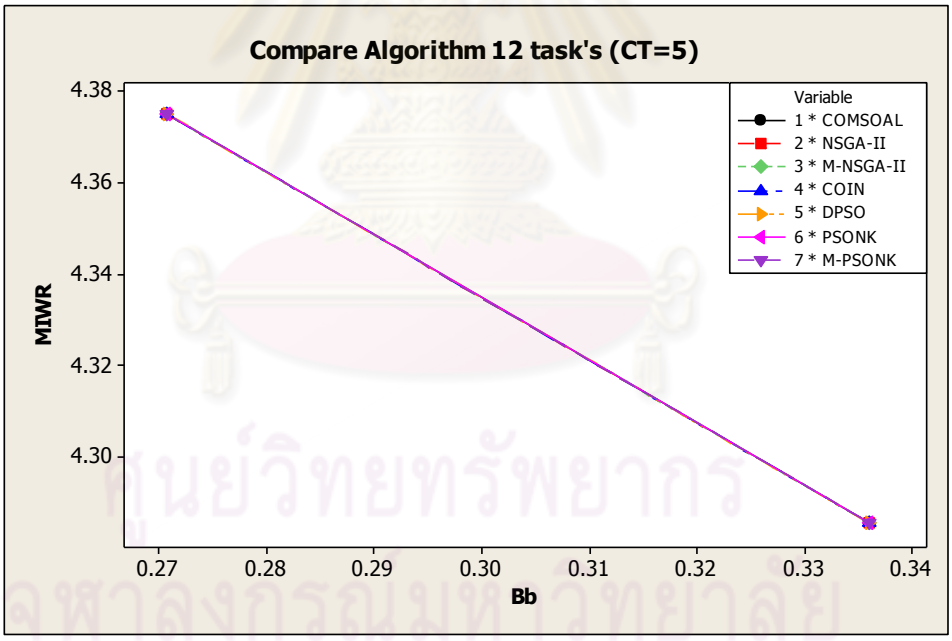
9.2.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.9 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

9.2.1.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.6 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.10



รูปที่ 9.6 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ตารางที่ 9.10 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	5	4.2857	0.3359
3	5	4.3750	0.2707

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.11

ตารางที่ 9.11 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.0000	0.7500	1.0000	109
NSGA-II	0.0000	0.7500	1.0000	164
M-NSGA-II	0.0000	0.7500	1.0000	197
COIN	0.0000	0.7500	1.0000	35
DPSO	0.0000	0.7500	1.0000	81
PSONK	0.0000	0.7500	1.0000	69
M-PSONK	0.0000	0.7500	1.0000	237

จากตารางที่ 9.11 พบว่าทั้ง 7 อัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) เท่ากัน เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดเล็ก กลุ่มคำตอบที่ได้จึงมีค่าเท่ากัน จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมใดมีประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณา

ด้านเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) พบว่า วิธีอัลกอริทึมการบรรจวบใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

9.2.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

9.2.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.12 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

9.2.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.13 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

9.2.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.14 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.2.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.15 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

9.2.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.16 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

9.2.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.17 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

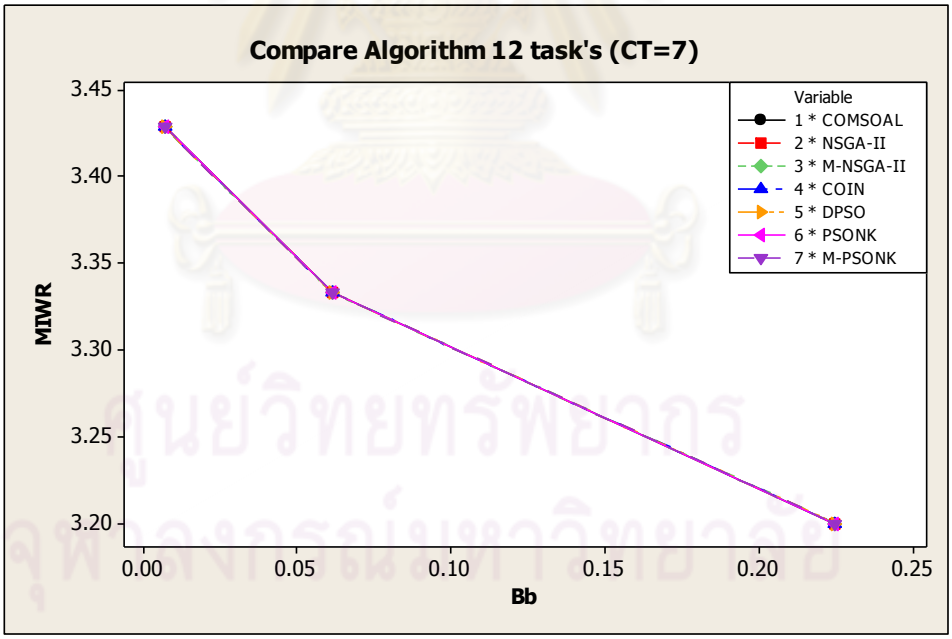
9.2.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.18 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

9.2.2.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.7 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.19



รูปที่ 9.7 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ตารางที่ 9.19 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.2245
2	4	3.3333	0.0612
2	4	3.4286	0.0068

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.20

ตารางที่ 9.20 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.0000	0.6616	1.0000	120
NSGA-II	0.0000	0.6616	1.0000	151
M-NSGA-II	0.0000	0.6616	1.0000	220
COIN	0.0000	0.6616	1.0000	29
DPSO	0.0000	0.6616	1.0000	75
PSONK	0.0000	0.6616	1.0000	68
M-PSONK	0.0000	0.6616	1.0000	230

จากตารางที่ 9.20 พบว่าทั้ง 7 อัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) เท่ากัน เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดเล็ก กลุ่ม

คำตอบที่ได้จึงมีค่าเท่ากัน จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมใดมีประสิทธิภาพ และเมื่อพิจารณาด้านเวลาในการคำนวณ พบว่า วิธีอัลกอริทึมการบรรจวบใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

9.2.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

9.2.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.21 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0358
2	4	3.5000	0.0028

9.2.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.22 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.2.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.23 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

9.2.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.24 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

9.2.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.25 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0358
2	4	3.5000	0.0028

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.2.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.26 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

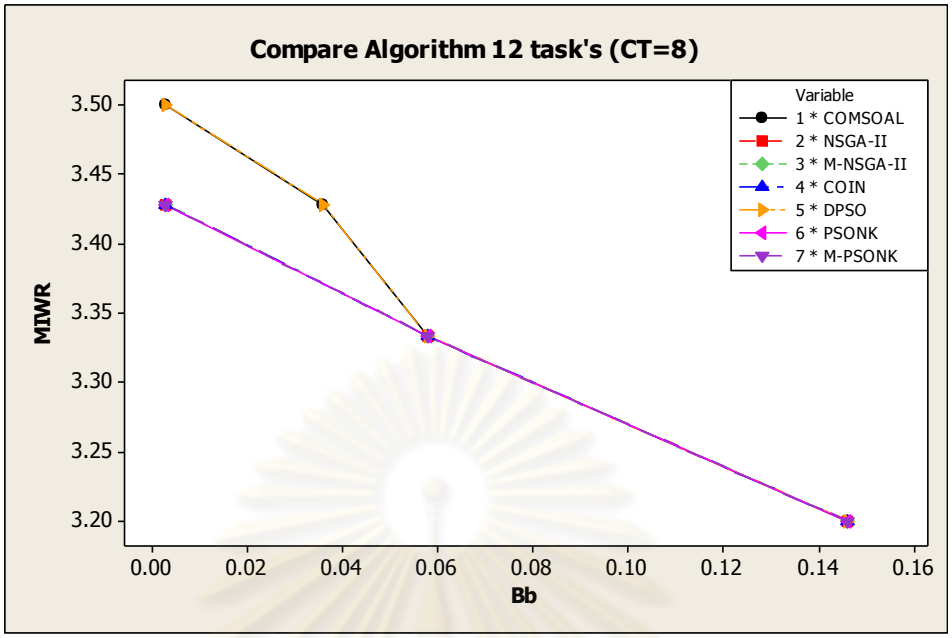
9.2.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.27 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

9.2.3.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.8 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.28



รูปที่ 9.8 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ตารางที่ 9.28 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
2	4	3.2000	0.1460
2	4	3.3333	0.0579
2	4	3.4286	0.0028

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.29

ตารางที่ 9.29 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.0768	0.6496	0.5000	113
NSGA-II	0.0000	0.5991	1.0000	132
M-NSGA-II	0.0000	0.5991	1.0000	176
COIN	0.0000	0.5991	1.0000	24
DPSO	0.0768	0.6496	0.5000	72
PSONK	0.0000	0.5991	1.0000	63
M-PSONK	0.0000	0.5991	1.0000	216

จากตารางที่ 9.29 พบว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด เนื่องจากเป็นปัญหาขนาดเล็ก จึงยังไม่สามารถสรุปได้ว่าอัลกอริทึมได้มีประสิทธิภาพที่สุด และเมื่อพิจารณาด้านเวลาในการคำนวณ พบว่า วิธีอัลกอริทึมการบรรจบใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.3 การค้นหาคำตอบของปัญหา 65 ขั้นงาน

9.3.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

9.3.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.30 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.7222	0.1245
5	10	9.7297	0.0648
5	10	9.7436	0.0594
5	10	9.7500	0.0436

9.3.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.31 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.6552	0.0301
5	10	9.6667	0.0212
5	10	9.6774	0.0170
5	10	9.6875	0.0108
5	10	9.7297	0.0102
5	10	9.7500	0.0096

9.3.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.32 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.5833	0.0092
5	10	9.6000	0.0055
5	10	9.6154	0.0036
5	10	9.6296	0.0031
5	10	9.6429	0.0028
5	10	9.6552	0.0024
5	10	9.6667	0.0021
5	10	9.6774	0.0020

9.3.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.33 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	9	8.7097	0.3792
5	9	8.7568	0.2574
5	9	8.7632	0.2562

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.3.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.34 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	9	8.7188	0.3795
5	9	8.7353	0.3711
5	9	8.7692	0.3692

9.3.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.35 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	9	8.7273	0.3769
5	9	8.7353	0.2603

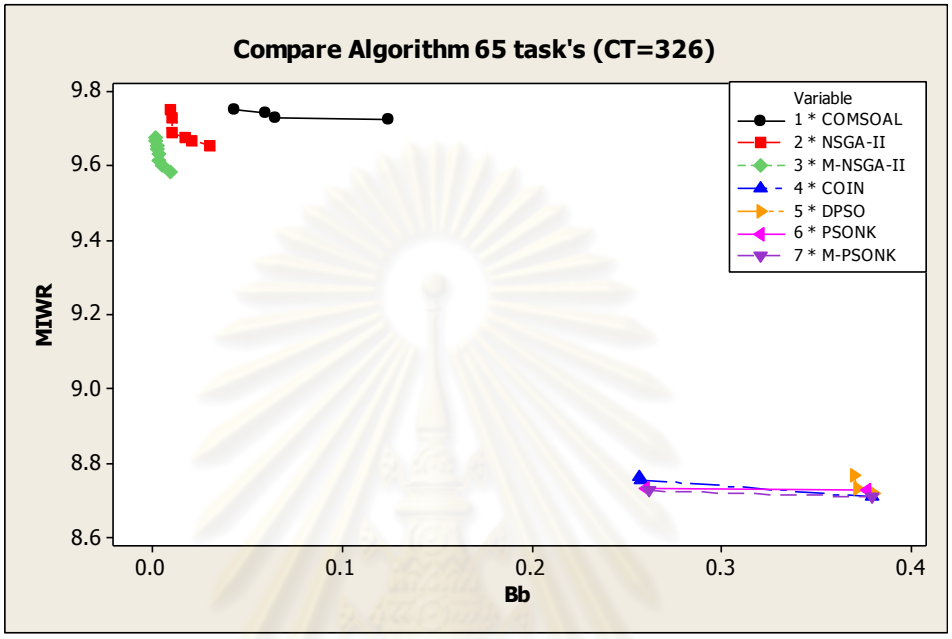
9.3.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.36 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

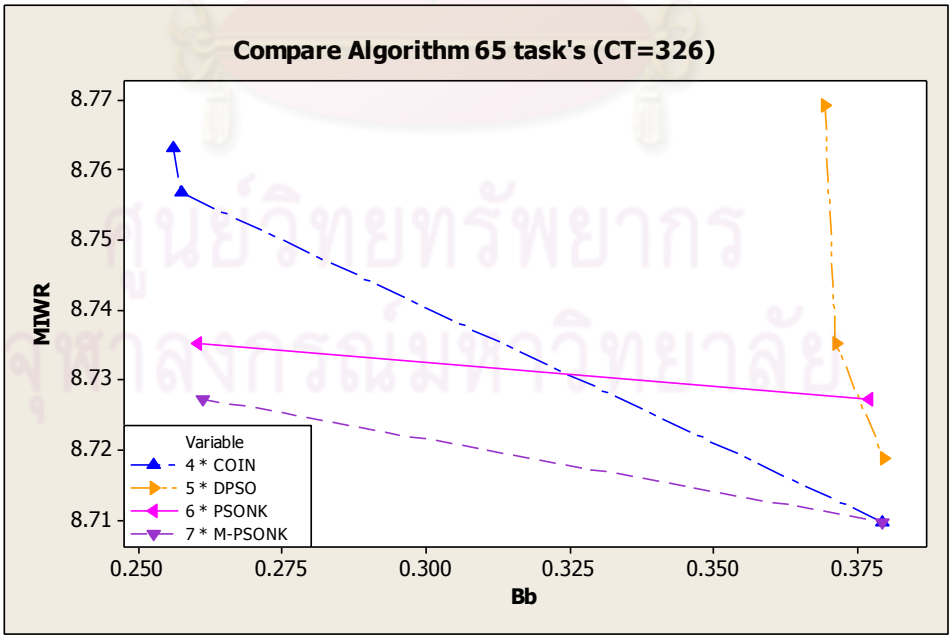
จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	9	8.7097	0.3792
5	9	8.7273	0.2613

9.3.1.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.9 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.37



รูปที่ 9.9 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326



รูปที่ 9.10 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 4 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 9 สถานีงาน

ตารางที่ 9.37 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	9	8.7097	0.3792
5	9	8.7273	0.2613
5	9	8.7353	0.2603
5	9	8.7568	0.2574
5	9	8.7632	0.2562

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ตารางที่ 9.38

ตารางที่ 9.38 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	-	-	-	7,761
NSGA-II	-	-	-	21,213
M-NSGA-II	-	-	-	39,752
COIN	0.1910	0.9169	1.0000	636
DPSO	0.7609	0.5575	0.0000	3,706
PSONK	0.2809	0.7500	0.5000	1,053
M-PSONK	0.2749	0.7500	1.0000	3,604

จากรูปที่ 9.9 และรูปที่ 9.10 พบว่าอัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ สามารถลดจำนวน

สถานีงานได้ 1 สถานีงาน จาก 10 สถานีงาน เป็น 9 สถานีงาน ซึ่งให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

จากตารางที่ 9.38 เมื่อพิจารณาที่จำนวนสถานีงานเท่ากับ 9 สถานีงาน พบว่า อัลกอริทึมการบรรจวบให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) ดีที่สุด วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด และอัลกอริทึมการบรรจวบและวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาด้านเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) พบว่า วิธีอัลกอริทึมการบรรจวบใช้เวลาน้อยที่สุด

9.3.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

9.3.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.39 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7600	0.1969
3	6	5.7692	0.1322
3	6	5.7857	0.0520
3	6	5.8000	0.0291
3	6	5.8333	0.0252
3	6	5.8537	0.0207

9.3.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.40 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7391	0.0444
3	6	5.7500	0.0328
3	6	5.7600	0.0179
3	6	5.7692	0.0076
3	6	5.7857	0.0040
3	6	5.7931	0.0028
3	6	5.8235	0.0026

9.3.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.41 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6842	0.1389
3	6	5.7000	0.0433
3	6	5.7143	0.0359
3	6	5.7273	0.0236
3	6	5.7391	0.0146
3	6	5.7600	0.0103
3	6	5.7692	0.0043
3	6	5.8065	0.0018

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.3.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.42 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6471	0.0905
3	6	5.6667	0.0376
3	6	5.6842	0.0140
3	6	5.7000	0.0085
3	6	5.7143	0.0072
3	6	5.7273	0.0045
3	6	5.7391	0.0043
3	6	5.7600	0.0031

9.3.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.43 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7143	0.1446
3	6	5.7391	0.0554
3	6	5.7500	0.0109
3	6	5.7778	0.0075
3	6	5.7931	0.0029

9.3.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.44 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6471	0.0374
3	6	5.6667	0.0200
3	6	5.6842	0.0073
3	6	5.7143	0.0061
3	6	5.7273	0.0043
3	6	5.7391	0.0029
3	6	5.7500	0.0024
3	6	5.7600	0.0021
3	6	5.7692	0.0011

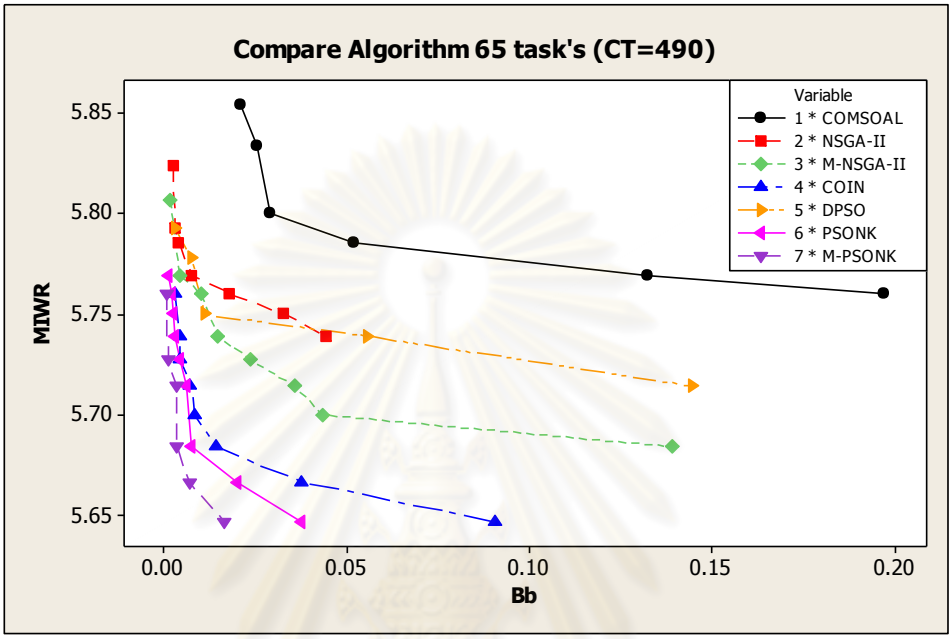
9.3.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.45 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6471	0.0166
3	6	5.6667	0.0068
3	6	5.6842	0.0035
3	6	5.7143	0.0032
3	6	5.7273	0.0010
3	6	5.7600	0.0008

9.3.2.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.11 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.46



รูปที่ 9.11 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ตารางที่ 9.46 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6471	0.0166
3	6	5.6667	0.0068
3	6	5.6842	0.0035
3	6	5.7143	0.0032
3	6	5.7273	0.0010
3	6	5.7600	0.0008

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การ

ลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.47

ตารางที่ 9.47 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.4854	0.4793	0.0000	8,195
NSGA-II	0.4142	0.4961	0.0000	19,770
M-NSGA-II	0.2295	0.7834	0.0000	41,388
COIN	0.1154	0.7214	0.0000	582
DPSO	0.3715	0.6043	0.0000	3,084
PSONK	0.1064	0.7505	0.0000	1,579
M-PSONK	0.0000	0.6077	1.0000	3,809

จากตารางที่ 9.47 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธี COMSOAL ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธี COMSOAL ตามลำดับ

9.3.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

9.3.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.48 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7273	0.1228
3	6	5.7600	0.0832
3	6	5.7692	0.0685
3	6	5.7778	0.0405
3	6	5.8000	0.0311
3	6	5.8421	0.0297

9.3.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.49 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7000	0.0973
3	6	5.7143	0.0972
3	6	5.7273	0.0345
3	6	5.7500	0.0326
3	6	5.7600	0.0148
3	6	5.7692	0.0103
3	6	5.7931	0.0079
3	6	5.8000	0.0018

9.3.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.50 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6842	0.0261
3	6	5.7000	0.0163
3	6	5.7273	0.0138
3	6	5.7391	0.0101
3	6	5.7500	0.0051
3	6	5.7600	0.0038
3	6	5.7778	0.0034

9.3.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.51 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6842	0.0279
3	6	5.7000	0.0120
3	6	5.7143	0.0106
3	6	5.7273	0.0102
3	6	5.7391	0.0097
3	6	5.7500	0.0092
3	6	5.7600	0.0073
3	6	5.7692	0.0063
3	6	5.7778	0.0041
3	6	5.8182	0.0036

9.3.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.52 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.7000	0.0947
3	6	5.7273	0.0386
3	6	5.7500	0.0219
3	6	5.7600	0.0173
3	6	5.7692	0.0156
3	6	5.7778	0.0083
3	6	5.8125	0.0031
3	6	5.8286	0.0013

9.3.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.53 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6667	0.0448
3	6	5.6842	0.0206
3	6	5.7000	0.0140
3	6	5.7143	0.0104
3	6	5.7273	0.0094
3	6	5.7391	0.0041
3	6	5.7857	0.0024
3	6	5.7931	0.0010

9.3.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

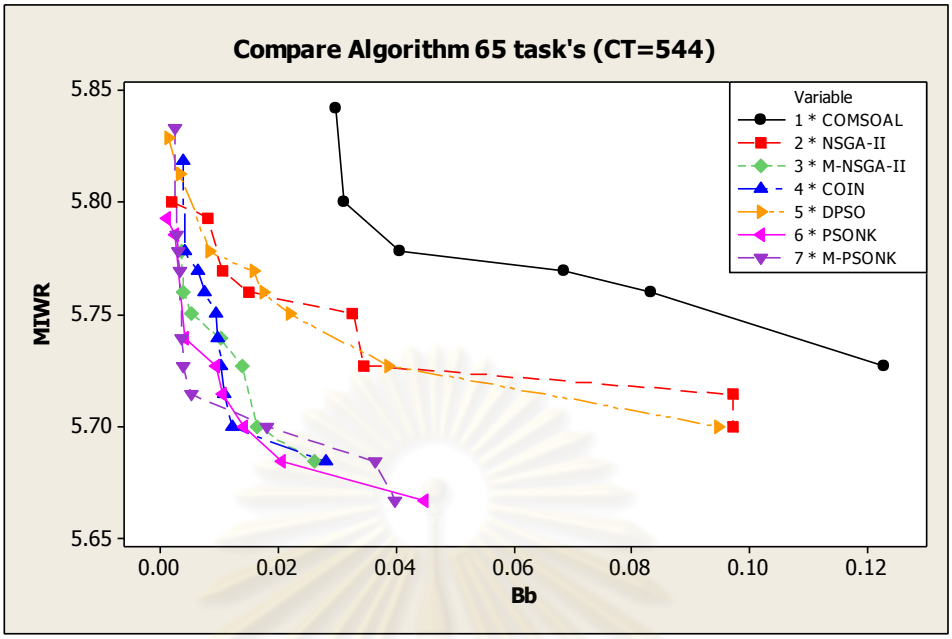
ตารางที่ 9.54 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6667	0.0398
3	6	5.6842	0.0363
3	6	5.7000	0.0181
3	6	5.7143	0.0051
3	6	5.7273	0.0038
3	6	5.7391	0.0034
3	6	5.7692	0.0032
3	6	5.7778	0.0028
3	6	5.7857	0.0026
3	6	5.8333	0.0022

9.3.3.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.12 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.55

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.12 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ตารางที่ 9.55 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.6667	0.0398
3	6	5.6842	0.0206
3	6	5.7000	0.0120
3	6	5.7143	0.0051
3	6	5.7273	0.0038
3	6	5.7391	0.0034
3	6	5.7692	0.0032
3	6	5.7778	0.0028
3	6	5.7857	0.0024
3	6	5.7931	0.0010

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.56

ตารางที่ 9.56 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 65 อัลกอริทึม ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.4000	0.5560	0.0000	8,095
NSGA-II	0.2217	0.5673	0.0000	20,459
M-NSGA-II	0.1433	0.5355	0.0000	38,759
COIN	0.1277	0.8234	0.1000	621
DPSO	0.2085	0.7555	0.0000	2,672
PSONK	0.0585	0.7162	0.3750	2,002
M-PSONK	0.0338	0.7263	0.6000	4,852

จากตารางที่ 9.56 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีเมมเมติก อัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธี COMSOAL ตามลำดับ

9.4 การค้นหาคำตอบของปัญหา 148 ขั้นงาน

9.4.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

9.4.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.57 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
8	16	15.8025	0.0401
8	16	15.8182	0.0264
8	16	15.8431	0.0256

9.4.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.58 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
8	16	15.7778	0.0275
8	16	15.7895	0.0157
8	16	15.8000	0.0147
8	16	15.8118	0.0131

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.4.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.59 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
8	16	15.7091	0.0188
8	16	15.7143	0.0131
8	16	15.7241	0.0112
8	16	15.7288	0.0093
8	16	15.7333	0.0078
8	16	15.7377	0.0065
8	16	15.7419	0.0053
8	16	15.7460	0.0048
8	16	15.7500	0.0047
8	16	15.7538	0.0045
8	16	15.7612	0.0044
8	16	15.7681	0.0041

9.4.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.60 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
7	14	13.8158	0.0890
7	14	13.8409	0.0606

9.4.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.61 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
8	16	15.7500	0.0339
8	16	15.7778	0.0317
8	16	15.7867	0.0279
8	16	15.7949	0.0205
8	16	15.8025	0.0154
8	16	15.8049	0.0149
8	16	15.8161	0.0149
8	16	15.8222	0.0116
8	16	15.8261	0.0107

9.4.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.62 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
7	14	13.8028	0.0612
7	14	13.8228	0.0481
7	14	13.8333	0.0453

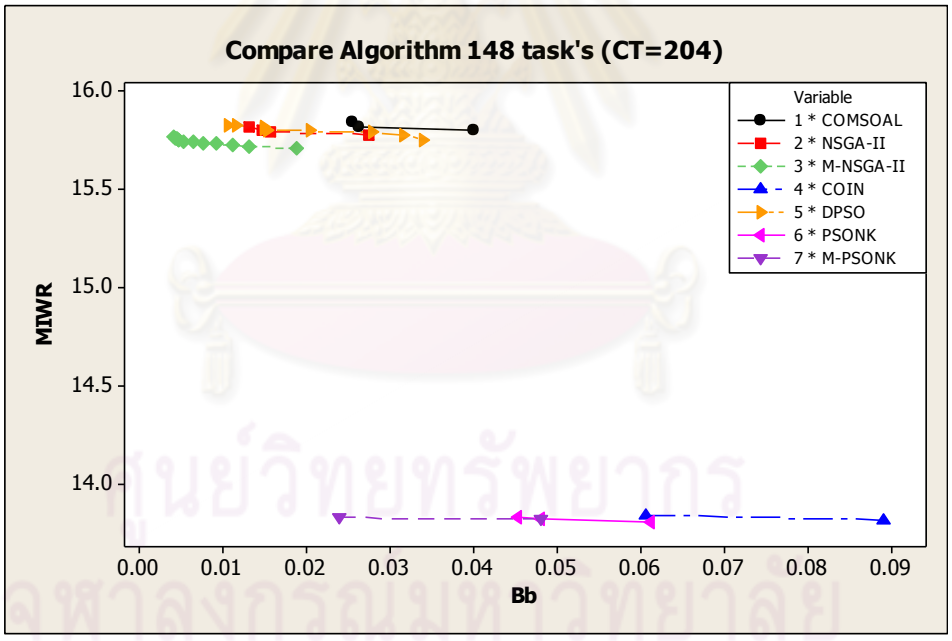
9.4.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.63 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

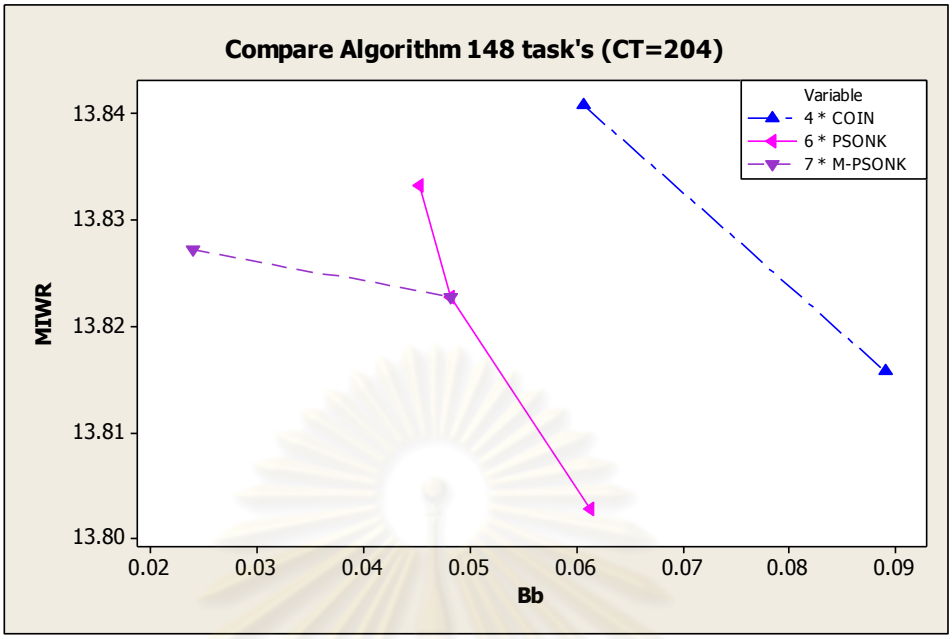
จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
7	14	13.8228	0.0481
7	14	13.8272	0.0240

9.4.1.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.13 และรูปที่ 9.14 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.64



รูปที่ 9.13 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204



รูปที่ 9.14 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 14 สถานีงาน

ตารางที่ 9.64 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
7	14	13.8028	0.0612
7	14	13.8228	0.0481
7	14	13.8272	0.0240

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.65

ตารางที่ 9.65 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	-	-	-	9,578
NSGA-II	-	-	-	30,934
M-NSGA-II	-	-	-	65,961
COIN	0.5759	0.7500	0.0000	2,275
DPSO	-	-	-	11,359
PSONK	0.2022	0.7314	0.6667	4,034
M-PSONK	0.2974	0.7500	1.0000	10,081

จากรูปที่ 9.13 และรูปที่ 9.14 พบว่า อัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ สามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 2 สถานีงาน จาก 16 สถานีงาน เหลือเพียง 14 สถานีงาน

จากตารางที่ 9.65 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) ดีที่สุด และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด ส่วนวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด สรุปได้ว่าในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ แต่จะเห็นได้ว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบสามารถให้คำตอบที่ดีโดยใช้เวลาที่น้อยกว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

9.4.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

9.4.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.66 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8649	0.0626
5	10	9.8667	0.0315
5	10	9.8810	0.0283

9.4.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.67 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8485	0.0113
5	10	9.8810	0.0097
5	10	9.8851	0.0064

9.4.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.68 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8462	0.0394
5	10	9.8507	0.0191
5	10	9.8551	0.0177
5	10	9.8649	0.0113
5	10	9.8684	0.0098

ตารางที่ 9.68 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8718	0.0095
5	10	9.8734	0.0089
5	10	9.8765	0.0077

9.4.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.69 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8333	0.0615
5	10	9.8361	0.0162
5	10	9.8387	0.0096
5	10	9.8551	0.0079
5	10	9.8571	0.0068
5	10	9.8592	0.0052
5	10	9.8630	0.0028

9.4.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.70 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8630	0.0747
5	10	9.8667	0.0330
5	10	9.8765	0.0134

9.4.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.71 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8305	0.0300
5	10	9.8333	0.0179
5	10	9.8462	0.0082
5	10	9.8485	0.0071
5	10	9.8529	0.0053
5	10	9.8649	0.0042
5	10	9.8750	0.0041

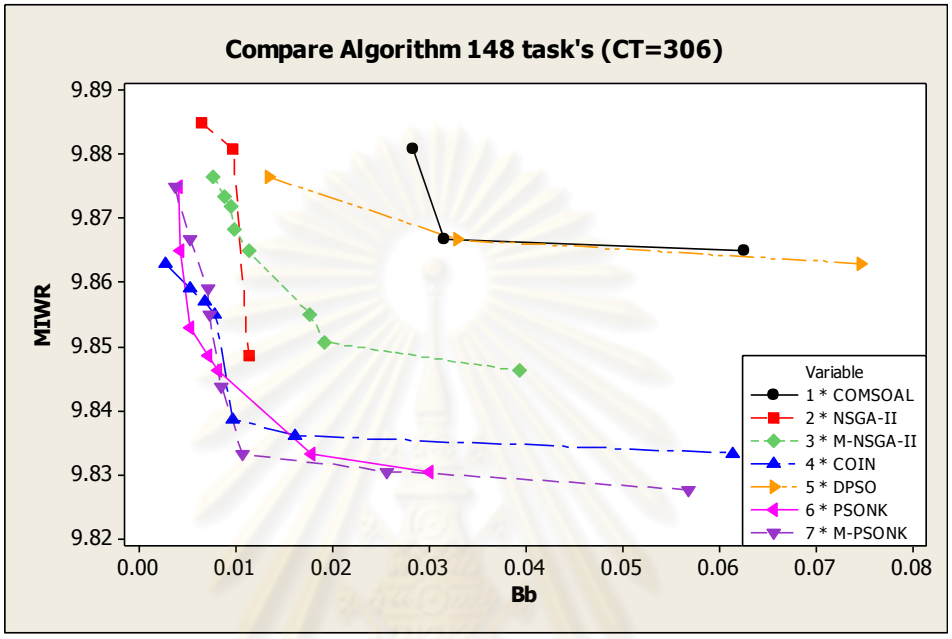
9.4.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.72 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8276	0.0569
5	10	9.8305	0.0256
5	10	9.8333	0.0107
5	10	9.8438	0.0085
5	10	9.8551	0.0073
5	10	9.8592	0.0071
5	10	9.8667	0.0052
5	10	9.8750	0.0037

9.4.2.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.15 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.73



รูปที่ 9.15 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ตารางที่ 9.73 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8276	0.0569
5	10	9.8305	0.0256
5	10	9.8333	0.0107
5	10	9.8387	0.0096
5	10	9.8438	0.0085
5	10	9.8462	0.0082
5	10	9.8485	0.0071
5	10	9.8529	0.0053

ตารางที่ 9.73 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
5	10	9.8592	0.0052
5	10	9.8630	0.0028

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.74

ตารางที่ 9.74 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.5855	0.5057	0.0000	6,978
NSGA-II	0.2659	0.5809	0.0000	38,019
M-NSGA-II	0.2846	0.8194	0.0000	87,446
COIN	0.1149	0.9022	0.4286	2,645
DPSO	0.5724	0.5196	0.0000	12,696
PSONK	0.1096	0.6442	0.4286	4,012
M-PSONK	0.0447	0.5965	0.5000	10,238

จากตารางที่ 9.74 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธี COMSOAL ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูง

อนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ

9.4.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

9.4.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.75 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8873	0.0514
4	8	7.8919	0.0434
4	8	7.8987	0.0271

9.4.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.76 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8730	0.0436
4	8	7.8750	0.0074
4	8	7.8919	0.0037
4	8	7.8933	0.0027

9.4.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.77 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8491	0.0174
4	8	7.8519	0.0125

ตารางที่ 9.77 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8571	0.0070
4	8	7.8621	0.0033
4	8	7.8644	0.0032
4	8	7.871	0.0027
4	8	7.8788	0.0026
4	8	7.8824	0.0015
4	8	7.8857	0.0009

9.4.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.78 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8431	0.0489
4	8	7.8462	0.0452
4	8	7.8491	0.0334
4	8	7.8519	0.0252
4	8	7.8545	0.0245
4	8	7.8571	0.0219
4	8	7.8596	0.0058
4	8	7.8710	0.0045
4	8	7.8730	0.0019
4	8	7.8806	0.0013

9.4.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.79 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8689	0.1052
4	8	7.8730	0.0329
4	8	7.8769	0.0249
4	8	7.8824	0.0241
4	8	7.8841	0.0171
4	8	7.8857	0.0102
4	8	7.8889	0.0073
4	8	7.8961	0.0059

9.4.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.80 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8545	0.0383
4	8	7.8571	0.0286
4	8	7.8596	0.0060
4	8	7.8730	0.0044
4	8	7.8750	0.0041
4	8	7.8769	0.0038
4	8	7.8824	0.0018
4	8	7.8857	0.0017
4	8	7.8919	0.0007

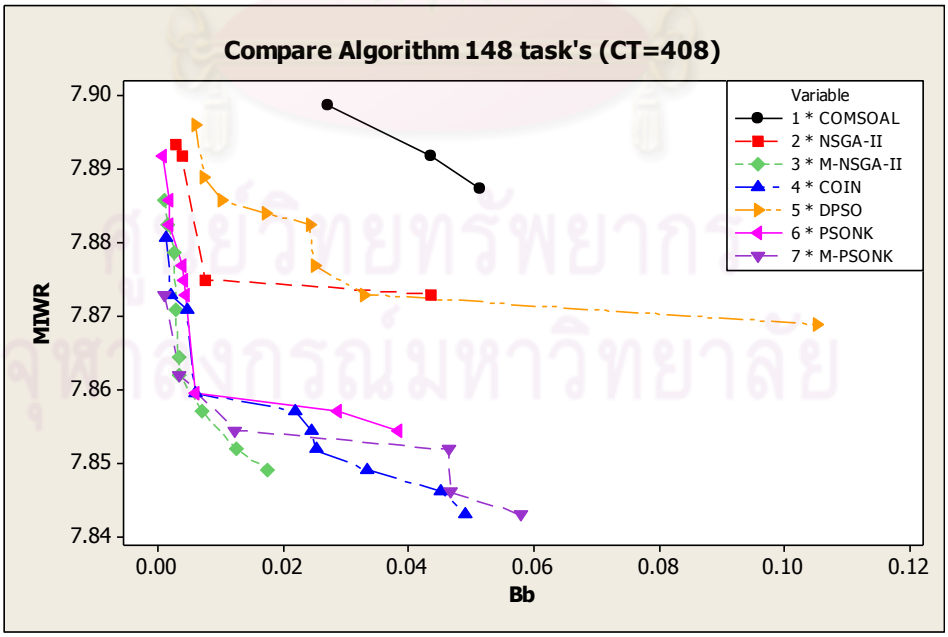
9.4.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.81 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8431	0.0578
4	8	7.8462	0.0466
4	8	7.8519	0.0463
4	8	7.8545	0.0123
4	8	7.8621	0.0034
4	8	7.8730	0.0010

9.4.3.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.16 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.82



รูปที่ 9.16 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ตารางที่ 9.82 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8431	0.0489
4	8	7.8462	0.0452
4	8	7.8491	0.0174
4	8	7.8519	0.0125
4	8	7.8545	0.0123
4	8	7.8571	0.0070
4	8	7.8596	0.0058
4	8	7.8621	0.0033
4	8	7.8644	0.0032
4	8	7.8710	0.0027
4	8	7.8730	0.0010
4	8	7.8857	0.0009
4	8	7.8919	0.0007

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.83

ตารางที่ 9.83 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.7640	0.6328	0.0000	10,210
NSGA-II	0.3235	0.7299	0.0000	38,056
M-NSGA-II	0.1182	0.5404	0.7778	78,438
COIN	0.0913	0.5518	0.3000	2,369
DPSO	0.3451	0.7674	0.0000	10,898
PSONK	0.1226	0.7262	0.1111	4,147
PSONK plus LS	0.0935	0.5218	0.3333	10,595

จากตารางที่ 9.83 พบว่าอัลกอริทึมการบรรจวบ ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) ดีที่สุดและวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.5 การค้นหาคำตอบของปัญหา 205 ขั้นงาน

9.5.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

9.5.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.84 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8644	0.0828
4	8	7.8689	0.0315
4	8	7.8750	0.0249
4	8	7.8769	0.0240
4	8	7.8824	0.0208
4	8	7.8841	0.0147

9.5.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.85 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8431	0.0859
4	8	7.8462	0.0481
4	8	7.8519	0.0356
4	8	7.8545	0.0230
4	8	7.8596	0.0148
4	8	7.8621	0.0135
4	8	7.8644	0.0094
4	8	7.8689	0.0047
4	8	7.8730	0.0044
4	8	7.8750	0.0044

ตารางที่ 9.85 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8769	0.0039
4	8	7.8824	0.0030
4	8	7.8841	0.0015
4	8	7.8974	0.0012

9.5.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.86 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8140	0.0871
4	8	7.8261	0.0704
4	8	7.8298	0.0556
4	8	7.8367	0.0527
4	8	7.8400	0.0513
4	8	7.8431	0.0165
4	8	7.8462	0.0082
4	8	7.8519	0.0074
4	8	7.8545	0.0071
4	8	7.8571	0.0064
4	8	7.8596	0.0053
4	8	7.8621	0.0046
4	8	7.8806	0.0037
4	8	7.8873	0.0030

9.5.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.87 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8182	0.1085
4	8	7.8222	0.0752
4	8	7.8261	0.0751
4	8	7.8298	0.0581
4	8	7.8333	0.0129
4	8	7.8400	0.0127
4	8	7.8431	0.0086
4	8	7.8462	0.0052
4	8	7.8519	0.0049
4	8	7.8545	0.0044
4	8	7.8596	0.0042
4	8	7.8621	0.0038
4	8	7.8667	0.0037
4	8	7.8710	0.0034
4	8	7.8750	0.0031

9.5.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.88 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8261	0.1399
4	8	7.8367	0.0587
4	8	7.8462	0.0510

ตารางที่ 9.88 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8519	0.0362
4	8	7.8571	0.0154
4	8	7.8644	0.0114
4	8	7.8667	0.0109
4	8	7.8689	0.0073
4	8	7.8710	0.0058
4	8	7.8806	0.0046
4	8	7.8824	0.0011

9.5.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.89 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8222	0.0752
4	8	7.8261	0.0428
4	8	7.8298	0.0193
4	8	7.8333	0.0134
4	8	7.8367	0.0111
4	8	7.8400	0.0069
4	8	7.8462	0.0067
4	8	7.8491	0.0058
4	8	7.8519	0.0044
4	8	7.8596	0.0035

9.5.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

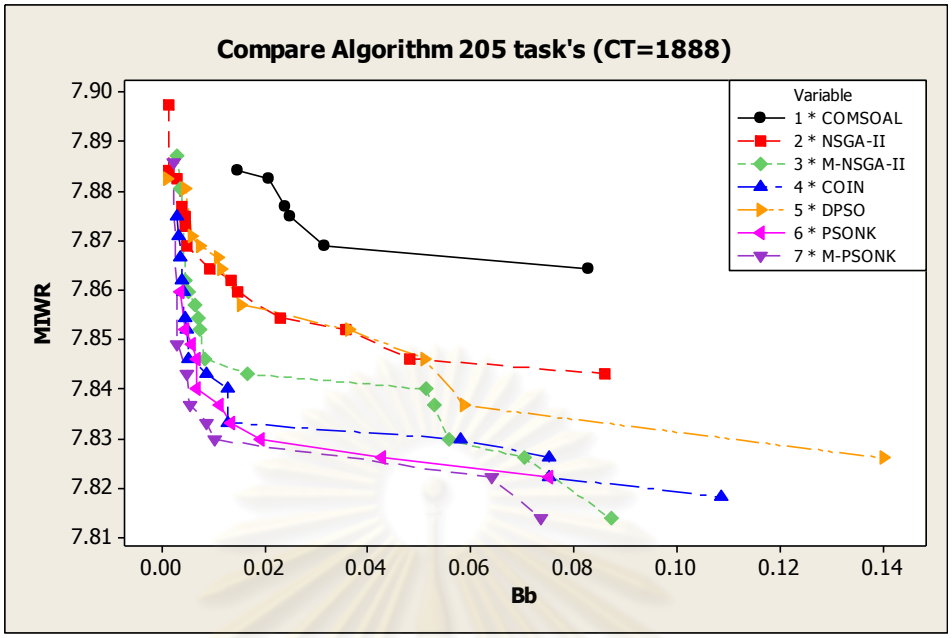
ตารางที่ 9.90 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8140	0.0736
4	8	7.8222	0.0639
4	8	7.8298	0.0104
4	8	7.8333	0.0088
4	8	7.8367	0.0055
4	8	7.8431	0.0047
4	8	7.8491	0.0031
4	8	7.8857	0.0022

9.5.1.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.17 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.91

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 9.17 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ตารางที่ 9.91 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
4	8	7.8140	0.0736
4	8	7.8222	0.0639
4	8	7.8261	0.0428
4	8	7.8298	0.0104
4	8	7.8333	0.0088
4	8	7.8367	0.0055
4	8	7.8431	0.0047
4	8	7.8491	0.0031
4	8	7.8824	0.0011

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การ

ลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.92

ตารางที่ 9.92 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.5400	0.7285	0.0000	12,380
NSGA-II	0.2600	0.7406	0.0000	54,442
M-NSGA-II	0.1174	0.7570	0.0000	120,485
COIN	0.0829	0.6994	0.0000	5,097
DPSO	0.2364	0.7424	0.0909	26,505
PSONK	0.0971	0.6810	0.1000	9,010
M-PSONK	0.0383	0.9169	0.8750	19,121

จากตารางที่ 9.92 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ อัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธี COMSOAL

9.5.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

9.5.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.93 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8947	0.0492
3	6	5.9077	0.0129

9.5.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.94 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8776	0.0398
3	6	5.8824	0.0395
3	6	5.8846	0.0297
3	6	5.8966	0.0268
3	6	5.9063	0.0226

9.5.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.95 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8636	0.0905
3	6	5.8667	0.0540
3	6	5.8696	0.0351
3	6	5.8723	0.0335

ตารางที่ 9.95 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8750	0.0294
3	6	5.8776	0.0132
3	6	5.8800	0.0092
3	6	5.8846	0.0042
3	6	5.8889	0.0019
3	6	5.8909	0.0017

9.5.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.96 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8333	0.0254
3	6	5.8462	0.0187
3	6	5.8500	0.0179
3	6	5.8537	0.0171
3	6	5.8571	0.0138
3	6	5.8605	0.0132
3	6	5.8636	0.0092
3	6	5.8667	0.0064
3	6	5.8750	0.0063
3	6	5.8800	0.0059
3	6	5.8868	0.0054
3	6	5.8909	0.0026
3	6	5.8966	0.0010

9.5.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.97 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8696	0.0971
3	6	5.8750	0.0667
3	6	5.8776	0.0368
3	6	5.8846	0.0279
3	6	5.8868	0.0171
3	6	5.8889	0.0118
3	6	5.9032	0.0081

9.5.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.98 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8378	0.0450
3	6	5.8421	0.0297
3	6	5.8462	0.0295
3	6	5.8500	0.0167
3	6	5.8571	0.0146
3	6	5.8605	0.0099
3	6	5.8636	0.0051
3	6	5.8750	0.0049
3	6	5.8824	0.0044
3	6	5.8889	0.0043

ตารางที่ 9.98 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8929	0.0040
3	6	5.8983	0.0036
3	6	5.9048	0.0019

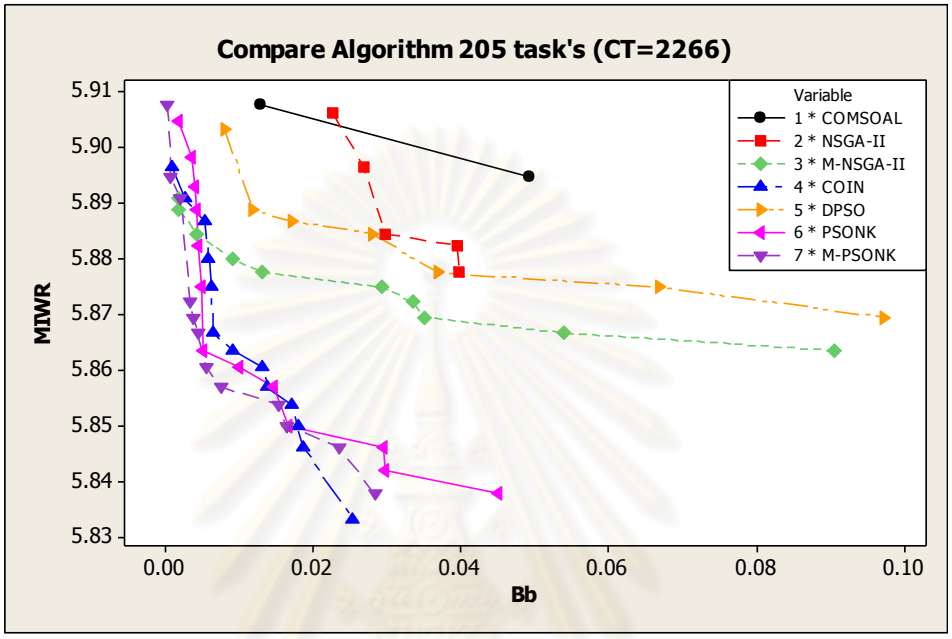
9.5.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.99 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8378	0.0284
3	6	5.8462	0.0236
3	6	5.8500	0.0164
3	6	5.8537	0.0154
3	6	5.8571	0.0075
3	6	5.8605	0.0055
3	6	5.8667	0.0044
3	6	5.8696	0.0037
3	6	5.8723	0.0034
3	6	5.8909	0.0021
3	6	5.8947	0.0008
3	6	5.9077	0.0003

9.5.2.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.18 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.100



รูปที่ 9.18 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ตารางที่ 9.100 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8333	0.0254
3	6	5.8462	0.0187
3	6	5.8500	0.0164
3	6	5.8537	0.0154
3	6	5.8571	0.0075
3	6	5.8605	0.0055
3	6	5.8636	0.0051
3	6	5.8667	0.0044

ตารางที่ 9.100 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8696	0.0037
3	6	5.8723	0.0034
3	6	5.8889	0.0019
3	6	5.8909	0.0017
3	6	5.8947	0.0008
3	6	5.9077	0.0003

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.101

ตารางที่ 9.101 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.5795	0.7500	0.0000	14,893
NSGA-II	0.6270	0.4801	0.0000	51,638
M-NSGA-II	0.2119	0.5662	0.2000	114,607
COIN	0.0686	0.5067	0.1538	4,974
DPSO	0.3043	0.6222	0.0000	23,877
PSONK	0.0572	0.5889	0.0769	9,416
M-PSONK	0.0218	0.6694	0.7500	19,834

จากตารางที่ 9.101 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

(Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธี COMSOAL ตามลำดับ

9.5.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

9.5.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.102 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8889	0.0393
3	6	5.8909	0.0247
3	6	5.8966	0.0190
3	6	5.9016	0.0181
3	6	5.9032	0.0133
3	6	5.9104	0.0093

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.5.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.103 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8696	0.0564
3	6	5.8723	0.0371
3	6	5.8750	0.0235
3	6	5.8776	0.0044
3	6	5.8868	0.0024
3	6	5.8889	0.0013
3	6	5.8966	0.0010
3	6	5.9016	0.0008
3	6	5.9048	0.0006
3	6	5.9118	0.0005

9.5.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.104 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8537	0.0276
3	6	5.8571	0.0199
3	6	5.8636	0.0160
3	6	5.8667	0.0051
3	6	5.8750	0.0015
3	6	5.8824	0.0013
3	6	5.8889	0.0003

9.5.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.105 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8462	0.0122
3	6	5.8571	0.0009
3	6	5.8667	0.0003
3	6	5.8776	0.0002

9.5.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.106 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8667	0.0188
3	6	5.8750	0.0137
3	6	5.8800	0.0069
3	6	5.8868	0.0065
3	6	5.8889	0.0048
3	6	5.8929	0.0026
3	6	5.8947	0.0016
3	6	5.9048	0.0003

9.5.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.107 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8421	0.0285
3	6	5.8462	0.0187
3	6	5.8500	0.0082
3	6	5.8537	0.0064
3	6	5.8571	0.0027
3	6	5.8605	0.0016
3	6	5.8667	0.0004
3	6	5.8723	0.0002

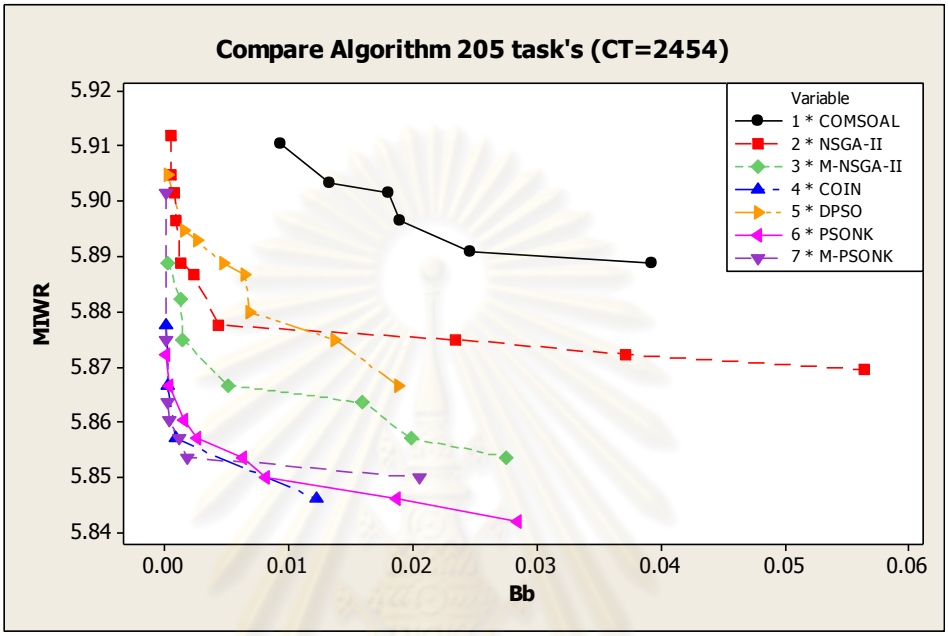
9.5.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 9.108 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8500	0.0206
3	6	5.8537	0.0019
3	6	5.8571	0.0012
3	6	5.8605	0.0004
3	6	5.8636	0.0003
3	6	5.8750	0.0002
3	6	5.9016	0.0001

9.5.3.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.19 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.109



รูปที่ 9.19 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ตารางที่ 9.109 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
3	6	5.8421	0.0285
3	6	5.8462	0.0122
3	6	5.8500	0.0082
3	6	5.8537	0.0019
3	6	5.8571	0.0009
3	6	5.8605	0.0004
3	6	5.8636	0.0003
3	6	5.8723	0.0002
3	6	5.9016	0.0001

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.110

ตารางที่ 9.110 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	0.6545	0.5343	0.0000	14,940
NSGA-II	0.2839	0.5638	0.0000	56,945
M-NSGA-II	0.2150	0.3968	0.0000	119,864
COIN	0.1560	0.7475	0.5000	5,063
DPSO	0.3661	0.6222	0.0000	22,760
PSONK	0.0964	0.5485	0.3750	8,838
M-PSONK	0.0997	0.9261	0.5714	18,673

จากตารางที่ 9.110 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด จึงสรุปว่าในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด แต่ยังใช้เวลาในการคำตอบมากกว่าวิธีอื่นๆ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ อัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และวิธี COMSOAL ตามลำดับ

9.6 การค้นหาคำตอบของปัญหา 183 ขั้นงาน

9.6.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ 9.111 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
12	24	23.7363	0.0229
12	24	23.7757	0.0216

9.6.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.112 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
12	24	23.7037	0.0222
12	24	23.7363	0.0177
12	24	23.7447	0.0169
12	24	23.7600	0.0166
12	24	23.7670	0.0149

9.6.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 9.113 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
12	24	23.6522	0.0246
12	24	23.6667	0.0229
12	24	23.6757	0.0221
12	24	23.6800	0.0161

ตารางที่ 9.113 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
12	24	23.6923	0.0158
12	24	23.7000	0.0158
12	24	23.7176	0.0143
12	24	23.7241	0.0130
12	24	23.7273	0.0095

9.6.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ 9.114 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	22	21.7556	0.0420
11	22	21.7582	0.0283
11	22	21.7732	0.0260

9.6.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ 9.115 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
12	24	23.6842	0.0164
12	24	23.7241	0.0153

9.6.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 9.116 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	22	21.7582	0.0437
11	22	21.7660	0.0208

9.6.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

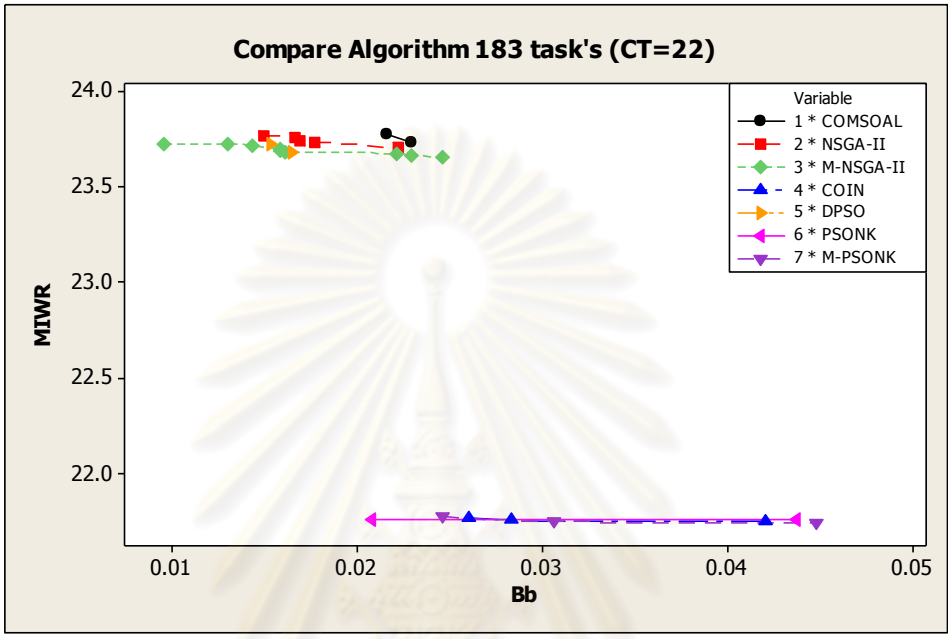
ตารางที่ 9.117 กลุ่มคำตอบที่ได้ โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	22	21.7471	0.0448
11	22	21.7500	0.0306
11	22	21.7755	0.0246

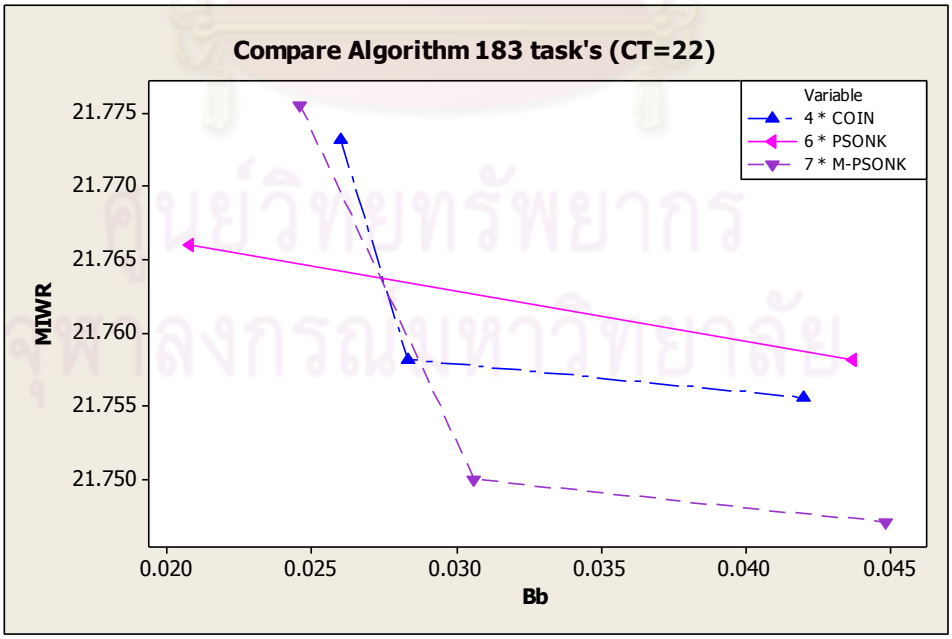
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

9.6.8 การเปรียบเทียบคำตอบระหว่างอัลกอริทึม

กลุ่มคำตอบที่ได้ทั้ง 7 อัลกอริทึมเมื่อนำมาเปรียบเทียบกันจะได้ดังรูปที่ 9.20 และรูปที่ 9.21 และได้ค่า true-Pareto Optimal Frontier ดังตารางที่ 9.118



รูปที่ 9.20 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22



รูปที่ 9.21 การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึมทั้ง 3 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 ที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากับ 22 สถานีงาน

ตารางที่ 9.118 true-Pareto Optimal Frontier ของปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

จำนวนคู่สถานีงาน	จำนวนสถานีงาน	ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงาน	ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงาน
11	22	21.7471	0.0448
11	22	21.7500	0.0306
11	22	21.7582	0.0283
11	22	21.7660	0.0208

การเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบที่ได้จากทั้ง 7 อัลกอริทึม ทำโดยนำมาเปรียบเทียบกับ true-Pareto Optimal Frontier เพื่อคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จะได้ดังตารางที่ 9.119

ตารางที่ 9.119 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัว ของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time (s.)
COMSOAL	-	-	-	10,744
NSGA-II	-	-	-	41,570
M-NSGA-II	-	-	-	103,985
COIN	0.2563	0.5013	0.3333	4,172
DPSO	-	-	-	25,032
PSONK	0.4510	0.7500	0.5000	7,756
M-PSONK	0.1686	0.5711	0.6667	15,425

จากรูปที่ 9.20 และรูปที่ 9.21 พบว่า อัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ สามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 2 สถานีงาน จาก 24 สถานีงาน เหลือเพียง 22 สถานีงาน

จากตารางที่ 9.119 พบว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) ดีที่สุด ส่วนอัลกอริทึมการบรรจบให้ผลลัพธ์ของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) ดีที่สุด สรุปได้ว่าในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ แต่ใช้เวลาในการคำนวณมาก

ปัญหา 183 ขั้นงานเป็นปัญหาจริงในอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของ บริษัท ธนบุรีประกอบรถยนต์ จำกัด ซึ่งพันรวี ทรัพย์อุดม (2552) ได้ทำการวิจัยโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติก RPWT MAXDUR MINDUR และ MAXFOL จากการทดสอบพบว่า วิธี MINDUR ให้คำตอบโดยรวมที่ดีกว่าวิธีอื่นๆ ได้จำนวนสถานีงานเท่ากับ 23 สถานีงาน (12 คู่สถานีงาน) ซึ่งจะเห็นได้ว่าจากผลการทดลองในงานวิจัยนี้ได้จำนวนสถานีงานเท่ากับ 22 สถานีงาน หรือ 11 คู่สถานีงาน ซึ่งสามารถให้คำตอบที่ดีกว่า สามารถลดจำนวนสถานีงานได้ 1 สถานีงาน

9.7 สรุปท้ายบท

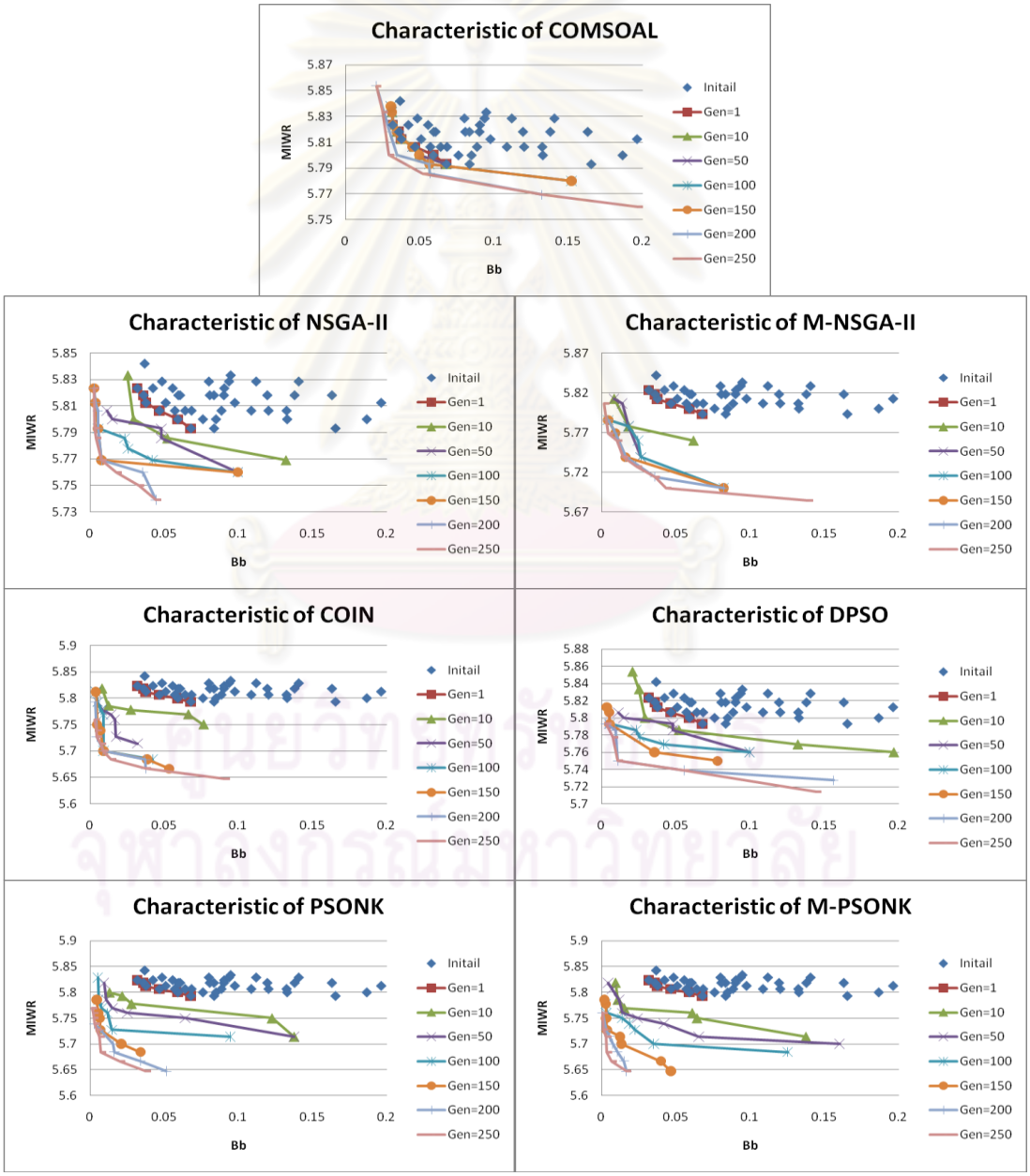
การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึมกับปัญหาในการทดลองทั้งหมด 5 ปัญหา โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะ 4 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) และเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) จากตารางที่ 9.120 พบว่า

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ (M-PSONK) สามารถให้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณมาก ส่วนวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (PSONK) ให้คำตอบที่ใกล้เคียงกันและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ ดังรูปที่ 9.22 ซึ่งเป็นตัวอย่างการลู่เข้าในแต่ละเจนเนอเรชันของปัญหา 65 ขั้นงาน ที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ส่วนในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 ปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 และปัญหา 183 ขั้นงาน พบว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูง

อนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และอัลกอริทึมการบรรจวบ ให้กลุ่มคำตอบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากสามารถทำการลดจำนวนสถานีงานลงได้

สรุปได้ว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสามารถแก้ปัญหาทุกปัญหาเป็นที่ยอมรับได้ และใช้เวลาในการคำนวณน้อย และมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ที่มีประสิทธิภาพดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการคำนวณที่นานกว่ามาก



รูปที่ 9.22 ตัวอย่างการลู่เข้าของกลุ่มคำตอบในแต่ละเจนเนอเรชัน

ตารางที่ 9.120 การเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมทั้ง 7 อัลกอริทึม

Problem		12			65			148			205			183
Cycle time		5	7	8	326	490	544	204	306	408	1888	2266	2454	22
Number of Workstations (Number of Mated-Station)	COMSOAL	5(3)	4(2)	4(2)	10(5)	6(3)	6(3)	16(8)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	24(12)
	NSGA-II	5(3)	4(2)	4(2)	10(5)	6(3)	6(3)	16(8)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	24(12)
	M-NSGA-II	5(3)	4(2)	4(2)	10(5)	6(3)	6(3)	16(8)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	24(12)
	COIN	5(3)	4(2)	4(2)	9(5)	6(3)	6(3)	14(7)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	22(11)
	DPSO	5(3)	4(2)	4(2)	9(5)	6(3)	6(3)	16(8)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	24(12)
	PSONK	5(3)	4(2)	4(2)	9(5)	6(3)	6(3)	14(7)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	22(11)
	M-PSONK	5(3)	4(2)	4(2)	9(5)	6(3)	6(3)	14(7)	10(5)	8(4)	8(4)	6(3)	6(3)	22(11)
Convergence	COMSOAL	0	0	0.0768	-	0.4854	0.4000	-	0.5855	0.7640	0.5400	0.5795	0.6545	-
	NSGA-II	0	0	0	-	0.4142	0.2217	-	0.2659	0.3235	0.2600	0.6270	0.2839	-
	M-NSGA-II	0	0	0	-	0.2295	0.1433	-	0.2846	0.1182	0.1174	0.2119	0.2150	-
	COIN	0	0	0	0.1910	0.1154	0.1277	0.5759	0.1149	0.0913	0.0829	0.0686	0.1560	0.2563
	DPSO	0	0	0.0768	0.7609	0.3715	0.2085	-	0.5724	0.3451	0.2364	0.3043	0.3661	-
	PSONK	0	0	0	0.2809	0.1064	0.0585	0.2022	0.1096	0.1226	0.0971	0.0572	0.0964	0.4510
	M-PSONK	0	0	0	0.2749	0	0.0338	0.2974	0.0447	0.0935	0.0383	0.0218	0.0997	0.1686
Spread	COMSOAL	0.7500	0.6616	0.6496	-	0.4793	0.5560	-	0.5057	0.6328	0.7285	0.7500	0.5343	-
	NSGA-II	0.7500	0.6616	0.5991	-	0.4961	0.5673	-	0.5809	0.7299	0.7406	0.4801	0.5638	-
	M-NSGA-II	0.7500	0.6616	0.5991	-	0.7834	0.5355	-	0.8194	0.5404	0.7570	0.5662	0.3968	-
	COIN	0.7500	0.6616	0.5991	0.9169	0.7214	0.8234	0.7500	0.9022	0.5518	0.6994	0.5067	0.7475	0.5013
	DPSO	0.7500	0.6616	0.6496	0.5575	0.6043	0.7555	-	0.5196	0.7674	0.7424	0.6222	0.6222	-
	PSONK	0.7500	0.6616	0.5991	0.7500	0.7505	0.7162	0.7314	0.6442	0.7262	0.6810	0.5889	0.5485	0.7500
	M-PSONK	0.7500	0.6616	0.5991	0.7500	0.6077	0.7263	0.7500	0.5965	0.5218	0.9169	0.6694	0.9261	0.5711
Ratio	COMSOAL	1	1	0.5000	-	0	0	-	0	0	0	0	0	-
	NSGA-II	1	1	1	-	0	0	-	0	0	0	0	0	-
	M-NSGA-II	1	1	1	-	0	0	-	0	0.7778	0	0.2000	0	-
	COIN	1	1	1	1	0	0.1000	0	0.4286	0.3000	0	0.1538	0.5000	0.3333
	DPSO	1	1	0.5000	0	0	0	-	0	0	0.0909	0	0	-
	PSONK	1	1	1	0.5000	0	0.3750	0.6667	0.4286	0.1111	0.1000	0.0769	0.3750	0.5000
	M-PSONK	1	1	1	1	1	0.6000	1	0.5000	0.3333	0.8750	0.7500	0.5714	0.6667
Time (s.)	COMSOAL	109	121	113	7,761	8,196	8,095	9,578	6,978	10,210	12,380	14,893	14,940	10,744
	NSGA-II	164	151	132	21,214	19,770	20,459	30,934	38,019	38,056	54,442	51,638	56,945	41,570
	M-NSGA-II	197	220	176	39,752	41,338	38,759	65,961	87,446	78,438	120,485	114,607	119,864	103,985
	COIN	35	29	24	636	582	621	2,275	2,645	2,369	5,097	4,974	5,063	4,172
	DPSO	81	75	72	3,706	3,085	2,672	11,359	12,696	10,898	26,505	23,877	22,760	25,032
	PSONK	69	68	63	1,053	1,579	2,002	4,034	4,012	4,147	9,010	9,416	8,838	7,756
	M-PSONK	237	230	216	3,604	3,809	4,852	10,081	10,238	10,595	19,121	19,834	18,673	15,425

บทที่ 10

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และโดยเฉพาะอย่างยิ่งคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ และผลลัพธ์ที่ได้จากการเปรียบเทียบกลุ่มคำตอบระหว่างอัลกอริทึม รวมถึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้

10.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นสายประกอบที่ประกอบผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถบรรทุก โดยได้ทำการพัฒนาวิธีการหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพขึ้น ซึ่งมีชื่อว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งพบว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็วเมื่อเทียบกับวิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจวบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

10.1.1 ลักษณะของปัญหา

ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ผลิตภัณฑ์ขึ้นไป โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะเข้าสู่สายการประกอบแบบปะปนกัน ซึ่งปัญหาที่ใช้มีปัญหาขนาด 12, 65, 148, 205 และ 183 ขั้นงาน ซึ่งปัญหา 183 ขั้นงานเป็นปัญหาจริงของอุตสาหกรรมการผลิตรถยนต์ของ บริษัท ธนบุรีประกอบรถยนต์ จำกัด ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ 4 วัตถุประสงค์ คือ เพื่อให้มีจำนวนคู่สถานีงานน้อยที่สุด เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และเพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

10.1.2 การประยุกต์ใช้วิธีวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่อาศัยทฤษฎีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่รุ่นลูกหลาน เริ่มจากการการสร้างประชากรสตริงคำตอบ (String) หรือ โครโมโซม

(Chromosome) ขึ้นมาอย่างสุ่ม ซึ่งประกอบด้วยคุณลักษณะ (Character) หรือ ยีน (Gene) ที่แตกต่างกันในแต่ละสตริง จากนั้นคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) และฟังก์ชันความเหมาะสม (Fitness Function) ของประชากรสตริงคำตอบ หลังจากนั้นจะทำการเลียนแบบลักษณะทางพันธุกรรมนี้ โดยสตริงคำตอบที่มีค่าเหมาะสมสูงจะถูกนำมาทำการแลกเปลี่ยนข้อมูลซึ่งกันและกัน ซึ่งเรียกว่ากระบวนการครอสโอเวอร์และการมิวเตชัน ซึ่งเป็นการพัฒนาสตริงคำตอบใหม่ โดยขั้นตอนดังกล่าวจะถูกทำซ้ำ เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด (Deb et al., 2002) ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่

- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้าน โดย Barthodi (1993) ได้ทำการศึกษาวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมและเปรียบเทียบกับวิธี First-Fit Rule (FFR) โดยพบว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถให้คำตอบที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณน้อยกว่า ต่อมา Kim et al. (2000) ได้เปรียบเทียบกับวิธี Integer Programming (IP) และวิธี FFR โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด พบว่า GAs สามารถค้นหาคำตอบได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ จากนั้น Kim et al. (2009) ได้เสนอเปรียบเทียบกับวิธี Mixed Integer Programming (MIP) และ FFR โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด พบว่า ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบเส้นตรงที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดย กรรณิกา ศิลานนท์ (2542) ได้ทำการศึกษาและพบว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพและสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดได้ ต่อมา จงกล เอี่ยมมิ (2543) ได้นำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบกับวิธี COMSOAL โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และพบว่าให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู โดย McMullen (2001) ได้ทำการเปรียบเทียบกับ SA และ TA พบว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมให้ผลลัพธ์ที่ไม่ต่างจากวิธีอื่น โดยให้เหตุผลว่าอาจจะเกิดจากการกำหนดค่าในการครอสโอเวอร์ที่ไม่เหมาะสม ต่อมา Hwang et al. (2008) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และเพื่อให้มีความแปรปรวนที่น้อยที่สุด พบว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมทำให้สายการประกอบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดลำดับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ พบว่า วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมช่วยให้กระบวนการค้นหาคำตอบสามารถให้คำตอบที่ดี (Mansouri (2005); Moghaddam and Vahed (2006b))
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาเส้นทางการเดินทางของรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem with Backhaul : VRPB) และปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) พบว่า ให้คำตอบที่ดีทั้งในด้านคำตอบและเวลาในการคำนวณ โดย Moghaddam et al. (2006)

โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการหาคำตอบของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนเจนเนอเรชัน ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (จงกล เอี่ยมมิ, 2543) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Schaffer and Eshelman (1996) กล่าวว่า ความเป็นไปได้ในการค้นหาคำตอบที่จะได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด หรือมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดนั้น ขึ้นอยู่กับขนาดและคุณภาพของประชากรสตริงคำตอบเริ่มต้น ซึ่งหากกำหนดจำนวนประชากรที่มีจำนวนน้อยเกินไปคำตอบที่ได้อาจไม่ใช่คำตอบที่เหมาะสม และถ้าหากกำหนดจำนวนประชากรมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการค้นหาคำตอบนานเกินความจำเป็น โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองเท่ากันในทุกอัลกอริทึม คือเท่ากับ 100 ประชากร (Hwang and Katayama, 2009)
- Chatterjee et al. (1996) กล่าวว่า ในขั้นตอนการครอสโอเวอร์ อาจทำให้มีการสูญเสียคำตอบที่ดีไป เนื่องจากมีการเปลี่ยนรูป ซึ่งวิธีการที่จะช่วยป้องกันไม่ให้มีการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจเรียกคืนได้นั้นคือการมิวเตชัน ซึ่งจะช่วยให้คำตอบที่อาจเข้าไปติดอยู่ในคำตอบเฉพาะที่หลังจากการครอสโอเวอร์นั้นหลุดออกมาให้ได้คำตอบที่ดี ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้จึงมีความสำคัญ ซึ่งจะทำให้ประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมดีขึ้น โดย De Jong and Spears (1990) กล่าวว่า ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.6-0.9 เนื่องจากจะทำให้สตริงคำตอบที่ถูกนำมาครอสโอเวอร์มีจำนวนมาก เมื่อทำการครอสโอเวอร์ (แลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบ) จะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลาย และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4 เนื่องจากจะทำให้สตริงคำตอบที่ถูกนำมามิวเตชันมี

จำนวนน้อยจึงทำให้ไม่สูญเสียคำตอบที่ดีไป โดยในงานวิจัยนี้จึงได้มีการทดสอบหาค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันที่เหมาะสมกับแต่ละปัญหาทั้ง 5 ปัญหา โดยใช้การวิเคราะห์ ANOVA และการวิเคราะห์คู่ลำดับ โดยมีตัวชี้วัดสมรรถนะคือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

10.1.3 การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจบ

อัลกอริทึมการบรรจบเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่พัฒนามาจาก Edge Histogram Based Sampling Algorithm : EHBSA ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่คิดค้นโดย Tsutsui (2002) ซึ่งอาศัยการเรียนรู้จากขอบเขตพื้นที่ของคำตอบ โดย COIN ได้นำความรู้เชิงลบหรือคำตอบที่ไม่ดีเข้ามาประยุกต์ใช้ (Minsky, 1994; Parviainen and Eriksson, 2006) เพื่อให้พื้นที่ในการค้นหาคำตอบนั้นลดลง และให้กระบวนการค้นหาคำตอบได้เรียนรู้และทำการหลีกเลี่ยงการมุ่งไปสู่คำตอบที่ไม่ดี โดยใช้กฎการให้รางวัลและการลงโทษตามแบบของ Markov Chain Monte Carlo (MCMC) (Andrieu et al., 2003) ซึ่งจะนำคำตอบที่ดีมาทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบให้มีค่าสูงขึ้น และใช้คำตอบที่แย่มาทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกคำตอบให้มีค่าต่ำลง เพื่อใช้ค่าความน่าจะเป็นเหล่านี้ในการสุ่มคำตอบใหม่ที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นต่อไป ซึ่งได้มีการพัฒนาทำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ดังนี้

- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดลำดับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยูที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดย Chutima et al. (2008) มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีเวลาการปรับตั้งเครื่องจักร และความผันแปรของภาระงานในระบบการผลิตน้อยที่สุด จากนั้นเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม พบว่าอัลกอริทึมการบรรจบให้คำตอบที่ดีและใช้เวลาในการคำนวณที่น้อย
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) และปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยู โดย Wattanapornprom and Chongstitvatana (2009) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความผันแปรของเวลาภายในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด จากนั้นทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับวิธีเจน

เนติกอัลกอริทึม พบว่า อัลกอริทึมการบรรจวบให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพดีกว่า

- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสรรพนักงาน (Worker Allocation Problem) โดย Sirovetnukul and Chutima (2010) ได้ทำการศึกษาบนสายการประกอบแบบตัวยู พบว่า สามารถให้คำตอบที่ดี

โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ที่มีความสำคัญต่อการหาคำตอบของอัลกอริทึมการบรรจวบ ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนเจนเนอเรชัน ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล (Reward) และการลงโทษ (Punish) โดยมีรายละเอียดในการตัดสินใจเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมดังนี้

- ภาณุวัฒน์ โอฬารวิวัฒน์ชัย (2551) กล่าวว่า ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางที่สูงจนเกินไปจะทำให้จำนวนสตริงคำตอบที่เลือกมามีมากเกินความจำเป็น จะทำให้สูญเสียเวลาในการคำนวณ และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษที่สูงจะทำให้ได้คำตอบที่ไม่เหมาะสม เนื่องจากถ้าหากมีการสุ่มได้คำตอบที่ผิดพลาดแล้วมีการให้รางวัลและการลงโทษที่สูง จะทำให้ทิศทางการค้นหาคำตอบมุ่งไปสู่คำตอบที่ผิดพลาดนั้นได้ โดยในงานวิจัยนี้จึงได้มีการทดสอบหาค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง และค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษที่เหมาะสมกับแต่ละปัญหาทั้ง 5 ปัญหา โดยใช้การวิเคราะห์ ANOVA และการวิเคราะห์คู่ลำดับ โดยมีตัวชี้วัดสมรรถนะคือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

10.1.4 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเป็นฮิวริสติกวิธีใหม่ ซึ่งมีวิธีการหาสตริงคำตอบเริ่มต้นคล้ายกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ ใช้วิธีสุ่มในการสร้างประชากรสตริงคำตอบเริ่มต้น โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมีพื้นฐานมาจากการเลียนแบบพฤติกรรมการบินหาอาหารของฝูงนก โดยนกแต่ละตัวจะแทนด้วยอนุภาค (Particle) ซึ่งทำหน้าที่เช่นเดียวกับโคมโมโซมในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยนกแต่ละตัวจะบินไปยังจุดหมายในทิศทางต่างๆ เพื่อหาตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวเอง และทำการสื่อสารกันภายในฝูงเพื่อหาตำแหน่งที่ได้พบอาหารที่ดีที่สุดของฝูง จากนั้นนกตัวอื่นๆ จะบินไปยังตำแหน่งที่ดีที่สุด ซึ่งการเคลื่อนย้ายเปลี่ยนตำแหน่ง (Position) นั้น

จะขึ้นอยู่กับตำแหน่งที่อยู่ในปัจจุบันและความเร็ว (Velocity) ของนกแต่ละตัวด้วย (Kennedy et al., 2001) ซึ่งได้มีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย ได้แก่

- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการหาค่าเหมาะสมในกรณีที่มีหลายวัตถุประสงค์ (MOPSO) และเปรียบเทียบกับ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), Pareto Archived Evolution Strategy (PAES) และ Microgenetic Algorithm for Multi-objective Optimization (Micro-GA) พบว่า MOPSO ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ (Coello Coello et al. (2004); Fan and Chang (2009))
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน พบว่า ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเมื่อปัญหามีขนาดเล็ก และเมื่อประยุกต์ใช้ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า สามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น (Rameshkumar et al. (2005); Liao et al. (2007); Tseng and Liao (2008))
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ โดย Dongyun et al. (2010) ได้ทำการศึกษาโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้รอบเวลาการผลิตน้อยที่สุด เวลาว่างงานในสถานีงานทั้งหมดน้อยที่สุด และภาระงานในแต่ละสถานีงานต้องมีความสมดุลกัน ซึ่งจากการทดสอบกับปัญหาจริง พบว่าสามารถให้คำตอบที่ดี
- ประยุกต์ใช้ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู โดย สุภาภรณ์ และ เดชา (2551) ได้ทำการศึกษาโดยนำวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมาใช้ในการจัดสมดุลและการจัดลำดับสายการประกอบ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และความแปรปรวนของภาระงานน้อยที่สุด พบว่าให้คำตอบเป็นที่น่าพอใจและสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ

โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนเจนเนอเรชัน น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight: w) และค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor: c_1, c_2) โดยมีรายละเอียดดังนี้

- Guner and Sevkli (2008); Dongyun et al. (2010) กล่าวว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคมีกระบวนการค้นหาคำตอบที่ง่าย และมีอัตราการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีกว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม อีกทั้งยังมีพารามิเตอร์ที่ใช้เพียงไม่กี่ตัว

- Fan and Chang (2009) กล่าวว่า w, c_1 และ c_2 เป็นค่าที่ใช้ควบคุมการจดจำคำตอบ ซึ่งถ้ากำหนดค่าที่น้อยเกินไป จะทำให้การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่ดีนั้นเป็นไปอย่างล่าช้า แต่ถ้ากำหนดค่าสูงเกินไป จะทำให้การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่ดีเร็วขึ้นแต่ก็อาจจะได้คำตอบที่ไม่เหมาะสมได้เช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้ค่า w, c_1 และ c_2ที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้า (Liao et al., 2007 ; Tseng and Liao, 2008)

โดยทั้ง 3 อัลกอริทึมที่กล่าวมานี้ มีจุดมุ่งหมายคือการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยการทำซ้ำกระบวนการ เพื่อพัฒนาคำตอบให้ดีขึ้น โดยมีกระบวนการที่เหมือนกันคือ 1. การสร้างประชากรเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเพื่อใช้ในการค้นหาและปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้น 2. คำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ และ 3. หยุดกระบวนการทำงานเมื่อครบจำนวนครั้งที่ต้องการทำซ้ำ เช่นเดียวกับการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อจัดสรรงานลงในสถานีงานอย่างมีประสิทธิภาพและตอบสนองวัตถุประสงค์ที่ต้องการได้เหมาะสมที่สุด จึงได้มีการนำวิธีการทางธรรมชาติมาพัฒนาประยุกต์ใช้ โดยสตริงประชากรคำตอบในอัลกอริทึมจะแทนด้วยสตริงลำดับขั้นงาน จากนั้นทำการจัดลงสถานีงานเพื่อคำนวณค่าวัตถุประสงค์ โดยสตริงลำดับขั้นงานใดให้ค่าวัตถุประสงค์ที่มีความเหมาะสมสูงจะนำมาทำการปรับปรุงเพื่อหาสตริงลำดับขั้นงานที่สามารถให้ค่าวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น ทำซ้ำกระบวนการจนครบจำนวนครั้งที่ต้องการทำซ้ำ จนได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด

วิธีฮิวริสติกเป็นแนวทางใหม่ในการค้นหาคำตอบที่ดีและยอมรับได้สำหรับปัญหาการจัดตาราง การจะเลือกใช้อัลกอริทึมใดมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหานั้น ไม่มีกฎเกณฑ์ที่แน่นอน หากสามารถทำความเข้าใจกระบวนการทำงานของอัลกอริทึมที่เลือกใช้แล้ว และทำการปรับค่าพารามิเตอร์ที่มีได้อย่างเหมาะสมกับลักษณะของปัญหา และขนาดของปัญหา รวมถึงหาเทคนิคใหม่ๆ มาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยเพิ่มประสิทธิภาพการค้นหาคำตอบ ก็จะสามารถแก้ปัญหาที่มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ได้ ดังนั้นก่อนที่จะทำการทดลองในรายละเอียด จึงควรที่จะทำการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเสียก่อน รวมถึงการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมในงานวิจัยต่างๆ ยังสามารถใช้เป็นแนวทางเพื่อทำการพัฒนาและสร้างองค์ความรู้ใหม่ๆ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลในอนาคตได้อีกด้วย

10.1.5 การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์

วิธีหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งได้พัฒนามาจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (PSO) ร่วมกับอัลกอริทึมการบรรจวบ โดยมีการใช้หลักการการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปในจุดหมายและทิศทางต่างๆ และทำการจดจำคำตอบที่ได้พบเช่นเดียวกับวิธี PSO และใช้หลักการความน่าจะเป็นในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดเช่นเดียวกับอัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN) โดยพารามิเตอร์ต่างๆ ของ PSONK ได้แก่ จำนวนประชากร จำนวนเจนเนอเรชัน น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight: w) และค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor: c_1, c_2) ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์เช่นเดียวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (PSO)

จากคำถามเบื้องต้นในบทที่ 1 สามารถตอบคำถามโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ดังนี้

1) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ สามารถให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม แต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่ามีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN) เนื่องจากคำตอบที่ได้มีความใกล้เคียงกัน
2) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ มีคำตอบที่ใกล้เคียงกับอัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีการพัฒนาต่อไปคือ การนำการค้นหาเฉพาะที่เข้ามาประยุกต์ใช้ร่วมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งผลที่ดีมีประสิทธิที่ดีมากขึ้น แต่ใช้เวลาในการค้นหานานเนื่องจากต้องเสียเวลาในการค้นหาเฉพาะที่

สามารถสรุปขั้นตอนการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ได้ดังนี้

- **การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น** เป็นการสร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และทำการสุ่มเลือกขั้นงาน

จากตารางความน่าจะเป็น โดยพิจารณาความสัมพันธ์ก่อน-หลังของขั้นงาน ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะเป็นสตริงลำดับขั้นงาน

- **การประเมินค่า** สตริงคำตอบที่ได้เป็นสตริงคำตอบลำดับขั้นงาน จึงต้องนำไปจัดลงสถานีงาน เพื่อทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนคู่สถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

- **วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด** ทำการประเมินค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบแต่ละตัว โดยวัดจากค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ด้วยวิธี Non-dominated Sorting โดยในวิธี PSONK การหาค่าความแข็งแรงจะแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ การหาค่าความแข็งแรงของแต่ละฝูง และการหาค่าความแข็งแรงของประชากรทั้งหมด

- **การคัดเลือกสตริงคำตอบ** พิจารณาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ที่มีค่าต่ำที่สุดให้เป็นคำตอบที่ดี (Good Solution) และค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงที่มีค่ามากที่สุดให้เป็นคำตอบที่แย่ (Bad Solution) โดยทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lbest หรือที่เรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Best Solution) และเลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของประชากรทั้งหมดมาเป็น Gbest หรือที่เรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Best Solution) และเนื่องจากวิธี PSONK ได้มีการประยุกต์ใช้ความรู้เชิงลบ จึงเพิ่มการพิจารณาสตริงคำตอบที่แย่ด้วย ซึ่งจะทำการเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lworst หรือที่เรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local Worst Solution) และเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของประชากรทั้งหมดมาเป็น Gworst หรือที่เรียกว่า ค่าที่ไม่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global Worst Solution)

- **การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น** สตริงคำตอบที่ถูกเลือกที่เป็นสตริงคำตอบที่ดี (Good Solution) จะถูกนำมาเพิ่มค่า ส่วนสตริงคำตอบที่แย่ (Bad Solution) จะถูกนำมาลดค่าในตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

- **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** นำสตริงคำตอบที่ดีในรอบที่กำลังพิจารณา (Current Good String) หรือ Gbest ที่ได้ รวมกับสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ด้วยวิธี Non-dominated Sorting ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จะถูกจัดเก็บเพื่อไปเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป

ส่วนวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ที่ทำการพัฒนาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นนั้น มีขั้นตอนการค้นหาคำตอบดังนี้

- **การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น** เป็นการสุ่มเลือกขั้นงานจากตารางความน่าจะเป็น โดยพิจารณาความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะเป็นสตริงลำดับขั้นงานเช่นเดียวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

- **การค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น** เป็นกระบวนการปรับปรุงประชากรคำตอบเบื้องต้นให้มีความหลากหลายยิ่งขึ้นก่อนเข้าสู่กระบวนการ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นแบบ 2-Opt

- **การซ่อมแซมคำตอบ** สตริงคำตอบที่ได้เป็นสตริงลำดับขั้นงาน ซึ่งเมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่ จะทำให้คำตอบที่ได้เป็น คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) เนื่องจากผิดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อน-หลัง จึงต้องมีการซ่อมแซมคำตอบก่อนนำไปประเมินค่า

- **การประเมินค่า** จัดขั้นงานลงในสถานีงาน เพื่อทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์

- **วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด** ทำการประเมินค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบแต่ละตัวโดยหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงด้วยวิธี Non-dominated Sorting โดยแบ่งการหาค่าความแข็งแรงออกเป็น 2 ส่วนคือ การหาค่าความแข็งแรงของแต่ละฝูง และการหาค่าความแข็งแรงของประชากรทั้งหมด

- **การคัดเลือกสตริงคำตอบ** เลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lbest เลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของแต่ละฝูงมาเป็น Lworst เลือกสตริงคำตอบในอันดับแรกที่ค่าความแข็งแรงน้อยที่สุดของประชากรทั้งหมดมาเป็น Gbest และเลือกสตริงคำตอบในอันดับสุดท้ายที่ค่าความแข็งแรงมากที่สุดของประชากรทั้งหมดมาเป็น Gworst

- **การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น** สตริงคำตอบที่ถูกเลือกที่เป็นสตริงคำตอบที่ดี ซึ่งในที่นี้คือ Lbest และ Gbest จะถูกนำมาเพิ่มค่า ส่วนสตริงคำตอบที่แย่ ซึ่งในที่นี้คือ Lworst และ Gworst จะถูกนำมาลดค่าในตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

- **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** นำสตริงคำตอบที่ดีในรอบที่กำลังพิจารณา หรือ Gbest ที่ได้ รวมกับสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้า เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบหาคำตอบที่ดี

ที่สุด ด้วยวิธี Non-dominated Sorting ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จะถูกจัดเก็บเพื่อไปเป็นสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงานในรอบถัดไป

- **การค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการ** เป็นกระบวนการปรับปรุงคำตอบที่ได้ให้ดียิ่งขึ้น โดยจะทำการค้นหาเฉพาะที่จนกว่าไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีกจำนวน 5 ครั้ง ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ใช้การค้นหาเฉพาะที่หลังจากสิ้นสุดกระบวนการแบบ 2-Opt

- **การซ่อมแซมคำตอบ** คำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่เป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) เนื่องจากผิดต่อข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ก่อน-หลัง จึงต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

- **หยุดกระบวนการ** เมื่อทำการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุด แล้วพบว่าคำตอบที่ได้ไม่ดีขึ้นจากเดิม จึงหยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ โดยคำตอบที่ได้ถือเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

10.1.6 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหา

จากผลลัพธ์ที่ได้จากกระบวนการค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL, วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม, วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม, อัลกอริทึมการบรรจวบ, วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค, วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ โดยอาศัยพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลอง พบว่า ในปัญหา 65 ขั้นงาน ที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 อัลกอริทึมการบรรจวบ, วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค, วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ให้คำตอบที่มีจำนวนสถานีงานน้อยว่าวิธี COMSOAL, วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม จำนวน 1 สถานีงาน คือเท่ากับ 9 สถานีงาน (5 คู่สถานีงาน) ส่วนปัญหา 148 ขั้นงาน ที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 และปัญหา 183 ขั้นงาน พบว่า อัลกอริทึมการบรรจวบ, วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ ให้คำตอบที่มีจำนวนสถานีงานน้อยว่าวิธี COMSOAL, วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม, วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค จำนวน 2 สถานีงาน คือเท่ากับ 14 สถานีงาน (7 คู่สถานีงาน) และ 22 สถานีงาน (11 คู่สถานีงาน) ตามลำดับ ส่วนในปัญหา 12 ขั้นงาน ทุกวิธีนั้นให้คำตอบเดียวกัน

จากการศึกษาทุกปัญหาสามารถสรุปได้ว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่ม

คำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ รองลงมาคือ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งวิธีนี้เป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ในด้านเวลาในการคำนวณ (Computation Time to Solution) ซึ่งใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่น้อยกว่ามาก ส่วนอัลกอริทึมการบรรจวบ วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และวิธี COMSOAL ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพรองลงมาตามลำดับ

10.2 ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีที่ประสิทธิภาพ แต่ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่นาน เนื่องจากต้องมีการแลกเปลี่ยนคำตอบในการค้นหาเฉพาะที่ ดังนั้นอาจมีวิธีอื่นที่จะนำมาพัฒนารวมกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ เพื่อให้คำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว
2. ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งมีการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ปะปนกันในสายการประกอบ ขั้นตอนในการหาเวลาและการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงานจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ ซึ่งจะส่งผลต่อคำตอบโดยตรง
3. ปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และเพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งในความเป็นจริงแล้ว ยังมีวัตถุประสงค์อีกมากที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสมดุล การเลือกใช้วัตถุประสงค์จึงต้องคำนึงหลายๆ องค์ประกอบประกอบกันเพื่อให้ตอบสนองแต่หลักความเป็นที่ใช้ในโรงงานอุตสาหกรรมให้มากที่สุด
4. จากผลลัพธ์ที่ได้ของแต่ละอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน สามารถนำไปทำการวิจัยเพิ่มโดยพิจารณาการจัดลำดับ (Sequencing)
5. สามารถนำวิธีการคำนวณที่ได้แสดงไว้ในแต่ละอัลกอริทึมไปพัฒนาเป็นโปรแกรมสำเร็จรูปเพื่อประโยชน์ต่อการจัดสมดุลสายการประกอบ

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิกา ศิลานนท์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

จงกล เอี่ยมมิ. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2543.

ปารเมศ ชุติมา. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2546.

ปารเมศ ชุติมา. การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

พันรวี ทรัพย์อุดม. การจัดสายการประกอบแบบสองด้าน ในโรงงานประกอบรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.

เพ็ญพักตร์ ปิ่นกุมภีร์. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

วิจิตรา พลเยี่ยม. การวางแผนการทดลอง. กรุงเทพมหานคร : สำนักพิมพ์สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ภาควิชาสถิติประยุกต์, 2546.

ภาณุวัฒน์ โอฬารวิวัฒน์ชัย. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยู ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

สุภาภรณ์ สุวรรณรังษี และ เดชา พวงดาวเรือง. การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบรูปทรงตัวยูด้วยการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ (2551) : 95-100.

ภาษาอังกฤษ

Andrieu, C., De Freitas, N., Doucet, A. and Jordan, M. I. An introduction to MCMC for machine learning. Machine Learning 50 (2003) : 5-43

Arcus, A. L. Comsoal: A computer method of sequencing operations for assembly lines. International Journal of Production Research 4 (1996) : 259-277.

Bartholdi, J. J. Balancing two-sided assembly lines: a case study. International Journal of Production Research 31 (1993) : 2447-2461.

Baykasoglu, A. and Dereli, T. Two-sided assembly line balancing using an ant-colony based heuristic. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 36 (2008) : 582-588.

Becker, C. and Scholl, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research 168 (2006) : 694-715.

Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research 183 (2007) : 674–693.

Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. Assembly line balancing: Which model to use when?. International Journal of Production Economics 111 (2008) : 509–528.

Chatterjee, S., Carrera, C., and Lynch, L., Genetic algorithms and traveling salesman problems. European Journal of Operational Research 93 (1996) : 490–510.

Coello Coello, C. A., Pulido, G. T. and Lechuga, M. S. Handling multiple objectives with particle swarm optimization. IEEE Transations on Evolutionary Computation 8 (2004) : 256-279.

Coello Coello, C. A., Lamont, G. B. and Van Veldhuizen, D. A. Evolutionary algorithms for solving multi-objective problems: Kluwer Academic Publishers, 2002.

De Bonet, J. S., Isbell C. L. and Viola P. MIMIC: Finding optima by estimating probability densities. Advances in Neural Information Processing Systems (1997).

De Jong, K. A. and Spears, W. M. An analysis of the interacting roles of population size and crossover in genetic algorithms. Parallel Problem Solving from Nature (1990) : 38–47.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S. and Meyarivan, T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transations on Evolutionary Computation 6 (2002) : 182-197.

Dongyun, W., Ping, Z., Luowei, L. and Kai, W. Assembly line balancing problem using particle swarm optimization algorithm. Intelligent Computing and Integrated Systems (2010) : 629-632.

Eberhart, R. and Kennedy, J. A new optimizer using particle swarm theory. IEEE Micro Machine and Human Science (1995) : 39-43.

Fan, S. S. and Chang, J. A parallel particle swarm optimization algorithm for multi-objective optimization problem. Engineering Optimization (2009) : 673-697.

Fen Ho, I. S., Safaai, D. and Zaiton, M. H. S. A combination of PSO and local search in university course timetabling problem. International Conference on Computer Engineering and Technology (2009) : 492-495.

Gen, M. and Cheng, R. Genetic algorithms and engineering optimization: John Wiley & Sons, Inc., 2000.

Gen, M. and Lin, L. Multi-objective hybrid genetic algorithm for bicriteria network design problem. Complexity International 11 (2005) : 73-83.

Ghosh, S and Gagnon, R. J. A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly system. International Journal of Production Research 27 (1989) : 637-670.

Goldberg, D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Reading, NY, Addison-Wesley (1989).

Guner, A. R. and Sevkli, M. A discrete particle swarm optimization algorithm for uncapacitated facility location problem. Journal of Artificial Evolution and Applications (2008) : 1-9.

Gupta, J. N. D., Hennig, K. and Werner, F. Local search heuristics for two-stage flow shop problems with secondary criterion. Computers & Operations Research 29 (2002) : 123-149.

Hakansson, J., Skoog, E. and Eriksson, K. A review of assembly line balancing and sequencing including line layouts. Department of Engineering Science University West (2008) : 69-84.

Hart, W. E. Adaptive global optimization with local search. University of California at San Diego, La Jolla, CA, 1994.

Hwang, R. K. and Katayama, H. A multi-decision genetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems. International Journal of Production Research 47 (2009) : 3797–3822.

Hwang, R. K., Katayama, H. and Gen, M. U-shaped assembly line balancing problem with genetic algorithm. International Journal of Production Research 46 (2008) : 4637–4649.

Ishibuchi, H., Yoshida, T. and Murata, T. Balance between genetic search and local search in memetic algorithms for multiobjective permutation flowshop scheduling. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 7 (2003) : 1-55.

Kashan, A. H. and Karimi, B. A discrete particle swarm optimization algorithm for scheduling parallel machines. Computers & Industrial Engineering 56 (2009) : 216–223.

Kennedy, J. and Eberhart, R. Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ (1995) : 1942-1948.

Kennedy, J., Eberhart, R. and Shi, Y. Swarm Intelligence. Morgan Kaufmann division of Academic Press (2001).

Kim, Y. K., Hyun, C. J. and Kim, Y. Sequencing in mixed model assembly lines: a genetic algorithm approach. Computers & Operations Research 23 (1996) : 1131-1145.

Kim, Y. K., Kim, Y. H. and Kim, Y. J. Two-sided assembly line balancing: a genetic algorithm approach. Production Planning & Control 11 (2000) : 44 –53.

Kim, Y. K., Song, W. S. and Kim, J. H. A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. Computers & Operations Research 36 (2009) : 853-865.

Kim, Y. K., Kim, Y. J. and Kim, Y. H. Genetic algorithms for assembly line balancing with various objectives. Computers & Industrial Engineering 30 (1996) : 397-409.

Konak, A., Coit, D. W. and Smith, A. E. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. Reliability Engineering and System Safety 91 (2006) : 992-1007.

Krasnogor, N. and Smith, J. E. A tutorial for competent memetic algorithms: model, taxonomy and design issues. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 9 (2005) : 474-488.

Kumar R. and Singh P. K. Pareto evolutionary algorithm hybridized with local search for bi-objective TSP. Studies in Computational Intelligence 75 (2007) : 361-398.

Lacomme, P., Prins, C. and Sevaux, M. A genetic algorithm for a bi-objective capacitated arc routing problem. Computers & Operations Research 33 (2006) : 3473–3493.

Lapierre, S. D. and Ruiz, A. B. Balancing assembly lines: an industrial case study. Journal of Operational Research Society 55 (2004) : 589-597.

Lee, T. O., Kim, Y. H. and Kim, Y. K. Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness. Computers & Industrial Engineering 40 (2001) : 273-292.

Liao, C. J., Tseng, C. T. and Luarn, P. A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems. Computers & Operations Research 34 (2007) : 3099 – 3111.

Li, M. and Zheng, J. Spread assessment for evolutionary multi-objective optimization. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2009) : 216-230.

Li, X. Better spread and convergence: Particle swarm multiobjective optimization using the maximin fitness function. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2004) : 117-128.

Liu, B., Wang, L., Jin, Y. and Huang, D. Designing neural networks using PSO-based memetic algorithm. Springer-Verlag Berlin Heidelberg (2007) : 219–224.

Liu, D. S., Tan, K. C., Huang, S. Y., Goh, C. K. and Ho, W. K. On solving multiobjective bin packing problems using evolutionary particle swarm optimization. European Journal of Operational Research 190 (2008) : 357–382.

Mansouri, S. A. A multi-objective genetic algorithm for mixed-model sequencing on JIT assembly lines. European Journal of Operational Research 167 (2005) : 696–716.

McMullen, P. R. An efficient frontier approach to addressing JIT sequencing problems with setups via search heuristics. Computers and Industrial Engineering (2000) : 335-353.

Minsky, M. Negative Expertise. International Journal of Expert Systems 7 (1994) : 13-19.

Moghaddam, R. T. and Vahed, A. R. Multi-criteria sequencing problem for a mixed-model assembly line in a JIT production system. Applied Mathematics and Computer 181 (2006a) : 1471-1481.

Moghaddam, R. T. and Vahed, A. R. A memetic algorithm for multi-criteria sequencing problem for a mixed-model assembly line in a JIT production system. IEEE Congress on Evolutionary Computation (2006b) : 2993-2998.

Moghaddam, R. T., Saremi, A. R. and Ziaee, M. S. A memetic algorithm for a vehicle routing problem with backhauls. Applied Mathematics and Computation 181 (2006) : 1049-1060.

Moscato, P. On evolution, search, optimization, genetic algorithms and martial arts: Towards memetic algorithms. Technical Report Caltech Concurrent Computation Program 826 (1989).

Ovalle, O. R. and Almanza, A. A. Solving a two-sided assembly line balancing problem using memetic algorithms. Ingenieria Universidad (Colombia) 13 (2009) : 267-280.

Ozcan, U. and Toklu, B. Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. Computers & Operations Research (2009a) : 1955-1965.

Ozcan, U. and Toklu, B. A tabu search algorithm for two-sided assembly line balancing. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2009b) : 822-829.

Ozcan, U. and Toklu, B. Balancing of mixed-model two-sided assembly lines. Computers & Industrial Engineering (2009c) : 217-227.

Ozcan, U. and Toklu, B. Balancing two-sided assembly lines with sequence-dependent setup times. International Journal of Production Research (2009d) : 1-21.

Ozcan, U. Balancing stochastic two-sided assembly lines: A chance-constrained, piecewise-linear, mixed integer program and a simulated annealing algorithm. European Journal of Operational Research 205 (2010) : 81-97.

Parames Chutima and Penpak Pinkoompee. Multi-objective sequencing problems of mixed-model assembly systems using memetic algorithms. ScienceAsia 35 (2009) : 295-305.

Parames Chutima, Noppon Kampirom, Warin Wattanapornprom and Prabhas Chongstitvatana. Application of combinatorial optimization with coincidence for multi-objective sequencing problems on mixed-model U-shaped assembly lines in JIT production systems. Annual Conference of Kasetsart University (2008).

Parviainen, J. and Eriksson, M. Negative knowledge, expertise and organizations. International Journal of Management Concepts and Philosophy 2 (2006) : 140-153.

Poli, R., Kennedy, J. and Blackwell, T. Particle swarm optimization: An overview. Swarm Intell 1 (2007) : 33-57.

Premalatha, K. and Natarajan, A.M. A new approach for data clustering based on PSO with local search. Computer and Information Science 1 (2008) : 139-145.

Rameshkumar, K., Suresh, R. K. and Mohanasundaram, K. M. Discrete particle swarm optimization (DPSO) algorithm for permutation flowshop scheduling to minimize makespan. Lecture Notes in Computer Science 3612 (2005) : 572-581.

Ronnachai Sirovetnukul and Parames Chutima. The impact of walking time on U-shaped assembly line worker allocation problems. Chulalongkorn University's Engineering Journal 14 (2010) : 53-78.

Salman, A., Ahmad, I. and Al-Madani, S. Particle swarm optimization for task assignment problem. Microprocessors and Microsystems 26 (2002) : 363–371.

Schaffer, J. and Eshelman, L. Combinatorial optimization by genetic algorithms: the value of the genotype/phenotype distinction: Modern Heuristic Search Method, Wiley, New York, 1996.

Scholl, A. and Klein, R. Balancing assembly line effectively: A computational comparison. European Journal of Operational Research 114 (1999) : 50-58.

Shi, Y. and Eberhart, R. A modified particle swarm optimizer. Proceedings of the IEEE congress on evolutionary computation (1998) : 69–173.

Simaria, A. S. and Vilarinho, P. M. 2-ANTBAL: An ant colony optimisation algorithm for balancing two-sided assembly lines. Computers & Industrial Engineering (2007) : 489-506.

Supaporn Suwannarongsri and Deacha Puangdownreong. Solving assembly line balancing problem by modified COMSOAL method. Technology and Innovation for Sustainable Development International Conference (2010).

Tasgetiren, M. F., Suganthan, P. N. and Pan, Q. K. A discrete particle swarm optimization algorithm for the generalized traveling salesman problem. GECCO (2007) : 158-165.

Tseng, C. T. and Liao, C. J. A discrete particle swarm optimization for lot-streaming flowshop scheduling problem. European Journal of Operational Research 191 (2008) : 360-373.

Tsutsui, S. Probabilistic model-building genetic algorithms in permutation representation domain using edge histogram. Proceedings of the 7th International Conference on Parallel Problem Solving from Nature (2002) : 224-233.

Warin Wattanapornprom, Panuwat Olanviwitchai, Parames Chutima and Prabhas Chongstitvatana. Multiobjective combinatorial optimization with coincidence algorithm. IEEE Congress on Evolutionary Computation (2009) : 1675-1682.

Wu, E. F., Jin, Y., Bao, J. S. and Hu, X. F. A branch-and-bound algorithm for two-sided assembly line balancing. International Journal of Advanced Manufacturing Technology (2008) : 1009-1015.

Xiaofeng, H., Erfei, W. and Ye, J. A station-oriented enumerative algorithm for two-sided assembly line balancing. European Journal of Operational Research 186 (2008) : 435-440.

Zitzler, E., Deb, K. and Thiele, L. Comparison of multiobjective evolutionary algorithms: empirical results. Evolutionary Computation 8 (2) : 173-195.

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง

ปัญหาขนาด 12 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ขั้นงานของ Kim et al. (2000)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
1	L	2	3	4
2	R	3	3	5
3	E	2	0	6
4	L	3	2	7
5	E	1	2	7, 8, 9
6	L	1	0	9
7	E	3	2	10
8	R	3	1	10
9	E	2	1	11
10	E	2	3	-
11	E	0	2	12
12	R	0	1	-

ปัญหาขนาด 65 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 65 ขั้นงานของ Lee et al. (2001)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	
1	E	35	26	28	3
2	E	14	15	38	3
3	E	1	54	58	4, 23
4	E	18	1	11	5, 6, 7, 9, 11, 12, 25, 26, 27, 41, 45, 49
5	E	36	33	16	14
6	E	29	26	2	14
7	R	159	61	88	8
8	R	70	5	54	14

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	
9	L	24	16	32	10
10	L	99	40	43	14
11	E	56	56	40	14
12	E	51	47	12	14
13	E	94	132	33	14
14	E	29	6	54	15, 18, 20, 22
15	E	39	1	33	16
16	L	15	16	121	17
17	L	11	2	12	31
18	R	74	58	184	19
19	R	34	14	10	21
20	E	19	19	77	21
21	E	14	14	24	31
22	E	12	24	8	31
23	E	19	61	8	24
24	E	38	76	22	31
25	L	89	43	33	31
26	R	66	45	45	31
27	R	27	6	35	28
28	R	189	249	227	50
29	L	2	48	82	50
30	L	21	33	25	50
31	E	6	5	4	32, 36, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62
32	E	18	12	3	33
33	E	13	53	3	34
34	E	41	39	52	35
35	R	21	63	34	50
36	E	33	28	8	37
37	E	147	103	79	38
38	E	43	12	85	39, 40

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	
39	L	15	24	19	50
40	R	27	1	7	50
41	E	4	5	17	42
42	E	25	80	104	43
43	E	22	18	28	62
44	R	3	7	23	46
45	L	44	35	15	46
46	E	26	34	20	47
47	L	2	19	10	48
48	L	41	44	18	50
49	E	9	3	16	16
50	E	8	46	5	66
51	R	20	13	40	65
52	E	35	13	31	65
53	L	14	5	2	65
54	E	38	93	35	65
55	R	11	23	12	65
56	E	56	7	79	57
57	E	23	98	67	65
58	L	52	64	23	65
59	R	16	2	19	65
60	E	10	24	3	65
61	R	98	66	37	65
62	E	3	11	5	63
63	L	117	15	3	64
64	L	54	85	143	65
65	E	35	26	55	-

ปัญหาขนาด 148 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 148 ขั้นงานของ Bartholdi (1993)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
1	E	12	10	10	6	5, 6, 7, 8
2	E	10	24	1	24	3
3	E	7	6	1	4	4, 5, 6, 7
4	E	42	38	19	46	8
5	E	26	3	29	12	14
6	E	5	7	1	6	9
7	E	19	13	25	26	14
8	E	11	11	32	32	10
9	E	20	33	30	8	14
10	E	21	29	8	16	14
11	E	3	18	12	1	12
12	E	7	2	2	10	13
13	E	10	2	10	13	-
14	E	6	15	16	7	15, 16
15	L	16	10	10	35	17
16	R	23	23	39	18	17
17	E	6	3	2	6	18, 19
18	L	3	12	23	7	20
19	R	20	10	8	23	20
20	E	6	6	4	2	21, 22, 23, 24
21	R	5	6	7	7	25, 26, 27, 28
22	L	1	5	8	4	25, 26, 27, 28
23	L	10	8	8	7	25, 26, 27, 28
24	R	6	6	5	2	25, 26, 27, 28
25	R	3	11	2	5	29
26	R	10	13	5	13	29
27	L	4	8	7	3	29
28	L	24	17	14	11	29
29	E	2	10	6	9	31

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
30	R	18	25	2	7	-
31	E	3	4	9	4	36
32	L	1	6	8	6	34
33	R	13	2	4	11	35
34	L	20	16	7	30	36
35	R	40	23	5	33	36
36	R	20	23	24	11	37
37	R	3	2	5	2	38, 45
38	R	75	9	37	23	39
39	R	7	6	3	6	40
40	R	12	5	2	14	41, 48, 55
41	R	38	15	12	24	-
42	L	5	6	2	9	43
43	L	8	29	20	25	44
44	L	62	23	37	6	-
45	L	52	34	78	10	46
46	L	7	5	3	2	47
47	L	21	10	42	6	48, 49, 55
48	E	1	5	8	13	-
49	L	26	20	41	40	-
50	E	23	25	34	12	51
51	L	18	15	25	7	53, 69
52	L	6	7	10	7	53
53	L	51	61	28	74	-
54	L	13	18	23	10	133
55	R	3	3	2	5	54, 72, 76, 87, 88
56	E	7	17	11	26	73
57	L	7	3	9	10	79
58	L	33	42	9	43	84, 86
59	E	4	14	2	2	75, 87

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
60	E	3	2	2	1	-
61	E	1	2	1	3	62
62	E	5	5	3	5	63
63	E	13	13	7	15	67
64	R	26	4	22	25	65, 71, 72
65	E	1	4	4	3	66, 99
66	E	19	15	14	9	67
67	E	8	4	5	5	68
68	E	14	3	10	6	95, 98
69	R	4	6	3	13	82
70	R	12	7	6	12	71
71	R	27	46	48	34	-
72	R	14	4	14	25	134
73	E	23	37	27	19	84, 86, 87, 88, 96
74	E	29	4	31	29	75
75	E	51	17	24	34	88, 97
76	E	5	1	4	5	77
77	E	23	10	28	24	78
78	E	6	8	8	4	79
79	E	15	107	90	78	80
80	E	4	1	2	2	81
81	E	14	12	4	8	106
82	E	7	9	6	3	83, 89, 143, 146
83	E	20	9	8	17	-
84	E	7	13	7	24	85
85	E	13	8	9	18	-
86	E	13	21	12	8	-
87	E	42	13	13	9	-
88	E	9	1	18	20	111
89	E	5	10	6	12	90

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
90	E	15	9	2	9	79
91	E	40	83	37	93	105
92	E	6	22	34	10	135
93	L	25	4	27	17	-
94	E	29	43	27	12	-
95	E	18	2	10	16	101
96	E	9	13	13	17	104
97	E	6	12	5	2	-
98	E	31	5	23	32	101
99	E	13	49	44	24	100
100	E	20	31	34	16	101
101	E	7	11	13	6	102, 103
102	E	17	4	6	19	127
103	E	8	3	14	7	127
104	E	1	20	14	35	-
105	E	53	49	11	7	119
106	E	1	5	12	6	107
107	E	9	8	6	7	108
108	E	7	12	2	37	109
109	E	32	33	14	19	110
110	E	20	28	20	8	-
111	E	6	9	14	9	112
112	L	87	70	94	9	113
113	L	7	3	12	11	114, 116, 120, 123, 128
114	E	20	17	9	16	115
115	E	15	5	3	11	125
116	E	2	12	22	4	117
117	E	5	10	14	19	118
118	E	9	9	22	9	126
119	E	22	23	47	24	-

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
120	E	23	21	14	30	121
121	E	22	18	8	20	122
122	E	20	13	25	8	126
123	E	14	18	6	8	124
124	E	1	5	15	12	125
125	E	12	13	6	11	-
126	E	39	42	5	27	-
127	E	24	5	26	39	-
128	L	5	4	9	9	129
129	L	8	7	8	2	130
130	L	6	9	2	5	131, 137
131	L	9	11	11	15	-
132	E	3	16	3	12	135
133	L	15	13	15	9	135
134	R	19	16	13	10	135
135	E	35	8	4	12	136
136	E	50	62	23	45	-
137	L	18	2	18	12	-
138	E	4	10	15	15	139
139	E	23	1	24	34	140
140	E	1	22	3	7	-
141	L	89	123	7	9	142
142	R	85	48	62	76	143, 146, 147, 148
143	L	48	30	22	6	-
144	L	70	98	131	100	145
145	R	90	112	58	110	147, 148
146	R	47	45	48	13	-
147	L	61	6	20	75	-
148	R	65	18	15	19	-

ปัญหาขนาด 205 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงานของ Lee et al. (2001)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
1	E	153	283	92	460	36
2	E	19	21	34	7	3, 4
3	R	157	219	218	172	5
4	L	68	42	103	18	5
5	E	3	116	132	68	7, 13
6	E	87	5	41	10	36
7	R	46	51	0	3	8
8	R	38	57	16	22	9
9	R	16	6	12	15	10
10	R	106	102	70	26	11
11	R	19	1	29	24	12
12	R	0	7	24	12	36
13	L	1	24	22	31	14
14	L	52	23	20	17	15
15	L	20	8	19	25	16
16	L	98	22	36	39	17
17	L	2	31	0	31	18
18	L	40	37	15	22	36
19	E	38	13	32	17	36
20	E	64	33	8	42	22
21	E	28	34	69	11	22
22	E	37	35	33	11	23
23	E	3	2	6	12	24, 34
24	E	3	31	70	61	26, 27, 28
25	R	10	66	45	82	28
26	L	10	9	0	10	35
27	R	17	28	13	37	35
28	R	23	19	41	34	29
29	R	5	38	41	30	30, 33

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
30	R	45	14	58	64	31, 32
31	R	42	23	2	19	35
32	R	15	5	6	7	35
33	R	11	8	13	8	35
34	L	10	5	6	9	35
35	E	46	9	22	85	36
36	E	33	59	14	37	37, 40, 41, 42, 62, 69, 72, 75, 83, 110, 111, 112
37	L	13	20	0	4	38
38	L	9	10	1	9	39
39	L	8	6	5	0	45
40	E	37	12	29	62	43, 54
41	E	5	190	91	46	92
42	E	44	54	69	70	43, 54
43	L	10	16	34	15	44
44	L	14	40	24	78	45
45	L	18	15	3	17	46, 48, 51, 53
46	L	5	4	5	1	47
47	L	28	13	26	14	92
48	L	2	9	22	34	49
49	L	10	9	9	0	50
50	L	7	9	10	43	92
51	L	138	215	62	194	52
52	L	63	64	8	3	92
53	L	14	14	6	30	92
54	R	41	5	34	2	55
55	R	8	84	64	12	56, 59, 61
56	R	3	22	34	32	57
57	R	3	2	11	2	58
58	R	10	15	30	31	92
59	R	115	196	208	215	60

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
60	R	44	72	25	23	92
61	R	42	12	82	62	92
62	E	3	2	23	16	63
63	E	26	8	35	6	64
64	E	13	30	19	29	65, 68
65	E	86	103	77	45	66
66	E	135	77	95	92	67
67	E	6	10	23	13	80
68	E	22	4	14	0	80
69	E	21	49	34	10	70
70	E	77	58	40	55	71
71	E	10	6	9	14	73
72	E	140	55	127	127	73
73	E	142	309	200	4	74
74	E	63	72	79	2	76
75	E	324	290	222	356	92
76	E	83	54	96	82	77, 78, 79
77	E	111	132	160	86	80, 82
78	L	35	42	30	65	80
79	R	31	51	37	58	80
80	E	40	4	103	93	81
81	E	24	26	39	10	84
82	E	77	88	16	2	92
83	E	296	261	194	34	92
84	E	9	86	8	33	85
85	E	25	118	109	97	86, 88, 90
86	E	40	84	9	86	87
87	E	19	9	50	59	92
88	E	48	33	85	52	89
89	E	34	19	13	13	92

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
90	R	26	88	74	58	91
91	R	11	55	32	77	92
92	R	5	72	49	89	93, 94, 95, 96, 97, 98, 99
93	R	177	69	137	143	135
94	E	162	83	39	415	135
95	R	46	28	39	44	113
96	E	140	86	189	201	113
97	E	7	7	16	5	100
98	E	36	45	43	49	100
99	E	47	23	47	49	100
100	E	19	1	70	17	101, 103, 105, 109, 130, 131, 134
101	E	30	33	38	43	102
102	E	4	3	10	8	113
103	E	29	18	10	40	104
104	R	12	11	10	31	113
105	L	125	67	215	89	106, 107
106	L	83	58	77	45	108
107	E	66	36	6	14	108
108	L	7	21	21	24	113
109	E	93	14	83	31	113
110	R	240	151	236	95	113
111	L	6	33	39	43	113
112	R	274	30	227	77	113
113	E	30	8	30	29	114, 115, 116, 117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 161, 162, 163, 169, 171, 174, 203, 204, 205
114	L	16	52	107	95	160
115	E	36	34	0	10	160
116	R	22	67	19	155	160
117	E	23	40	25	13	160
118	E	203	132	157	177	126

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
119	E	56	5	46	56	126
120	E	14	59	30	37	126
121	E	44	1	33	31	126
122	E	57	49	27	31	126
123	E	19	0	22	12	126
124	E	197	165	3	74	125
125	E	6	5	25	9	126
126	R	135	264	134	109	127, 128, 129
127	E	20	29	9	13	135
128	E	18	47	10	39	135
129	E	2	38	50	24	135
130	R	5	2	11	36	136
131	E	79	164	926	877	132
132	R	268	139	188	54	133
133	R	556	219	228	355	189
134	R	229	334	219	365	189
135	L	16	64	58	38	136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 158
136	L	1	34	34	38	189
137	E	39	35	29	16	160
138	E	26	20	40	44	160
139	E	12	36	232	55	160
140	L	4	13	92	48	143
141	L	77	100	142	2	143
142	L	109	13	82	19	143
143	L	49	41	47	23	160
144	E	118	187	318	33	160
145	E	196	150	130	104	146
146	L	77	76	63	54	160
147	L	35	18	38	28	160

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
148	R	27	37	44	18	160
149	R	38	43	22	53	160
150	R	41	43	45	20	160
151	E	58	82	57	93	160
152	L	29	7	30	6	160
153	L	19	16	8	16	154
154	E	6	0	8	55	155
155	E	82	99	180	179	156
156	E	201	98	96	167	157
157	E	4	14	33	48	189
158	R	34	10	10	2	159
159	R	13	34	12	9	189
160	E	17	30	18	6	164, 170, 178, 179, 184
161	R	30	17	39	40	167
162	R	8	63	17	52	165
163	R	25	3	20	13	164
164	R	16	46	67	96	165
165	R	13	61	55	1	166
166	R	67	97	40	28	167
167	R	65	87	49	58	168
168	R	52	20	28	72	177
169	L	56	12	58	48	170
170	L	73	16	77	59	172
171	L	36	48	25	51	172
172	L	94	0	79	59	173
173	L	13	90	70	75	175
174	L	40	50	64	5	175
175	L	75	69	8	64	176
176	L	46	101	84	29	177
177	E	0	8	10	7	185, 186, 187, 188, 194, 195

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	C	D	
178	E	49	158	177	79	180
179	L	16	78	15	36	180
180	L	41	54	33	7	181, 183
181	L	18	18	5	15	182
182	L	33	16	47	10	-
183	L	79	48	134	75	-
184	L	11	25	53	22	-
185	E	71	134	109	194	189
186	R	3	2	2	11	189
187	R	70	12	2	47	189
188	L	5	3	66	2	189
189	E	89	124	73	20	190, 191, 193
190	E	42	92	55	96	-
191	R	5	70	186	149	192
192	E	149	153	45	21	-
193	R	17	1	20	1	-
194	E	5	19	6	112	197
195	L	83	17	32	22	196
196	R	40	24	50	21	197
197	R	25	8	29	9	198, 199, 201
198	R	241	281	238	82	-
199	R	12	6	8	8	200
200	R	24	20	12	8	-
201	L	117	42	108	143	202
202	L	53	2	85	20	-
203	L	9	28	91	12	-
204	E	39	6	66	31	-
205	E	144	6	131	73	-

ปัญหาขนาด 183 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงานของบริษัท ธนบุรีประกอบรถยนต์ จำกัด

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
1	L	0.51	0.59	5
2	R	0.57	0.63	6
3	L	1.38	1.54	7
4	R	3.28	3.02	8
5	L	2.01	2.02	12, 15, 17, 28, 36
6	R	1.5	2.32	9, 13, 16, 18, 29, 36
7	L	1.24	1.12	19, 30, 36
8	R	1.44	2.14	20, 31, 36
9	R	5.08	6.32	29
10	L	0.4	0.34	14, 21
11	R	0.4	0.46	21
12	L	2.06	3.34	43
13	R	2.06	3.16	44, 56
14	E	1	2.28	56
15	L	1.28	2.23	37
16	R	2.44	3.01	38
17	L	3.18	4.56	39
18	R	4.55	5.25	40
19	L	3.26	2.87	41
20	R	3.42	3.29	42
21	E	1.24	1.39	43, 44
22	E	1.14	1.29	49, 50
23	R	3.41	0.2	-
24	L	0.2	0.2	-
25	R	0.21	0.2	52
26	L	0.2	0.21	51
27	E	0.22	0.21	49, 50
28	L	0.2	0.21	45, 50, 55
29	R	0.2	0.21	46, 50, 55

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
30	L	0.2	0.2	47, 49, 50, 54
31	R	1.26	1.1	48, 49, 50, 54
32	E	0.19	0.2	49, 54
33	L	0.22	0.2	57
34	R	0.2	0.2	58
35	E	0.21	0.2	49, 54, 59
36	E	1.04	0.21	53
37	L	0.44	0.21	124
38	R	0.44	0.2	125
39	L	0.44	0.21	115, 126
40	R	0.44	0.21	116, 127
41	L	1.04	0.21	128, 134
42	R	1.04	0.21	129, 135
43	L	0.22	0.2	73, 92
44	R	0.22	0.22	73
45	L	0.22	0.22	84, 85, 86, 87
46	R	0.22	0.22	84, 85, 86, 87
47	L	0.44	0.4	83, 88, 89
48	R	1.28	1.14	83, 88, 89
49	E	1.38	1.58	57, 58, 76, 81, 83, 88, 89
50	E	1.57	2.19	54, 71, 72, 74
51	L	2.06	2.16	155
52	R	2.32	2.06	155, 156
53	E	2.28	3.13	99
54	E	2.3	2.4	59
55	E	2.05	2.05	91
56	E	1.14	1.25	77, 78, 79
57	L	0.22	2.08	59, 70
58	R	0.44	0.41	70
59	E	0.44	0.41	60, 61

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
60	E	1.22	1.22	61, 62, 63, 64, 66, 67, 68
61	E	1.04	1.01	62, 63, 64
62	E	0.54	0.55	67
63	L	1.04	1.01	65
64	R	1.24	1.21	65
65	E	8.1	7.02	66
66	E	1.35	1.35	67
67	E	1	0.56	68
68	E	1.56	2.02	69
69	E	0.34	0.31	70, 80, 82, 83
70	E	0.34	0.31	-
71	L	1.34	1.31	-
72	R	1.34	1.31	-
73	R	0.58	0.55	76
74	E	1.43	1.55	75
75	L	2.06	2.06	-
76	L	2.02	2.22	-
77	L	4.23	5.03	-
78	R	6.32	6.12	85
79	E	1.04	1.02	84
80	E	7.22	7.22	81
81	E	2.22	2.28	82
82	E	4.17	4.05	-
83	L	1.06	1.26	85, 88, 89, 91, 94, 95, 97, 147
84	L	1.52	1.42	86, 87, 90, 91, 93, 148
85	R	1.52	1.42	86, 87, 90, 98, 130
86	R	1.54	2.32	87, 90
87	R	1.52	1.42	88, 91, 93, 94, 98
88	R	1.52	1.42	95, 96, 97, 102
89	E	11.7	13.22	94, 95, 96

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
90	R	0.44	1.05	92, 93, 97
91	L	1.76	2.2	92, 97, 98
92	L	8.42	6.02	111
93	E	1.04	1.24	-
94	L	0.64	0.54	-
95	E	0.54	0.84	-
96	L	6.02	5.22	-
97	E	3.08	2.28	-
98	R	2.15	2.25	102
99	E	1.86	1.66	100, 101, 114, 149, 150, 151, 152, 153, 154, 157, 160
100	E	1.38	1.02	149, 150, 151, 152
101	E	1.38	1.02	153, 154
102	E	1.06	1.14	103, 104, 105, 106, 107, 108, 109
103	R	2.01	2.41	104, 105, 118
104	E	7.02	6.02	105, 106, 107, 108
105	R	6.18	5.52	106, 107, 108, 109, 131
106	E	5.35	5.09	107, 108, 109, 119
107	R	1.26	1.2	110
108	E	1.04	2.02	110, 117
109	R	3.03	3.03	-
110	E	5.22	5.32	113
111	L	4.01	4.21	112
112	L	1.18	1.28	113
113	R	1.18	1.28	-
114	E	0.44	0.58	115
115	L	0.44	1	116, 132
116	R	0.58	1.08	127, 133
117	E	0.58	1.08	163
118	E	1.14	0.44	120
119	E	3.21	3.01	120, 121, 122, 123

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
120	E	3.21	3.01	121, 122, 123, 157, 160
121	L	4.08	6.28	164
122	R	7.35	4.25	165
123	E	2.36	3.16	166
124	L	2.22	3.22	140
125	R	2.33	3.23	141
126	L	2.14	2.52	-
127	R	1.14	1.15	-
128	L	1.04	1.05	142, 144
129	R	0.54	1.05	143
130	R	0.44	0.52	-
131	R	1.06	1.25	-
132	L	0.58	1.15	141, 142
133	R	1.24	1.45	136, 140, 141
134	L	1.14	1.55	137, 142
135	R	0.44	1.05	138, 142,143
136	L	1.14	1.25	-
137	R	1.48	2.08	139
138	L	1.14	2.09	-
139	R	1.48	2.27	-
140	L	2.22	2.27	144, 145, 146, 147, 148
141	R	1.1	1.25	144, 145, 146, 147, 148
142	L	0.5	1.15	144, 145, 146, 147, 148
143	R	0.2	0.22	144, 145, 146, 147, 148
144	E	0.2	0.22	145
145	E	0.22	0.22	146
146	E	0.2	0.22	147
147	E	1.26	1.06	-
148	L	1.22	1.05	-
149	L	10.29	10.29	-

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
150	R	1.43	1.05	-
151	L	1.14	1.05	-
152	R	10.39	10.39	-
153	L	1.1	1.28	-
154	R	1.11	1.25	-
155	L	1.56	3.06	158
156	R	5.5	3.06	-
157	E	7.13	7.05	158, 159
158	L	6.32	8.32	159
159	R	1.28	1.29	-
160	E	1.54	2.13	161, 162
161	L	5.48	6.28	-
162	R	7.25	6.05	-
163	E	4.06	4.06	-
164	L	1.3	1.3	165
165	R	1.24	1.25	166
166	E	2.28	2.28	167, 168
167	E	1.24	1.25	168
168	E	2.28	2.28	169
169	L	2.21	2.25	171, 172, 173, 174
170	R	2.06	2.26	171, 172, 173, 174
171	L	2.02	3.02	172, 173, 174, 179
172	R	7.23	7.03	173, 174
173	R	4.32	5.22	174, 181
174	L	5.01	5.21	175, 176, 177, 178, 182
175	R	7.02	8.22	176, 177, 178, 179
176	L	0.56	1.05	177, 178, 180
177	R	0.54	1.15	178, 180, 181
178	L	1.1	0.56	182
179	R	2.26	2.06	-

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 183 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานที่ทำถัดไป
		A	B	
180	R	0.54	1.05	-
181	R	5.03	4.43	-
182	L	5.12	5.12	183
183	L	4.01	4.41	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ผลการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ผลการทดลอง

จากผลการทดลองโดยใช้วิธี COMSOAL วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่ในบทที่ 9 มีลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงานดังนี้

1. การค้นหาคำตอบของปัญหา 12 ขั้นงาน

1.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

1.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	2	3	6	1	5	4	9	11	8	12	7	10
	3	6	1	2	4	5	9	8	7	11	10	12
สถานีงาน	2	1	1	1	2	3	4	4	4	4	3	5
	1	1	1	2	3	2	4	4	3	4	6	6

1.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.2 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	3	6	1	4	2	5	9	11	12	8	7	10
	3	6	1	4	2	5	9	11	8	7	10	12
สถานีงาน	1	1	1	3	2	2	4	4	4	4	3	5
	1	1	1	3	2	2	4	4	4	3	6	6

1.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.3 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	2	1	3	6	4	5	9	11	12	7	8	10
	3	6	1	4	2	5	9	11	8	7	10	12
สถานีงาน	2	1	1	1	3	2	4	4	4	3	4	5
	1	1	1	3	2	2	4	4	4	3	6	6

1.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.4 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	2	1	3	6	4	5	9	11	12	7	8	10
	3	2	6	1	5	8	4	9	7	11	10	12
สถานีงาน	2	1	1	1	3	2	4	4	4	3	4	5
	1	2	1	1	2	4	3	4	3	4	6	6

1.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.5 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	3	6	1	4	2	5	9	11	12	7	8	10
	3	1	6	4	2	5	9	11	7	8	10	12
สถานีงาน	1	1	1	3	2	2	4	4	4	3	4	5
	1	1	1	3	2	2	4	4	3	4	6	6

1.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.6 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	3	2	6	1	4	5	9	11	12	8	7	10
	3	1	6	2	5	4	8	9	7	11	10	12
สถานีงาน	1	2	1	1	3	2	4	4	4	4	3	5
	1	1	1	2	2	3	4	4	3	4	6	6

1.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.7 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5

ลำดับขั้นงาน	2	3	6	1	4	5	9	11	12	7	8	10
	3	6	1	4	2	5	9	11	7	8	10	12
สถานีงาน	2	1	1	1	3	2	4	4	4	3	4	5
	1	1	1	3	2	2	4	4	3	4	6	6

1.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

1.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.8 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	1	4	2	5	6	8	7	9	11	12	10
	3	2	1	5	4	6	9	7	11	8	10	12
	1	3	2	4	6	5	8	7	9	10	11	12
สถานีงาน	1	1	1	2	2	1	2	3	4	4	4	3
	1	2	1	2	1	1	4	3	4	4	3	4
	1	2	2	1	1	2	4	3	4	3	4	4

1.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.9 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	1	4	6	2	5	8	7	9	11	12	10
	3	1	4	6	2	5	9	7	11	8	12	10
	1	4	3	2	5	8	7	10	6	9	11	12
สถานีงาน	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4	3
	1	1	1	1	2	2	4	3	4	4	4	3
	1	1	2	2	2	4	3	4	3	3	3	4

1.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.10 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	1	6	4	2	5	8	7	9	11	12	10
	3	1	2	4	6	5	9	7	8	10	11	12
	1	3	6	4	2	5	8	7	9	10	11	12
สถานีงาน	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4	3
	1	1	2	1	1	2	4	3	4	3	4	4
	1	2	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4

1.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.11 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	2	1	3	4	6	5	8	7	9	11	12	10
	3	1	4	6	2	5	9	8	7	10	11	12
	2	1	4	3	5	7	8	10	6	9	11	12
สถานีงาน	2	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4	3
	1	1	1	1	2	2	4	4	3	3	4	4
	2	1	1	2	2	3	4	4	3	3	3	4

1.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.12 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	1	4	6	2	5	8	7	9	11	10	12
	3	1	4	6	2	5	9	7	8	10	11	12
	1	4	3	2	5	7	8	10	6	9	11	12
สถานีงาน	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	3	4
	1	1	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4
	1	1	2	2	2	3	4	4	3	3	3	4

1.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.13 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	1	6	4	2	5	8	7	9	11	10	12
	3	1	4	6	2	5	9	7	11	8	12	10
	1	3	4	6	2	5	8	7	9	10	11	12
สถานีงาน	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	3	4
	1	1	1	1	2	2	4	3	4	4	4	3
	1	2	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4

1.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.14 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7

ลำดับขั้นงาน	3	2	1	5	8	6	4	7	9	11	10	12
	2	3	1	4	6	5	9	8	7	10	11	12
	1	3	6	4	2	5	8	7	9	10	11	12
สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	1	3	4	4	3	4
	2	1	1	1	1	2	4	4	3	3	4	4
	1	2	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4

1.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

1.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.15 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	1	2	4	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	1	2	3	4	6	5	9	7	11	8	10	12
	3	6	2	1	5	9	4	8	7	10	11	12
	3	6	2	5	9	1	11	8	4	12	7	10
สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	2	1	1	1	2	2	3	4	4	3	4
	1	1	2	1	2	1	3	2	4	3	4	4
	1	1	2	1	2	1	2	4	3	4	3	4

1.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.16 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	1	4	2	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	3	1	4	6	2	5	9	7	8	11	12	10
	3	6	2	1	5	9	11	8	12	4	7	10
สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4	3
	1	1	2	1	2	1	2	4	4	3	3	4

1.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.17 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	2	1	4	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	3	1	4	6	2	5	9	7	11	12	8	10
	3	6	1	2	5	9	11	8	12	4	7	10
สถานีงาน	2	1	1	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	1	1	1	2	2	2	3	4	4	4	3
	1	1	1	2	2	1	2	4	4	3	3	4

1.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.18 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	1	2	4	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	3	1	4	2	6	5	9	8	7	11	10	12
	3	2	1	6	5	9	4	11	8	12	7	10
สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	1	1	2	1	2	2	4	3	4	3	4
	1	2	1	1	2	1	3	2	4	4	3	4

1.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.19 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	1	4	2	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	2	3	1	4	6	5	9	7	8	11	12	10
	1	2	3	6	5	8	9	4	7	10	11	12
	3	2	5	1	8	6	9	4	11	12	7	10
สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	2	1	1	1	1	2	2	3	4	4	4	3
	1	2	1	1	2	2	1	3	4	3	4	4
	1	2	1	1	2	1	4	3	4	4	3	4

1.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.20 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	2	1	4	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	3	1	4	2	5	6	9	8	7	11	10	12
	3	6	2	1	5	9	4	11	8	12	7	10
สถานีงาน	2	1	1	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	1	1	2	2	1	2	4	3	4	3	4
	1	1	2	1	2	1	3	2	4	4	3	4

1.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.21 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน และการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 12 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

ลำดับขั้นงาน	1	4	2	5	8	7	10	3	6	9	11	12
	1	2	3	4	5	6	9	7	11	12	8	10
	3	1	6	2	5	9	11	8	12	4	7	10
สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	1	2	1	1	2	1	2	3	4	4	4	3
	1	1	1	2	2	1	2	4	4	3	3	4

2. การค้นหาคำตอบของปัญหา 65 ขั้นงาน

2.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

2.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.22 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	44	13	2	1	29	30	3	4	45	6	49	7	23	25	27	28	11	8	9	46
	24	12	41	26	47	42	43	48	10	5	14	18	22	15	16	17	20	19	21	31
	55	60	53	36	56	51	59	57	61	62	52	32	33	34	54	63	35	64	37	38
	58	40	39	50	65															
	44	30	13	2	1	3	23	29	24	4	26	25	11	5	6	49	27	7	45	12
	41	42	9	8	10	43	46	14	18	19	47	28	22	15	48	20	21	16	17	31
	61	55	58	32	33	62	36	63	53	51	34	60	64	56	35	54	59	52	57	37
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.22 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	29	30	2	3	23	13	4	45	41	26	49	44	46	47	27	7	28	24	25
	48	6	8	9	11	42	43	12	10	5	14	18	19	20	21	22	15	16	17	31
	52	61	58	59	36	32	51	55	54	37	33	56	53	60	34	62	35	63	64	38
	39	57	40	50	65															
	2	30	13	44	1	3	4	49	5	26	27	6	11	25	28	7	29	23	41	12
	8	24	9	42	43	10	14	18	20	22	15	45	16	19	21	17	31	36	59	56
	53	54	61	57	58	52	32	62	46	60	37	38	47	39	63	64	48	33	34	55
	35	51	40	50	65															

ตารางที่ ข.23 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	4	1	4	3	3
	3	3	3	4	3	3	3	3	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	5
	6	5	5	6	5	6	6	7	8	7	8	7	7	8	7	7	8	7	8	10
	9	10	9	10	9															
	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	4	1	3
	3	3	3	4	3	4	4	4	6	6	3	8	3	3	3	5	5	5	5	5
	8	8	5	5	5	5	5	7	7	10	7	7	7	7	10	7	10	9	9	10
	9	9	10	10	9															
	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	4	4	3	3
	3	3	6	3	3	3	3	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	7	7	8
	7	8	7	8	7	8	8	8	7	8	7	7	7	7	10	7	10	9	9	10
	9	10	10	9	10															
	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	4	4	1	3	3	3
	6	3	3	3	3	3	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6
	5	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	9	9	9	9	8	10	10
	10	10	10	10	9															

2.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.24 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	13	2	29	30	1	44	3	23	24	4	27	49	45	6	28	5	12	26	9	7
	8	25	46	47	48	41	42	43	11	10	14	18	22	15	19	16	17	20	21	31
	54	51	59	58	55	53	60	62	52	61	56	36	37	38	39	63	64	40	57	32
	33	34	35	50	65															
	30	29	2	1	44	3	23	24	4	49	45	11	5	12	27	28	26	25	9	10
	6	46	47	48	41	42	43	7	8	13	14	18	22	19	15	16	17	20	21	31
	54	51	59	58	55	53	60	62	52	61	56	36	37	38	39	63	64	40	32	33
	34	35	50	57	65															

ตารางที่ ข.24 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 (ต่อ)

	30 29 2 44 1 3 23 24 4 49 5 11 27 28 26 25 9 10 45 46 47 48 6 12 41 42 43 7 8 13 14 15 18 16 17 22 19 20 21 31 54 56 52 59 58 60 62 61 36 37 38 40 39 63 64 53 32 33 34 35 50 55 57 51 65
	1 44 30 13 29 2 3 4 26 49 45 46 47 48 27 12 28 25 6 41 42 43 23 24 11 9 10 7 8 5 14 22 20 18 15 16 17 19 21 31 51 62 63 64 55 61 52 56 57 60 36 37 32 33 34 35 38 40 39 50 58 54 59 53 65
	44 2 29 30 1 3 23 24 4 45 46 47 5 25 11 27 28 41 42 43 9 10 6 12 26 7 8 48 49 13 14 15 18 16 17 22 19 20 21 31 52 55 60 59 51 53 56 57 32 33 34 35 62 61 63 64 54 58 36 37 38 40 39 50 65
	44 29 30 13 2 1 3 4 6 5 25 26 49 41 45 46 27 28 42 43 23 24 7 12 11 9 10 8 14 18 22 20 15 16 17 19 21 31 62 63 61 55 60 54 51 52 36 37 38 39 40 64 56 57 32 33 34 35 59 47 48 50 53 58 65

ตารางที่ ข.25 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 4 1 1 4 1 6 6 3 3 3 3 3 3 3 3 5 5 6 5 5 6 5 5 5 8 7 8 8 8 7 8 7 7 7 7 8 7 7 7 10 9 9 9 10 10 10 10 10 10 9 10
	1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 1 1 2 4 4 1 1 3 3 3 3 3 3 3 3 6 6 5 5 6 5 6 5 5 5 5 8 7 8 8 8 7 8 7 7 7 7 8 7 7 7 10 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 9
	1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 4 4 1 1 1 3 3 3 3 3 3 3 3 3 6 6 5 5 6 6 5 5 5 6 5 7 8 7 8 8 8 7 8 8 8 7 7 8 8 7 9 9 9 10 10 10 10 10 10 9 10 10
	1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 4 3 3 3 3 3 3 3 4 3 5 6 6 5 5 6 5 6 5 5 5 6 7 8 8 7 7 7 8 8 8 8 7 8 8 10 7 7 9 10 9 10 9 10 9 10 10 9 9
	2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 2 4 1 3 3 3 3 3 3 4 6 6 3 3 5 5 6 6 5 5 5 6 5 7 8 7 8 8 8 8 7 7 8 7 7 7 8 7 8 7 9 10 9 10 10 9 10 9 10 9
	2 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 4 4 3 3 3 3 6 3 3 3 5 6 5 6 5 5 5 5 5 6 6 5 8 7 8 8 7 7 8 8 7 8 7 7 8 9 10 10 9 9 10 10 10 9 9 9 9 9 10

2.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.26 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	13	1	44	29	30	2	3	4	49	23	45	46	47	48	12	41	42	26	25	27
	28	24	11	43	7	8	9	10	6	5	14	18	15	22	20	19	21	16	17	31
	62	63	59	60	55	61	56	57	51	53	64	32	33	34	35	36	37	52	54	58
	38	39	40	50	65															
	44	13	1	29	30	2	3	4	45	49	46	47	48	12	41	26	27	28	23	24
	25	11	42	43	7	8	9	10	6	5	14	18	22	19	15	20	21	16	17	31
	62	60	59	55	61	51	56	57	52	63	64	32	33	34	35	36	37	53	54	58
	38	39	40	50	65															
	44	13	30	1	29	2	3	4	49	45	46	47	48	41	12	26	23	24	27	25
	28	11	42	43	7	8	9	10	6	5	14	18	19	15	22	20	21	16	17	31
	62	59	60	54	61	51	56	57	55	63	64	32	33	34	35	36	37	52	53	58
	38	39	40	50	65															
	44	13	2	30	29	1	3	4	45	49	46	47	48	12	41	26	27	28	23	24
	25	11	42	43	7	8	9	10	6	5	14	18	20	15	22	19	21	16	17	31
	59	62	61	60	63	54	56	57	55	51	32	64	33	34	35	36	37	52	53	58
	38	39	40	50	65															
	2	44	1	13	29	30	3	4	5	41	49	45	46	47	12	26	27	28	23	25
	24	11	42	43	7	8	9	10	48	6	14	18	19	20	15	22	21	16	17	31
	62	63	59	60	55	61	56	57	51	53	64	52	32	33	34	35	36	37	54	58
	38	40	39	50	65															
	2	44	1	13	29	30	3	4	6	41	49	45	46	47	12	26	27	28	23	25
	24	11	42	43	7	8	9	10	48	5	14	18	19	20	15	22	21	16	17	31
	62	60	59	55	54	61	51	36	58	63	64	32	33	34	35	37	52	53	56	57
	38	40	39	50	65															
	2	44	1	13	29	30	3	4	6	41	49	45	46	47	12	26	27	28	23	25
	24	11	42	43	7	8	9	10	48	5	14	18	19	20	15	22	21	16	17	31
	59	60	61	55	56	62	51	36	58	63	64	32	33	34	35	37	52	53	57	54
	38	39	40	50	65															
	2	44	1	13	29	30	3	4	6	41	49	45	46	47	12	26	27	28	23	25
	24	11	42	43	7	8	9	10	48	5	14	18	19	20	15	22	21	16	17	31
	61	60	59	58	56	55	51	36	53	62	63	64	32	33	34	35	37	52	54	57
	38	40	39	50	65															

ตารางที่ ข.27 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	3	2	3	4
	4	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	7	7	8
	7	7	8	8	8	8	7	7	8	7	9	8	8	8	8	10	10	9	9	9
	10	9	10	10	9															
	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	7	7	8
	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	9	8	8	8	8	10	10	9	9	9
	10	9	10	10	9															
	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	3	4	3
	4	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	7	7	8
	7	8	7	8	8	8	7	7	8	7	9	8	8	8	10	10	10	9	9	9
	10	9	10	10	9															
	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	7	7	8
	8	7	8	7	7	7	8	7	8	8	8	9	8	8	10	10	10	9	9	9
	10	9	10	10	9															
	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	7	7	8
	7	7	8	8	8	8	7	7	8	7	9	8	8	8	8	10	10	10	9	9
	10	10	9	10	9															
	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	7	7	8
	7	8	8	8	7	8	8	7	7	7	9	8	8	8	8	10	9	9	10	9
	10	10	9	10	9															
	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	7	7	8
	8	7	8	8	7	7	8	7	7	7	9	8	8	8	8	10	9	9	10	9
	10	9	10	10	9															
	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	4	4	1	3
	3	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	7	7	8
	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	9	8	8	8	8	10	9	10	9
	10	10	9	10	9															

2.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.28 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	13	44	1	29	30	2	3	23	4	5	7	8	11	25	27	28	45	46	41	9
	12	10	49	6	26	42	43	47	48	14	22	18	19	20	15	16	17	24	21	31
	32	51	60	61	58	53	55	59	56	62	54	52	36	37	57	63	64	33	34	35
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.28 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	44	2	30	13	29	3	4	7	25	11	49	8	6	45	27	41	42	12	26
	9	28	23	24	10	5	14	18	15	19	20	16	17	43	46	47	48	22	21	31
	58	55	52	62	59	32	53	61	36	54	51	56	33	37	60	63	64	34	57	35
	38	40	39	50	65															
	30	29	44	1	2	13	3	23	24	4	26	7	6	12	41	42	43	25	8	5
	27	9	28	10	45	49	11	14	22	18	15	16	17	19	20	21	31	60	58	53
	51	32	33	36	59	54	55	56	62	63	37	57	64	34	35	38	39	40	52	61
	46	47	48	50	65															

ตารางที่ ข.29 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4	1	1	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	7	6	8	8	7	7	7	8	8	8
	8	7	8	8	9															
	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	3	4	4
	3	4	3	3	3	3	3	6	3	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	6	7	8	8	7	7	7	8	8	8
	7	8	7	7	10															
	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	4	3	4	3
	4	3	4	3	3	3	3	3	3	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5
	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8
	7	7	7	7	10															

2.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.30 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	44	29	30	2	1	13	3	4	12	45	26	7	9	10	27	25	49	41	11	42
	5	8	43	46	47	48	6	14	22	15	16	18	19	20	21	17	23	24	28	31
	60	53	51	58	61	56	59	52	55	54	62	63	36	37	57	64	32	33	34	35
	38	40	39	50	65															
	30	44	2	13	1	3	23	4	9	26	11	27	12	7	5	41	25	45	6	28
	24	46	47	48	8	10	42	43	14	18	20	15	16	17	19	22	21	31	51	53
	62	52	36	56	59	60	61	57	55	32	58	37	63	64	38	39	33	54	34	35
	40	49	29	50	65															
	13	30	44	2	29	1	3	4	45	26	7	49	41	11	8	9	46	47	48	12
	27	5	28	10	42	43	6	23	24	25	14	18	20	22	15	16	19	21	17	31
	62	52	51	54	61	36	59	32	60	33	37	63	55	58	56	57	64	53	34	35
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.31 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	4	1	3	3	3	4
	3	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	5	5	6	5	6	5
	5	5	6	5	8	5	8	5	8	5	5	5	7	7	8	7	8	8	8	8
	7	8	7	8	9															
	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	3	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5	7	8	7	7	8	7	8	8	7	8
	8	7	7	8	9															
	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	3	4
	4	3	4	3	3	3	3	3	3	5	4	6	5	5	6	5	6	6	5	6
	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	8	7	8	7	7	8	7	7	8	8
	7	7	8	8	9															

2.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.32 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	29	2	44	13	1	3	4	9	12	7	49	45	23	25	8	11	5	26	10	24
	6	30	14	15	22	20	46	18	41	42	19	16	43	47	27	48	28	17	21	31
	55	59	54	61	62	60	58	56	51	57	53	36	52	63	37	32	64	33	34	38
	35	39	40	50	65															
	29	1	44	2	13	3	30	4	27	5	26	11	7	25	49	28	23	6	41	12
	24	45	9	8	10	46	42	14	47	15	43	48	16	18	22	19	20	17	21	31
	61	60	58	62	36	51	54	55	59	53	37	56	32	57	33	38	34	39	63	35
	52	40	64	50	65															

ตารางที่ ข.33 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	4	4	3	3
	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	6	3	6	5	6	5	5	5
	6	6	5	8	5	5	5	5	8	5	5	5	7	7	7	8	7	8	8	8
	8	7	8	8	9															
	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	4	1	1	3	3
	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	5	5	5	6	6	6	5	5	6	5
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	8	7	7	7	8	7	8	7	7	8
	8	8	7	8	10															

2.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.34 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

ลำดับขั้นงาน	13	44	1	29	30	2	3	23	4	5	7	8	11	25	27	28	45	46	41	9
	12	10	49	6	26	42	43	47	48	14	22	18	19	20	15	16	17	24	21	31
	32	51	60	61	58	53	55	59	56	62	54	52	36	37	57	63	64	33	34	35
	38	39	40	50	65															
	30	1	44	29	2	3	13	23	4	26	11	5	9	7	8	45	27	28	25	6
	49	12	46	47	48	41	10	24	14	20	22	18	42	43	19	15	16	21	17	31
	53	51	54	58	32	56	59	60	57	36	61	37	38	55	39	52	62	40	63	64
	33	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.35 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	4	4	1	1	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	7	6	8	8	7	7	7	8	8	8
	8	7	8	8	9															
	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	4	1	4	4	1	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	6	5	5	6	5	5	6	5	6
	5	6	5	5	6	6	6	6	8	5	8	7	7	8	7	8	8	8	7	7
	8	8	8	8	10															

2.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

2.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.36 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	29	44	2	1	13	30	3	4	41	6	9	25	27	45	7	10	23	49	12	46
	8	26	47	11	48	24	5	14	18	19	15	42	20	43	16	21	17	28	22	31
	61	59	54	58	36	60	51	53	52	55	56	57	37	38	40	39	32	33	34	62
	63	35	50	64	65															
	29	2	1	30	44	3	4	11	45	5	25	6	23	12	27	49	7	9	8	13
	26	10	41	46	14	47	42	18	24	19	15	28	22	48	20	16	21	43	17	31
	62	58	53	52	60	56	36	32	63	55	64	61	54	51	37	33	59	38	57	34
	35	39	40	50	65															
	44	29	2	30	1	13	3	4	49	7	11	26	23	8	41	9	5	42	6	25
	43	45	10	24	27	46	28	47	48	12	14	15	22	20	18	19	16	17	21	31
	56	32	62	61	59	33	57	63	52	54	51	58	34	55	35	53	60	64	36	37
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.36 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	29	13	2	30	1	44	3	23	4	25	5	24	12	11	26	45	46	6	49	9
	47	7	41	10	8	14	15	22	18	42	16	17	19	27	43	20	28	21	31	32
	59	55	61	53	33	56	57	34	35	52	54	62	60	51	63	58	64	48	36	37
	38	40	39	50	65															
	1	44	29	30	2	3	13	23	24	4	45	7	26	27	41	6	12	9	11	46
	47	49	42	5	8	28	43	25	10	48	14	20	15	22	18	19	16	17	21	31
	52	54	51	55	62	61	63	59	64	53	60	36	32	58	33	34	35	37	38	56
	39	57	40	50	65															
	44	2	13	29	1	30	3	23	4	26	41	12	27	45	24	11	7	8	28	25
	49	6	5	42	43	46	47	48	9	10	14	22	18	19	20	21	15	16	17	31
	56	54	53	60	59	61	62	63	51	58	57	55	64	36	32	52	33	34	35	37
	38	40	39	50	65															

ตารางที่ ข.37 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1
	2	2	1	1	1	2	1	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3
	4	6	3	3	3	3	6	3	3	6	3	5	6	5	6	5	6	5	6	5
	5	6	5	5	6															
	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	1	1	1	1	1	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	5	6	6	6	5	6	6	6	5	6
	6	5	6	5	6															
	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1
	2	1	3	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	3	5	5	6	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6
	5	5	6	6	5															
	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1
	1	2	1	1	4	3	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3
	4	6	6	3	3	3	3	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6
	6	6	5	6	5															
	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2
	1	2	2	1	4	4	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4
	3	4	6	6	3	6	3	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5
	5	6	6	5	6															
	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	4	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	4
	3	4	3	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5
	6	6	5	6	5															

2.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.38 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	29	13	2	1	44	3	23	4	9	12	49	7	8	45	46	11	26	27	28	25
	24	41	42	10	47	48	6	43	5	14	22	18	19	15	16	17	30	20	21	31
	59	56	57	52	53	51	62	36	37	60	63	64	61	32	33	34	35	54	38	40
	39	50	55	58	65															
	13	2	1	30	29	44	3	23	4	9	49	12	7	8	41	42	43	45	46	47
	11	48	27	28	24	10	25	6	5	14	22	18	19	15	16	17	26	20	21	31
	55	60	58	52	36	32	54	62	61	37	38	40	53	63	64	56	57	51	59	33
	34	35	39	50	65															
	30	44	13	1	2	3	23	29	24	4	26	41	49	45	46	47	48	7	8	12
	25	27	11	28	9	10	42	43	6	5	14	20	22	15	16	17	18	19	21	31
	59	62	63	64	51	56	57	52	53	60	61	54	36	32	33	55	37	34	35	58
	38	39	40	50	65															
	44	1	2	3	4	49	41	5	25	26	27	28	23	24	45	46	47	48	30	42
	43	13	12	11	9	10	7	8	6	14	22	18	19	15	16	20	21	17	31	62
	51	61	59	58	54	52	55	63	36	37	56	57	64	60	38	40	39	32	53	29
	33	34	35	50	65															
	44	29	1	2	3	23	4	49	41	5	26	30	45	46	47	48	27	28	25	24
	42	43	13	12	11	9	10	7	8	6	14	18	19	15	16	22	17	20	21	31
	51	61	60	59	56	55	52	57	62	36	37	53	63	64	54	38	40	39	32	58
	33	34	35	50	65															
	44	29	1	2	30	3	4	49	41	5	26	27	28	25	45	46	47	48	23	24
	42	43	13	12	11	9	10	7	8	6	14	18	20	15	16	17	19	21	22	31
	51	61	60	59	56	55	52	57	62	36	37	53	63	64	54	38	40	39	32	58
	33	34	35	50	65															
	2	44	30	29	13	1	3	23	24	4	12	6	49	5	7	8	45	46	47	48
	25	26	27	28	9	10	41	42	43	11	14	20	22	15	16	17	18	19	21	31
	59	58	54	53	62	63	64	52	55	36	56	51	60	57	32	33	34	35	61	37
	38	40	39	50	65															

ตารางที่ ข.39 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	4	1
	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3
	4	3	6	3	3	6	3	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6
	5	6	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	2	1	2	4	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3
	4	3	3	4	4	3	6	3	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5
	6	6	5	5	6															

ตารางที่ ข.39 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1
	1	2	1	4	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	4
	4	3	3	5	4	6	6	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5
	6	5	6	6	5															
	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	2	3	2	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3
	4	4	6	3	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5
	6	6	6	5	6															
	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1
	1	1	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3
	4	6	3	6	3	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	6	6	6	6															
	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	2	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4
	4	6	3	6	3	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
	1	2	2	4	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	4
	4	3	6	3	3	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5
	5	6	5	6	5															

2.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.40 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	13	29	2	1	3	30	23	24	4	6	27	25	49	45	7	44	41	28	26	12
	42	43	11	9	46	5	10	47	48	8	14	18	15	22	20	16	19	17	21	31
	56	51	36	59	58	60	32	54	61	37	33	52	62	53	63	57	38	55	34	39
	64	35	40	50	65															
	13	2	44	30	1	29	3	23	24	4	6	27	41	28	7	8	25	45	49	12
	11	26	9	42	46	43	10	47	48	5	14	18	15	19	16	22	20	21	17	31
	54	60	56	51	36	61	37	57	38	52	53	32	58	55	40	33	62	63	39	64
	34	35	50	59	65															
	30	1	44	13	29	2	3	23	24	4	6	27	28	7	11	25	49	12	45	46
	5	26	8	41	47	48	42	43	9	10	14	18	15	19	22	20	21	16	17	31
	54	59	58	60	55	62	32	36	61	63	51	52	53	64	33	37	56	34	38	35
	40	39	57	50	65															
	13	29	2	44	30	1	3	23	24	4	6	27	28	11	12	7	8	9	25	41
	10	49	42	43	26	5	45	14	18	15	19	22	16	46	20	47	48	21	17	31
	58	59	61	53	62	56	51	36	32	57	63	37	54	52	33	34	38	55	39	64
	40	35	50	60	65															

ตารางที่ ข.40 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	30	1	44	29	2	3	23	24	4	6	27	28	13	5	45	49	25	7	8	11
	26	9	46	10	47	12	14	18	15	19	41	48	22	42	43	20	16	21	17	31
	56	60	36	61	37	57	38	52	39	51	62	53	63	40	54	55	64	32	58	33
	34	59	35	50	65															
	13	29	44	1	30	2	3	23	24	4	27	41	7	49	12	45	6	26	46	5
	47	48	9	42	43	10	25	28	11	8	14	18	15	19	22	20	16	21	17	31
	58	32	36	61	37	60	53	56	55	52	62	38	54	39	51	40	57	63	59	33
	64	34	35	50	65															
	13	44	29	2	30	1	3	23	24	4	6	27	5	25	28	41	45	49	12	7
	8	26	46	11	42	47	48	43	9	10	14	18	22	20	15	19	16	21	17	31
	58	60	53	51	62	54	56	52	55	61	36	59	63	37	57	38	32	40	64	33
	34	39	35	50	65															
	30	1	44	13	29	2	3	4	6	26	12	7	8	9	11	45	41	10	46	5
	25	27	49	28	42	43	47	48	14	18	15	22	16	19	17	23	24	20	21	31
	51	52	36	61	37	60	59	55	53	62	38	63	39	54	58	32	64	40	56	57
	33	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.41 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326

สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	4	4	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	5
	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5
	5	6	6	6	6															
	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	4	4	1	1	1	1
	1	4	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3
	4	3	3	4	3	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	4	1	1	1	1	1	1
	1	4	4	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4
	3	4	5	4	4	4	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6
	6	5	5	6	6															
	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	4	4	1	1	1
	1	1	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4
	3	4	4	3	3	5	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	4	4	1
	4	1	1	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4
	3	4	4	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6
	6	6	6	5	6															

ตารางที่ ข.41 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 326 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3
	3	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6
	5	6	6	6	6															
	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	4
	4	4	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3
	3	4	3	4	4	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6
	6	5	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2
	1	2	2	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3
	4	3	4	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	5	6															

2.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.42 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	13	29	2	44	1	3	23	24	4	27	41	28	7	49	6	42	5	25	43	9
	8	26	10	11	45	12	30	46	14	18	15	22	47	48	20	16	19	17	21	31
	54	36	53	52	60	56	37	32	62	61	59	57	38	63	40	64	55	39	51	58
	33	34	35	50	65															
	13	29	1	44	2	3	23	24	4	27	41	28	7	42	43	9	10	8	26	25
	5	6	45	12	49	46	47	48	11	14	18	15	22	16	17	20	19	30	21	31
	36	61	59	53	56	37	54	57	38	60	39	51	52	62	32	63	40	64	33	58
	34	35	50	55	65															
	13	29	30	1	44	2	3	23	24	4	27	41	28	7	42	5	25	43	9	45
	12	11	6	46	10	47	48	8	26	49	14	18	15	22	16	19	17	20	21	31
	51	62	53	56	52	54	63	55	36	61	37	57	38	60	32	64	40	59	39	58
	33	34	35	50	65															
	13	29	30	1	2	3	23	24	4	27	41	28	7	49	26	6	42	45	12	11
	43	9	8	25	5	44	10	14	18	15	22	16	19	46	20	17	47	48	21	31
	51	62	53	56	36	61	37	32	55	59	57	38	52	58	54	40	60	39	63	33
	64	34	35	50	65															
	13	29	30	1	44	2	3	23	24	4	27	41	28	7	42	49	45	5	12	46
	43	9	8	6	25	47	48	11	10	14	18	15	19	16	17	20	21	26	22	31
	56	51	62	53	52	54	36	61	37	57	38	32	40	63	39	64	33	55	34	35
	50	60	58	59	65															
	2	44	30	1	3	23	24	4	27	41	28	49	26	11	5	42	45	25	9	6
	43	10	29	7	8	46	47	48	13	12	14	18	15	19	16	22	20	21	17	31
	56	36	60	37	61	57	38	32	33	51	62	53	40	54	63	34	59	58	39	64
	55	52	35	50	65															

ตารางที่ ข.42 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	13	29	30	1	44	2	3	23	24	4	27	41	28	7	11	8	26	49	45	12
	46	5	25	6	42	47	43	9	48	10	14	18	15	22	16	19	17	20	21	31
	54	36	61	32	55	59	62	37	51	52	56	38	40	60	39	63	58	64	33	57
	34	35	50	53	65															
	13	29	30	1	44	2	3	23	24	4	27	41	28	7	49	6	45	12	11	26
	25	8	46	5	42	47	48	9	43	10	14	18	15	22	16	19	17	20	21	31
	51	58	36	56	37	54	53	61	57	38	32	39	60	40	52	62	59	55	63	33
	64	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.43 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4
	3	4	3	4	4	4	5	4	4	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	4	4	1
	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4
	4	4	4	3	3	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1
	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3
	4	3	3	3	4	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	4	1	1	1	1	1
	1	1	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4
	4	4	3	4	3	6	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6
	5	6	6	6	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1
	1	1	4	1	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3
	4	6	3	3	3	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6
	6	6	5	6	6															
	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3
	4	3	3	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	4	4	1	1	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3
	4	3	6	3	6	6	3	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	4
	1	4	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3
	4	3	4	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6
	5	6	6	5	6															

2.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.44 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	13	2	44	29	1	3	4	41	45	12	7	9	10	42	46	5	6	43	47	48
	8	49	25	26	23	24	27	11	14	18	19	15	22	16	28	17	20	21	31	56
	57	32	54	55	60	53	36	37	51	33	34	62	63	64	59	52	38	40	39	61
	35	58	30	50	65															
	1	29	30	2	3	23	24	4	9	49	27	28	10	11	26	41	5	12	25	6
	42	45	43	44	46	47	48	7	8	13	14	18	22	15	16	19	20	21	17	31
	60	36	52	53	58	37	54	56	57	38	40	51	59	61	62	63	64	32	33	34
	35	39	55	50	65															
	13	1	30	44	29	2	3	23	24	4	49	45	27	28	12	5	7	26	11	9
	10	6	41	42	43	46	47	48	8	14	18	20	19	15	16	17	22	21	25	31
	56	58	55	52	53	62	60	51	61	32	33	54	34	36	57	63	64	37	38	40
	39	59	35	50	65															
	29	30	13	44	2	1	3	4	26	25	27	28	6	49	41	23	5	45	46	47
	9	24	10	12	7	8	42	43	11	14	15	16	17	22	18	19	20	21	31	56
	59	62	36	52	53	63	32	33	34	35	55	54	61	37	38	39	40	57	64	51
	60	48	50	58	65															
	44	30	1	2	3	4	26	5	12	6	45	7	8	13	9	10	25	46	47	48
	23	24	29	27	28	41	42	43	11	14	15	16	18	22	19	20	21	17	31	56
	60	55	62	63	32	61	57	64	36	37	38	59	40	51	39	53	54	58	33	34
	35	52	49	50	65															

ตารางที่ ข.45 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	2	2	1	2	2	3	2	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	4	3	3	3	6	6	3	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6
	6	5	5	5	6															
	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1
	1	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3
	4	3	4	3	3	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6
	6	5	6	5	6															
	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	4	4	1	1
	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4
	3	5	4	4	5	4	4	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6
	5	6	6	5	6															
	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3
	4	4	4	4	3	5	4	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6
	6	5	6	5	6															
	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	2	2	3	2	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3
	4	4	4	5	4	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6
	6	5	5	6	5															

2.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	13	30	44	1	29	2	3	23	24	4	27	28	7	41	42	6	8	25	5	49
	43	12	9	10	45	46	26	47	11	14	18	15	16	22	20	48	19	17	21	31
	54	53	62	36	56	51	61	37	57	38	52	60	63	32	39	64	33	59	40	34
	35	50	55	58	65															
	13	44	1	29	30	2	3	23	24	4	27	28	7	49	45	46	26	12	9	47
	5	48	8	6	10	41	42	11	14	18	15	43	25	22	16	19	17	20	21	31
	54	51	56	60	62	36	61	37	57	38	63	32	40	55	53	39	58	52	59	64
	33	34	35	50	65															
	13	44	1	29	2	3	23	24	4	27	28	7	41	42	26	43	9	12	49	8
	45	46	11	47	10	48	5	6	14	18	15	16	19	17	20	22	25	21	31	54
	62	36	51	61	37	56	63	32	57	38	58	30	39	64	33	53	40	59	60	55
	34	52	35	50	65															
	13	44	1	29	30	2	3	23	24	4	27	28	7	49	6	8	26	41	42	9
	43	5	11	12	25	10	45	46	47	14	18	15	48	19	22	16	20	21	17	31
	54	62	36	51	61	37	56	59	38	58	63	32	60	40	64	55	39	57	33	53
	34	35	50	52	65															
	13	44	2	29	30	1	3	23	24	4	27	28	7	49	8	45	46	26	5	12
	9	47	11	48	41	42	43	25	10	6	14	18	15	19	16	22	20	21	17	31
	54	61	36	53	62	37	56	60	52	59	38	55	58	39	63	40	64	51	57	32
	33	34	35	50	65															
	13	30	44	1	29	2	3	23	24	4	27	28	7	25	6	26	11	45	5	9
	12	41	49	42	46	10	47	43	48	8	14	18	15	16	22	20	19	17	21	31
	54	61	36	62	37	56	38	59	58	55	40	32	53	39	57	60	63	33	64	34
	35	50	51	52	65															
	13	44	2	29	30	1	3	23	24	4	27	28	7	12	49	45	46	6	8	11
	41	47	26	5	48	42	9	43	10	14	18	15	20	16	19	17	22	21	25	31
	61	62	36	51	55	37	56	59	53	57	38	58	40	63	32	39	64	33	34	52
	60	35	50	54	65															
	13	44	1	29	2	3	23	24	4	27	28	7	49	8	45	46	26	41	47	6
	25	48	12	11	42	9	43	10	5	14	18	15	30	16	22	17	19	20	21	31
	54	61	62	36	51	55	37	56	63	32	52	59	38	57	39	64	33	40	53	34
	35	50	58	60	65															
	13	44	1	29	30	2	3	23	24	4	27	28	7	25	8	5	12	49	45	46
	11	47	41	42	26	9	43	10	48	6	14	18	15	16	19	22	17	20	21	31
	54	62	36	61	37	56	59	38	52	39	58	40	63	32	53	57	64	33	34	35
	50	60	55	51	65															

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	1	4	1	1	1
	1	1	1	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4
	3	3	4	4	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	1	4	1	1	1
	1	1	4	1	1	1	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3
	4	6	3	3	3	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	4	1	1	1	1	4
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3
	4	4	4	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6
	6	6	6	6	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	4	4	1	1	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3
	4	3	3	4	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	5
	6	6	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	4	1	1	4	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3
	4	6	3	3	3	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	4	1	1	1	1
	1	1	1	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3
	4	6	3	3	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6
	6	6	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	1	1	1	1	4	1
	1	1	4	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4
	4	3	3	6	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6
	6	6	6	6	5															
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	4	1	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3
	4	6	3	3	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	6
	6	6	5	6	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	4	1	4	1	1	1	1	1
	1	1	1	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3
	4	3	3	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6
	6	6	6	6	5															

2.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.48 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

ลำดับขั้นงาน	13	44	29	30	1	2	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	41	47	12	8
	26	42	43	9	48	11	5	10	6	14	18	15	20	16	22	17	19	21	25	31
	54	56	36	61	37	57	38	60	51	62	39	63	40	52	53	64	32	58	59	33
	55	34	35	50	65															
	13	44	29	30	1	2	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	26	41	47	6
	8	25	42	43	9	11	5	10	12	14	18	15	20	16	22	19	21	17	31	54
	56	36	61	37	57	38	60	52	51	62	39	63	40	59	64	32	53	48	58	55
	33	34	35	50	65															
	13	44	29	2	1	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	26	41	47	12	48
	11	25	8	5	42	43	9	10	6	14	18	15	20	16	22	19	21	17	31	54
	56	36	61	37	57	38	60	51	62	39	63	40	55	30	64	32	53	33	58	59
	52	34	35	50	65															
	13	44	29	2	30	1	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	6	12	47	5
	26	41	48	11	42	8	25	43	9	10	14	18	15	20	16	22	19	21	17	31
	54	56	36	61	37	57	38	60	55	62	39	63	32	33	53	64	34	35	40	59
	51	50	52	58	65															
	13	44	29	30	1	2	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	41	47	26	48
	11	25	8	5	42	43	9	10	6	12	14	18	15	20	16	22	19	21	17	31
	53	59	51	62	36	61	37	56	38	60	55	52	54	40	32	39	63	33	58	34
	35	50	64	57	65															
	13	44	29	2	1	3	23	24	4	27	45	28	7	49	46	11	25	47	6	48
	12	26	41	42	43	9	8	5	10	14	18	15	20	30	22	19	16	21	17	31
	32	60	51	62	36	61	37	56	38	63	33	40	59	64	34	35	39	57	50	53
	55	52	58	54	65															

ตารางที่ ข.49 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	4
	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4
	3	4	4	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	6	6															
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1
	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	3
	4	4	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6
	6	6	6	6	6															
	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	4	1	1	1	1
	1	1	4	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	3
	4	4	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6
	6	6	6	6	6															

ตารางที่ ข.49 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 490 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1
	4	1	1	1	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4
	3	4	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6
	6	6	5	5	6															
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	4	1
	1	1	4	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4
	3	4	4	3	3	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6
	6	6	5	6	6															
	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	1	1
	1	4	1	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4
	3	4	4	3	3	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	5
	6	5	5	6	6															

2.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

2.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	30	1	44	2	29	3	23	24	4	11	25	12	27	6	5	26	49	45	41
	28	46	7	47	48	9	42	43	8	10	14	18	20	19	15	16	22	17	21	31
	59	36	53	61	55	62	37	51	32	58	54	33	60	56	34	38	52	63	35	40
	39	50	64	57	65															
	13	2	30	29	1	3	44	23	4	45	11	46	9	41	6	42	43	12	25	49
	27	7	8	10	47	28	48	24	5	14	18	26	20	15	22	16	19	21	17	31
	61	56	36	60	55	53	62	37	59	57	58	54	38	63	51	39	52	40	64	32
	33	34	35	50	65															
	30	2	13	44	29	1	3	23	4	49	9	11	10	7	6	25	5	8	45	46
	27	41	12	28	42	43	24	26	14	47	22	15	48	18	20	19	16	17	21	31
	55	36	56	37	32	62	60	57	63	33	64	59	61	53	34	54	52	51	38	39
	40	58	35	50	65															
	29	44	30	1	2	13	3	23	4	7	45	24	25	41	12	49	46	8	27	28
	6	11	26	5	9	42	47	48	43	10	14	22	18	20	15	19	21	16	17	31
	59	62	52	54	53	58	36	55	51	61	37	32	33	38	63	39	64	60	56	34
	57	35	40	50	65															
	44	2	29	30	1	13	3	23	24	4	7	25	49	9	6	5	27	26	28	12
	45	8	46	47	41	42	43	48	10	11	14	22	20	18	15	16	17	19	21	31
	54	59	53	58	36	62	37	32	55	52	61	51	38	33	34	40	39	60	35	56
	50	63	57	64	65															
	2	44	30	29	13	1	3	4	26	23	41	45	27	28	25	24	9	5	49	10
	12	6	42	43	11	46	7	47	48	8	14	15	20	18	19	22	16	21	17	31
	52	51	56	60	59	36	37	58	62	57	53	61	63	38	40	64	54	55	39	32
	33	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.51 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1
	4	1	4	1	1	1	1	1	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3
	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6
	5	6	5	6	6															
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2
	2	2	2	1	1	4	1	1	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	4
	4	3	3	4	4	3	3	5	4	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6
	6	6	6	5	6															
	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2
	2	1	1	4	1	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4
	4	3	4	5	4	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5	5
	6	5	6	6	5															
	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	4
	1	1	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4
	4	3	3	6	3	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	4	1
	1	4	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4
	3	4	3	5	4	4	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5
	6	5	6	5	6															
	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	2	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4
	3	4	6	3	6	3	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5
	6	5	6	5	6															

2.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.52 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	2	29	1	3	23	24	4	27	49	45	25	28	11	26	12	6	9	10	7
	8	41	42	43	5	14	18	19	22	15	16	17	44	46	47	48	30	20	21	31
	60	62	63	64	58	61	51	52	53	59	36	37	32	33	34	55	35	56	57	54
	38	40	39	50	65															
	29	44	1	30	2	3	23	24	4	49	45	6	46	47	48	26	9	27	28	11
	41	42	43	12	10	7	8	5	13	14	18	20	22	15	16	17	19	21	25	31
	62	63	64	58	56	57	52	36	60	32	33	34	35	37	54	61	59	53	55	51
	38	39	40	50	65															
	13	44	1	29	30	2	3	23	24	4	27	28	5	6	26	49	45	25	46	47
	48	11	12	41	42	43	9	10	7	8	14	18	19	22	15	16	17	20	21	31
	61	58	56	57	52	60	62	63	32	33	64	36	37	54	53	34	35	55	51	38
	39	40	50	59	65															

ตารางที่ ข.52 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	30	2	29	44	1	13	3	4	9	7	45	8	26	49	27	23	41	42	43	28
	25	46	5	24	47	48	11	10	12	6	14	22	18	19	15	20	21	16	17	31
	53	59	58	56	57	52	55	51	62	63	60	32	54	61	36	37	38	39	40	64
	33	34	35	50	65															
	29	30	13	2	44	1	3	4	7	9	5	45	46	49	47	6	41	42	43	48
	26	25	12	11	10	8	14	20	18	19	21	15	16	17	22	27	28	23	24	31
	56	62	61	52	55	53	51	60	58	36	37	57	59	63	64	32	33	34	35	38
	39	54	40	50	65															
	44	29	30	13	2	1	3	4	7	9	5	41	6	26	25	45	46	47	48	42
	43	12	11	10	8	14	20	18	19	21	15	16	17	22	27	28	23	24	31	56
	36	62	61	55	53	60	58	37	57	59	32	33	51	38	40	39	63	64	34	35
	54	52	49	50	65															
	13	29	30	2	44	1	3	4	45	49	26	41	42	43	7	8	27	28	23	24
	46	5	9	10	47	48	12	11	6	14	15	22	20	18	19	21	16	17	25	31
	53	59	58	56	57	52	55	51	62	63	60	32	33	54	61	36	37	38	39	40
	64	34	35	50	65															
	44	1	29	30	13	2	3	4	45	46	47	48	41	42	43	7	8	27	28	26
	25	23	24	12	49	11	9	10	6	5	14	15	20	22	18	19	21	16	17	31
	52	62	61	36	58	55	54	63	59	51	53	32	33	34	60	56	57	35	37	38
	39	40	50	64	65															

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	4
	4	1	1	1	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4
	4	4	3	5	5	4	4	4	5	4	4	6	6	6	6	6	6	5	5	6
	5	6	5	6	5															
	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1
	1	1	1	1	1	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4
	3	3	3	5	4	4	4	4	4	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	6															
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3
	4	3	3	6	3	3	3	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5
	5	6	5	6	6															
	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	4
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	5	4	4	6	6	5	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1
	2	1	2	1	3	2	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3
	3	3	6	3	6	3	6	3	3	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5
	5	6	6	5	6															

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2
	1	2	1	3	2	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3
	3	3	6	6	3	3	3	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6
	6	6	5	5	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	4	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	6
	5	6	6	6	5															
	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	4	4
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4
	3	4	6	3	5	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6
	5	6	6	5	6															

2.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.54 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	29	44	2	1	30	3	23	24	4	7	26	49	8	27	45	28	46	5	47
	25	48	41	6	42	9	43	11	10	12	14	22	20	18	15	19	21	16	17	31
	54	62	56	36	55	61	37	51	57	38	63	39	64	40	58	53	32	60	59	52
	33	34	35	50	65															
	13	29	1	30	44	2	3	23	24	4	7	26	49	8	27	45	28	46	5	47
	11	48	12	25	9	41	42	6	10	14	22	20	18	15	19	43	21	16	17	31
	54	62	56	36	59	61	37	57	38	63	39	64	52	60	58	53	32	55	51	40
	33	34	35	50	65															
	13	30	44	2	29	1	3	23	24	4	7	26	49	8	27	6	45	28	46	9
	47	11	12	10	48	41	42	43	5	25	14	22	20	18	15	19	21	16	17	31
	54	55	36	52	61	37	32	51	60	62	53	58	33	34	56	35	38	57	40	63
	39	64	50	59	65															
	13	44	2	29	1	30	3	23	24	4	7	26	49	8	27	45	28	46	12	47
	11	48	9	10	6	41	42	43	5	14	22	20	18	15	19	21	16	17	25	31
	54	62	56	36	52	61	37	57	38	55	58	60	63	39	51	59	40	53	32	64
	33	34	35	50	65															
	13	2	29	1	30	3	23	24	4	7	26	8	12	44	6	25	45	27	49	28
	46	5	47	11	41	42	43	9	48	10	14	22	20	18	15	19	21	16	17	31
	54	53	32	60	58	36	37	55	56	33	38	61	39	57	51	59	52	62	63	64
	34	35	40	50	65															
	29	44	2	30	1	3	23	13	24	4	7	26	49	8	27	45	28	46	5	47
	11	48	12	25	41	42	43	6	9	10	14	22	20	18	15	19	21	16	17	31
	56	36	52	61	37	57	38	62	53	32	40	63	39	64	33	34	51	59	58	54
	60	35	50	55	65															
	29	1	30	44	2	3	23	13	24	4	7	26	8	27	45	28	46	5	47	9
	48	11	10	6	41	42	43	12	14	22	20	18	15	19	21	16	25	17	31	54
	62	56	36	52	53	55	57	49	63	32	51	60	59	61	37	33	34	38	35	40
	58	39	64	50	65															

ตารางที่ ข.55 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6	6	6
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	4	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4
	3	4	4	4	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5
	5	5	6	6	6															
	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	4
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4
	3	3	4	4	5	4	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4
	3	4	4	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6
	6	6	5	6	6															
	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3
	4	4	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6
	5	5	5	6	6															

2.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.56 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	29	30	13	1	44	2	3	23	4	49	5	24	27	28	41	25	6	42	12	43
	9	45	7	26	8	11	46	47	48	10	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	62	36	56	37	52	51	58	57	61	60	38	55	59	39	63	32	40	64	33
	34	35	50	53	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	12	24	27	28	41	45	46	47	48	9	6
	7	26	8	49	5	42	43	10	11	14	18	22	20	19	15	21	16	17	25	31
	54	62	60	52	59	36	61	37	32	55	63	33	58	34	56	35	38	51	39	64
	40	57	50	53	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	49	5	24	27	28	45	46	47	48	9	41
	6	10	42	25	7	26	8	12	43	11	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	62	55	58	59	51	36	61	37	54	63	60	52	64	32	33	56	34	53	35	38
	39	40	57	50	65															

ตารางที่ ข.56 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	29	30	13	1	44	2	3	23	4	5	24	27	28	41	49	42	25	7	26	8
	45	46	47	48	9	43	10	12	6	11	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	62	60	51	36	61	37	56	55	59	57	53	63	52	64	32	33	34	38	35
	39	58	40	50	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	5	24	27	28	41	45	46	47	48	42	9
	7	26	8	25	49	6	10	12	43	11	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	62	59	51	36	61	37	52	32	63	58	33	53	56	34	35	38	55	40	64
	60	57	39	50	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	49	9	24	27	28	10	41	45	46	47	48
	11	25	7	26	8	42	43	12	6	5	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	52	51	36	61	37	53	56	58	57	38	62	59	60	63	40	64	32	55	39
	33	34	35	50	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	49	5	24	7	26	8	27	28	45	46	41
	6	25	47	48	11	12	42	43	9	10	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	36	56	37	57	38	62	61	55	58	52	39	63	40	64	32	53	60	59	51
	33	34	35	50	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	49	24	27	28	45	46	47	48	9	41	6
	5	42	43	10	11	25	7	26	8	12	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	62	59	55	58	52	60	32	53	63	51	36	56	37	33	34	38	57	61	40
	64	35	39	50	65															
	29	1	44	2	3	23	4	6	41	49	12	45	46	47	48	11	25	27	28	42
	43	24	26	13	5	30	7	9	10	8	14	18	22	20	19	15	21	16	17	31
	54	60	53	56	52	51	59	55	61	36	37	57	38	62	39	63	58	40	64	32
	33	34	35	50	65															
	29	30	13	1	44	2	3	23	4	7	26	8	41	5	24	49	25	11	45	46
	47	48	9	27	28	42	43	12	10	6	14	18	19	20	21	22	15	16	17	31
	54	32	59	61	51	62	60	52	55	58	53	63	33	34	35	56	57	64	36	37
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	4	4	4	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	5	4	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	1	1	1	1	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	3	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5
	5	6	5	6	6															

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	4	4	4
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	6	6	6
	5	5	6	6	6															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	4	4	4	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5
	6	6	5	6	5															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	6	6	5
	6	6	6	6	5															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	2	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6
	5	6	5	5	6															
	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1
	1	1	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2
	1	1	1	2	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4
	3	4	4	6	6	3	3	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6
	5	5	6	6	5															

2.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	1	2	29	30	44	3	4	11	45	5	46	41	26	9	10	6	47	48	12
	23	24	7	8	14	22	18	15	19	16	17	20	21	27	28	25	31	53	32	60
	56	36	54	52	61	37	38	40	39	57	55	59	51	33	34	35	58	42	43	62
	63	64	49	50	65															
	13	1	30	2	44	3	23	24	4	41	49	6	25	11	7	8	45	46	47	48
	12	9	42	43	27	28	29	5	10	26	14	18	22	19	20	15	16	17	21	31
	56	60	54	61	59	55	57	53	36	37	51	52	38	39	32	33	34	35	62	63
	64	40	50	58	65															
	13	44	2	29	1	30	3	23	4	9	11	45	5	6	41	27	28	12	10	25
	7	8	14	22	15	18	26	42	43	46	47	48	20	49	24	16	19	21	17	31
	32	54	53	56	57	51	36	37	52	60	59	55	38	40	39	61	58	62	63	64
	33	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	2	29	44	3	4	5	7	9	6	8	26	41	23	24	30	42	43	45	46
	47	48	27	25	10	11	49	28	13	12	14	18	15	20	19	21	22	16	17	31
	55	36	56	59	37	54	60	52	57	53	58	61	32	33	34	35	38	39	40	50
	62	63	64	51	65															
	44	29	30	2	1	3	4	12	25	7	11	9	8	45	6	23	24	27	28	46
	47	48	10	5	26	49	41	42	43	13	14	20	18	22	15	19	21	16	17	31
	55	58	32	53	59	52	56	57	60	61	36	37	38	40	39	51	54	62	63	64
	33	34	35	50	65															
	29	2	44	30	1	3	23	24	4	12	41	6	45	46	47	27	28	42	11	43
	7	8	49	26	48	5	9	10	25	13	14	20	22	18	19	21	15	16	17	31
	51	55	59	32	33	61	34	35	56	57	52	60	62	63	64	36	53	58	54	37
	38	39	40	50	65															
	29	30	44	2	1	3	4	26	11	9	5	23	24	45	49	25	7	8	10	12
	6	27	28	46	47	48	13	41	42	43	14	18	22	19	20	21	15	16	17	31
	55	36	32	52	62	37	60	53	61	56	57	54	63	64	33	34	35	59	58	51
	38	40	39	50	65															
	44	29	1	2	3	23	24	30	4	9	11	27	45	46	12	49	25	10	26	7
	8	6	47	48	41	42	43	28	13	5	14	15	16	17	20	22	18	19	21	31
	55	60	61	36	52	37	38	56	58	57	40	54	39	62	63	64	32	33	34	35
	50	59	51	53	65															

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2
	2	2	2	2	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	6	6	5	6	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5
	5	5	6	6	6															
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1
	1	1	2	1	2	4	1	1	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4
	3	4	4	6	6	6	3	3	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5
	5	6	6	5	6															
	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1
	4	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4
	3	4	3	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5
	6	6	6	6	6															
	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2
	1	1	2	1	3	2	2	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4
	4	3	4	4	5	6	6	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6
	5	5	5	6	6															
	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	4	1
	1	1	1	1	4	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4
	4	3	4	3	4	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5
	6	6	6	6	6															

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1
	4	4	1	4	1	1	1	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4
	4	4	4	3	3	6	3	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	6	5															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1
	2	2	4	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4
	4	3	4	3	4	6	3	3	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6
	6	6	5	6	5															
	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2
	2	1	1	1	1	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4
	4	3	6	3	3	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	6
	6	6	6	5	6															

2.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	29	1	2	44	3	23	24	4	7	41	49	8	27	25	11	28	42	43	9
	45	46	26	12	47	48	10	30	5	6	14	15	22	20	18	19	21	16	17	31
	58	32	33	53	62	51	56	60	59	57	54	55	36	63	61	37	34	52	35	38
	39	64	40	50	65															
	13	29	1	30	44	2	3	23	24	4	7	26	8	27	25	28	41	49	42	43
	9	45	46	5	47	48	10	11	6	12	14	18	15	19	20	21	16	17	22	31
	56	36	62	51	57	61	37	52	59	63	54	38	55	39	64	40	58	53	60	32
	33	34	35	50	65															
	13	29	1	2	44	3	23	24	4	7	26	8	27	25	28	45	46	5	47	6
	48	12	49	11	41	9	42	43	10	14	20	22	18	15	19	21	16	17	31	56
	36	62	51	57	61	37	52	53	60	54	38	63	39	64	40	32	30	55	59	58
	33	34	35	50	65															
	13	29	1	44	2	30	3	23	24	4	7	26	8	27	25	28	45	46	5	47
	6	11	48	12	49	41	42	43	9	10	14	20	22	18	15	19	21	16	17	31
	56	36	62	51	61	37	32	33	34	35	38	63	39	64	40	54	50	58	53	57
	55	59	60	52	65															
	13	29	30	44	2	1	3	23	24	4	7	26	8	27	41	49	11	28	25	6
	45	46	47	48	12	5	42	43	9	10	14	18	15	22	19	20	21	16	17	31
	55	59	56	36	61	37	52	53	57	38	62	51	32	33	63	39	64	34	35	40
	60	58	50	54	65															
	30	44	2	29	1	3	23	24	4	7	26	8	27	41	49	12	6	42	43	9
	45	46	5	47	48	11	28	13	25	10	14	22	18	15	19	20	21	16	17	31
	56	36	62	51	57	61	37	52	59	60	54	38	63	39	64	32	33	58	55	40
	34	35	50	53	65															

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	13	29	1	2	30	3	23	24	4	7	5	12	9	45	26	8	27	6	44	28
	49	41	46	42	10	47	48	11	14	20	22	18	19	21	25	15	16	17	31	58
	53	36	60	51	55	59	56	52	57	54	43	32	33	62	37	34	35	38	63	39
	64	40	50	61	65															
	13	29	1	2	3	23	24	4	7	26	8	27	44	49	11	30	41	6	45	46
	47	48	5	28	42	43	9	10	12	14	18	15	20	19	21	16	17	25	22	31
	56	36	62	51	59	63	32	57	33	34	64	54	53	58	35	61	37	52	60	55
	38	39	40	50	65															

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	4	1	1	1
	1	1	4	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4
	3	4	4	3	4	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	6	6	5
	5	5	6	6	6															
	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	4
	3	4	4	4	3	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3
	4	4	4	3	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5
	6	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	4	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4
	3	4	4	4	6	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	4	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	4	4	3	4	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6
	6	5	6	6	6															
	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	2	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	5	6	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	4
	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3
	5	4	4	6	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5
	5	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	2	4	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4
	3	4	4	4	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	6
	5	5	6	6	5															

2.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

ลำดับขั้นงาน	13	44	2	29	30	1	3	23	24	4	26	12	27	28	6	11	5	25	7	49
	8	45	41	46	9	47	48	10	14	18	42	22	43	19	20	21	15	16	17	31
	62	51	56	60	53	32	58	52	33	34	55	35	63	36	59	37	61	38	39	54
	64	40	57	50	65															
	30	29	2	44	1	3	4	7	26	45	8	27	25	28	12	5	46	41	47	11
	48	9	42	43	10	6	13	14	18	15	20	19	22	21	16	17	23	24	31	56
	59	60	62	36	61	37	57	38	63	40	51	64	32	39	53	58	52	33	55	34
	35	49	50	54	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	25	8	27	45	28	6	46	41	47
	49	48	42	9	43	11	5	26	12	10	14	18	19	22	15	20	21	16	17	31
	56	59	53	60	62	36	61	37	57	38	63	40	64	32	39	52	51	58	55	33
	34	35	50	54	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	26	45	8	27	25	28	41	46	47
	42	43	9	48	6	10	12	5	11	14	18	15	20	19	22	21	16	17	31	56
	59	60	62	36	61	37	57	38	63	40	51	49	58	52	32	39	64	33	55	34
	35	50	54	53	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	26	45	8	27	25	28	11	46	5
	9	47	41	48	49	6	42	43	10	12	14	18	19	22	15	20	21	16	17	31
	56	59	60	62	36	61	37	57	58	52	32	51	55	33	53	34	35	38	63	39
	64	40	54	50	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	49	26	45	8	27	25	28	12	5
	46	41	47	11	48	42	43	9	10	6	14	18	15	20	19	22	21	16	17	31
	56	59	60	62	36	61	37	54	38	63	39	64	32	51	40	58	53	33	55	34
	35	50	57	52	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	25	8	27	26	45	28	9	46	41
	47	11	48	6	12	42	43	10	5	14	18	19	22	15	20	21	16	17	31	56
	59	60	62	36	61	37	32	51	55	38	63	39	64	33	40	58	52	54	34	35
	49	53	50	57	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	26	45	8	27	25	28	12	5	46
	41	47	11	48	49	42	43	6	9	10	14	18	19	15	20	21	16	17	22	31
	56	59	60	62	36	61	37	57	38	63	39	64	32	33	55	34	35	40	58	50
	54	53	52	51	65															
	30	29	2	44	1	3	23	13	24	4	7	26	11	6	12	5	45	8	27	25
	28	41	46	9	47	42	43	10	14	18	15	20	19	22	21	16	48	49	17	31
	56	59	60	62	36	61	37	54	38	63	58	52	55	64	32	39	57	40	53	33
	34	35	50	51	65															
	30	29	13	44	1	2	3	23	24	4	7	41	12	45	42	43	11	5	49	8
	6	46	25	47	48	9	10	14	18	15	20	19	22	21	16	26	27	17	31	56
	60	52	36	53	57	61	37	54	38	55	62	59	51	28	39	63	40	64	32	58
	33	34	35	50	65															

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 544

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	4	1
	4	1	1	1	1	1	1	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4
	3	4	3	4	3	4	3	4	4	6	6	6	5	5	6	5	6	5	5	6
	5	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	3
	4	4	4	4	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	4	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	4	4	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3
	4	4	4	4	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6
	6	6	5	5	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5
	5	6	6	6	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	4	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6
	6	6	6	5	6															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3
	4	4	4	4	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6
	6	5	6	6	5															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6
	6	5	6	6	5															
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
	4	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4
	3	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6
	6	6	6	6	5															
	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2
	1	1	1	1	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	3
	4	4	4	3	3	4	5	4	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	5
	5	5	6	5	6															

3. การค้นหาคำตอบของปัญหา 148 ขั้นงาน

3.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

3.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	30	61	52	132	70	42	43	59	57	58	1	44	92	74	33	56	73	138	139	96
	93	60	140	75	141	144	104	84	86	64	97	142	65	71	35	145	148	66	85	11
	50	32	12	147	2	13	91	34	3	4	51	94	7	53	105	99	5	62	69	100
	6	8	133	9	63	67	119	68	10	95	98	101	102	103	127	14	16	15	17	18
	19	20	22	24	21	82	89	83	90	146	23	28	27	143	25	26	29	31	36	37
	38	45	46	47	39	49	40	48	55	76	88	87	77	111	112	41	113	114	120	123
	116	54	72	78	124	117	115	128	121	125	118	134	122	129	130	126	79	137	80	131
	81	135	106	136	107	108	109	110												
	1	70	141	57	64	60	59	142	74	33	56	58	50	52	35	32	73	75	94	97
	42	51	69	138	86	65	43	61	71	53	96	11	139	82	34	104	44	132	92	84
	133	140	85	144	146	30	89	91	62	93	143	145	99	66	2	83	148	63	90	100
	67	68	147	95	3	4	6	5	9	8	10	12	13	7	14	16	98	101	105	102
	119	103	15	17	19	18	20	127	22	23	24	21	26	25	28	27	29	31	36	37
	45	38	39	46	40	47	49	48	55	87	54	41	88	111	72	134	112	113	135	76
	123	120	77	114	124	121	136	116	122	128	117	78	129	115	79	80	125	130	137	81
	106	131	118	107	108	126	109	110												
	132	42	58	32	59	50	64	43	60	11	1	92	51	33	69	141	82	83	144	12
	30	13	74	142	2	34	91	93	57	105	94	52	56	70	71	75	61	35	65	3
	53	145	99	44	147	138	6	146	66	97	5	7	119	139	9	89	100	73	84	133
	148	140	143	62	85	90	96	86	4	104	63	8	67	10	68	14	15	16	98	17
	18	95	101	19	102	103	20	21	22	24	23	25	28	127	27	26	29	31	36	37
	38	45	39	46	40	47	49	48	55	72	41	76	54	77	87	88	134	135	136	78
	111	112	113	128	129	116	120	121	122	123	130	124	137	79	114	117	115	125	118	131
	80	81	106	126	107	108	109	110												

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2
	1	2	2	2	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4	4	6	6	3	3	3
	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	7	8	7	7	8	8	8	7	8	7
	8	8	7	7	8	8	7	8	8	8	9	10	9	10	10	9	10	9	9	9
	10	9	9	10	10	9	9	10	9	10	9	9	9	9	10	10	10	11	12	12
	12	11	11	11	12	11	12	12	12	12	12	12	11	12	13	12	13	14	13	14
	13	13	14	14	14	13	14	13	14	13	13	14	13	13	13	16	15	15	16	15
	16	16	15	16	15	15	15	16												

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	3	4	4
	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	5
	5	6	6	5	6	6	6	6	5	5	5	8	7	7	7	7	8	7	7	7
	7	8	7	8	8	8	7	7	10	9	9	10	10	10	9	10	9	9	10	9
	9	10	9	10	10	9	9	12	9	11	12	12	12	12	11	11	12	11	12	12
	11	12	12	11	12	11	11	12	12	12	13	14	13	14	14	14	13	13	14	14
	14	13	14	13	14	13	14	13	13	13	16	15	15	16	15	16	15	15	15	16
	16	15	16	16	16	15	16	15												
	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	3	2
	2	2	2	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	6	5	5	6	5	5
	5	6	5	5	5	6	6	8	7	7	7	7	8	7	8	7	7	8	7	7
	8	7	7	8	8	8	8	7	10	9	9	9	10	10	9	9	9	10	9	10
	9	10	10	10	9	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	12	11	12	12	12
	12	11	12	11	12	11	11	12	12	12	12	11	11	12	11	12	14	13	14	13
	13	13	13	13	13	14	14	13	14	13	13	14	13	16	15	15	15	15	15	15
	15	16	15	16	15	15	15	16												

3.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	141	52	132	58	138	139	140	70	60	144	59	142	74	61	94	91	93	75	145	148
	147	64	71	62	65	66	99	97	100	56	73	86	84	85	96	104	57	33	35	32
	34	30	42	43	44	50	105	119	51	69	82	143	83	146	89	90	53	133	92	11
	12	13	63	67	68	95	98	101	103	102	127	2	3	4	1	6	7	5	9	8
	10	14	15	16	17	19	18	20	24	23	22	21	26	27	25	28	29	31	36	37
	38	39	45	40	41	46	47	55	88	87	111	112	76	77	78	79	80	72	54	49
	48	134	135	136	81	106	107	108	109	110	113	116	114	123	124	128	115	125	117	118
	120	121	122	129	130	137	131	126												
	141	60	93	42	132	32	138	139	140	70	144	64	142	74	61	62	63	94	92	59
	75	58	145	148	147	71	56	73	86	84	85	65	66	99	67	68	95	97	96	104
	100	98	101	103	102	127	50	51	69	82	143	146	89	83	43	44	52	53	30	34
	57	90	133	91	105	119	11	12	13	33	35	2	3	4	1	6	7	5	9	8
	10	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	22	28	27	26	25	29	31	36	37
	45	46	38	39	40	41	47	49	48	55	76	77	87	88	111	112	78	79	80	81
	106	72	54	107	134	135	136	108	109	110	113	116	114	123	124	128	115	125	117	118
	120	121	122	129	130	137	131	126												
	141	93	33	132	57	35	138	139	140	70	52	144	142	74	58	61	94	92	50	51
	145	148	147	64	71	62	65	66	99	69	82	143	146	89	83	100	56	73	86	84
	85	96	104	53	59	75	97	60	42	43	30	44	32	34	90	133	91	105	119	11
	12	13	63	67	68	95	98	101	103	102	127	2	3	4	1	6	7	5	9	8
	10	14	15	16	17	18	19	20	21	23	24	22	28	27	26	25	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	48	41	55	76	54	77	87	88	111	112	78	79	80
	81	106	72	107	134	135	136	108	109	110	113	116	114	123	124	128	115	125	117	118
	120	121	122	129	130	137	131	126												

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	141	93	132	138	139	140	52	70	59	144	142	60	74	94	92	61	11	75	64	71
	65	66	99	145	148	62	63	67	68	95	97	58	57	56	73	86	84	85	50	51
	69	82	146	143	89	83	53	147	96	104	100	98	101	103	102	127	33	35	32	42
	43	44	1	90	12	13	133	91	105	119	34	30	2	3	6	4	8	9	7	5
	10	14	15	16	17	18	19	20	23	24	22	21	26	27	28	25	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	55	76	77	87	88	111	112	78	79	80	81	106	72
	54	41	107	48	134	135	136	108	109	110	113	116	114	123	124	128	115	125	117	118
	120	121	122	129	130	137	131	126												

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	4	3	3	4	4
	3	6	6	3	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5
	5	6	5	7	7	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	9	9	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	10	9	10	9	10	10	10	9	9	9	10	9	10
	9	12	11	12	11	12	11	11	12	11	11	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	12	12	11	12	12	11	11	14	13	14	13	13	14	14	14	14	13	14	13	13
	14	14	14	15	14	14	14	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	16
	15	16	15	15	15	15	15	16												
	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	3	4	4
	4	3	4	4	3	6	3	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6
	5	6	5	6	5	6	5	7	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	8	9
	9	8	9	8	8	10	10	10	9	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	10	9	9	10	11	11	12	11	12	11	12	11	11	11	12	12	12	11	12	12
	11	11	12	12	12	12	11	11	12	12	12	12	13	14	14	13	14	14	13	14
	13	14	13	14	14	13	16	13	13	15	15	15	15	16	15	15	16	16	15	16
	15	16	15	15	15	15	15	16												
	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	3	2	4	4	3	3
	4	4	3	4	6	3	3	3	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5
	5	6	5	7	6	8	8	8	7	7	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8
	8	8	8	7	8	9	10	9	10	9	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	10	9	9	10	9	11	12	11	12	11	12	11	11	11	12	12	12	11	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	11	13	14	13	14	14	13	14	14	13
	14	13	14	13	14	13	16	13	15	15	15	16	15	16	15	15	16	16	15	16
	15	16	15	15	15	15	15	16												
	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	4	4
	3	3	3	4	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	6	5	6	5
	6	5	6	5	5	5	5	7	6	6	6	8	8	8	8	7	8	8	7	7
	7	7	8	8	8	8	7	8	9	10	9	10	9	9	9	10	9	10	9	10
	10	9	9	10	11	11	12	11	11	12	11	12	12	11	11	12	12	11	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	14	13	13	13	14	14	13	14	13	14
	13	14	13	13	14	13	16	13	15	15	15	16	15	16	15	15	16	16	15	16
	15	16	15	15	15	15	15	16												

3.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	144	30	132	57	64	65	99	100	66	92	93	94	91	42	43	60	74	44	56	73	
	70	71	59	75	97	58	86	84	85	141	96	104	145	142	148	138	139	140	32	34	
	105	119	147	52	50	51	69	82	83	89	90	146	143	53	133	61	62	63	67	68	
	95	98	101	102	103	127	11	12	13	33	35	2	3	4	1	6	8	10	9	7	
	5	14	15	16	17	18	19	20	23	22	24	21	26	25	27	28	29	31	36	37	
	38	39	45	46	47	49	40	41	48	55	76	88	111	72	134	77	78	79	80	81	
	135	136	54	112	87	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130	
	131	137	121	122	126	114	115	125													
	144	30	132	57	64	65	99	100	93	94	92	66	91	60	42	43	74	44	56	73	
	96	104	70	71	59	75	58	86	84	85	141	97	145	142	148	138	139	140	32	34	
	105	119	147	52	50	51	69	82	83	89	90	143	146	53	133	61	62	63	67	68	
	95	98	101	103	102	127	11	12	13	33	35	2	3	4	1	6	9	7	8	10	
	5	14	16	15	17	19	18	20	23	21	22	24	26	28	25	27	29	31	36	37	
	38	45	46	47	49	39	40	48	55	88	111	76	77	72	134	78	79	80	81	54	
	135	136	41	87	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130	
	131	137	121	122	126	114	115	125													
	144	30	132	57	64	65	94	66	93	92	60	91	105	119	42	43	74	44	56	73	
	70	71	59	75	97	58	86	84	85	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	99	
	100	147	52	104	50	51	69	82	83	89	90	143	146	53	133	61	62	63	67	68	
	95	98	101	102	103	127	33	35	11	12	13	2	3	4	1	5	7	8	6	9	
	10	14	15	16	17	18	19	20	24	23	22	21	27	25	26	28	29	31	36	37	
	38	39	45	46	47	49	40	48	55	88	111	76	77	72	134	78	79	80	81	54	
	135	136	41	87	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130	
	131	137	121	122	126	114	115	125													
	144	42	132	57	64	94	65	66	93	92	60	91	105	119	74	43	44	56	73	70	
	71	59	75	97	58	86	84	85	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	147	99	
	100	52	30	104	50	51	53	69	82	83	89	90	133	143	146	61	62	63	67	68	
	95	98	101	102	103	127	11	12	13	33	35	2	3	4	1	7	5	8	10	6	
	9	14	16	15	17	18	19	20	21	24	22	23	25	28	26	27	29	31	36	37	
	45	46	47	49	38	39	40	48	41	55	88	111	76	77	72	134	78	79	80	81	
	54	135	136	87	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130	
	131	137	121	122	126	114	115	125													
	144	42	30	132	57	64	94	65	66	93	92	60	91	105	119	74	43	44	56	73	
	70	71	59	75	97	58	86	84	85	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	147	
	99	100	52	104	50	51	53	69	82	83	89	90	133	143	146	61	62	63	67	68	
	95	98	101	102	103	127	11	12	13	33	35	2	3	4	1	6	8	10	9	7	
	5	14	15	16	17	19	18	20	24	23	22	21	27	26	28	25	29	31	36	37	
	45	46	47	49	38	39	40	48	41	55	88	111	76	77	72	134	78	79	80	81	
	54	135	136	87	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130	
	131	137	121	122	126	114	115	125													

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	144	42	30	57	64	94	65	66	93	92	60	91	105	119	74	43	44	56	73	70
	71	59	75	97	58	86	84	85	141	96	145	142	148	32	34	138	139	140	132	147
	99	100	52	50	51	53	133	69	82	83	89	90	143	146	104	61	62	63	67	68
	95	98	101	102	103	127	11	12	13	33	35	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	15	16	17	18	19	20	24	23	22	21	27	25	26	28	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	48	41	55	88	111	76	77	72	134	78	79	80	81
	54	135	136	87	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												
	144	33	30	57	64	65	66	94	93	92	91	105	119	60	74	42	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	86	85	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	132
	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	89	90	53	143	146	133	11	12	13
	61	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	15	16	17	19	18	20	24	23	22	21	26	28	27	25	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	55	88	111	76	77	72	134	135	136	78	79	80
	81	54	87	48	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												
	144	33	30	57	64	65	66	94	93	92	91	105	119	60	74	42	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	86	85	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	132
	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	89	90	53	143	146	133	11	12	13
	61	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	15	16	17	19	18	20	23	22	24	21	26	28	25	27	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	55	88	111	76	77	78	72	134	135	136	79	80
	81	54	87	48	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												
	144	33	30	57	64	65	94	66	93	92	91	105	119	60	74	42	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	85	86	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	132
	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	89	90	53	143	146	133	11	12	13
	61	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	16	15	17	18	19	20	21	24	22	23	26	28	25	27	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	55	87	76	77	78	72	134	135	136	79	80	81
	54	48	88	111	112	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												
	144	33	57	42	64	65	94	66	93	92	30	91	105	119	60	74	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	85	86	141	96	145	142	148	138	139	140	32	34	132
	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	89	90	53	143	146	133	11	12	13
	61	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	15	16	17	19	18	20	22	23	21	24	26	28	25	27	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	55	87	76	77	78	72	134	135	136	79	80	81
	54	88	111	112	48	106	107	108	109	110	113	128	123	116	120	117	118	124	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												
	144	64	30	57	42	65	66	94	60	93	92	91	105	61	119	74	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	85	86	141	33	96	145	142	148	138	139	140	32	34
	132	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	89	90	53	143	146	133	11	12
	13	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	8	10	6	9
	5	14	16	15	17	19	18	20	22	23	21	24	26	28	25	27	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	55	87	76	77	78	72	134	135	136	79	80	81
	54	88	111	112	48	106	107	108	109	110	113	120	123	124	116	121	117	118	128	129
	130	137	131	122	126	114	115	125												

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	144	132	30	57	42	64	65	94	66	93	92	91	105	60	119	74	43	44	56	73
	70	71	59	75	97	58	84	86	85	141	33	96	145	142	148	138	139	140	32	34
	147	99	100	52	35	104	50	51	69	82	83	53	89	90	143	146	133	11	12	13
	61	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	2	3	4	1	7	5	8	10	6
	9	14	15	16	17	19	18	20	24	23	22	21	26	28	25	27	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	55	88	111	87	76	77	78	79	72	134	135	136
	80	81	54	112	48	106	107	108	109	110	113	123	124	116	120	117	118	128	129	130
	137	131	121	122	126	114	115	125												

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	3	3	3	2	2	3	2	4
	4	4	4	4	4	3	4	3	3	5	4	4	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	5	7	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	8	8	8	8
	8	8	9	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	10	9	9	10	9	11	12	11	11	11	12	12	12	12	11	11	12	11	12	12
	12	12	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	14	14	13	13	13	14	13
	14	13	13	15	14	14	14	14	14	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	3	2	3	3	2	3	2	4
	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	5	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8
	8	8	9	10	9	10	9	9	9	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	10	10	10	9	9	12	11	11	11	12	11	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	12	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	13	14	14	13	13	14	13	13
	14	14	14	13	15	14	14	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	4	3	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	3	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	7	7	8	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8
	8	8	9	10	9	9	10	10	9	9	10	9	10	9	10	10	10	9	10	10
	9	10	9	10	9	11	12	11	12	11	11	12	11	12	12	11	12	11	12	12
	12	12	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	13	14	14	13	13	14	13	13
	14	14	14	13	15	14	14	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4	4
	4	3	3	3	3	4	3	3	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5	8
	7	7	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	9	10
	9	10	9	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	9	10	9	10
	10	9	12	11	11	11	12	11	12	12	11	11	12	11	12	11	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	13	14	14	14	14	13	13	14	13
	13	14	14	13	15	16	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	3	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8
	9	10	9	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	10	9	11	12	11	12	11	11	12	11	11	12	11	12	11	12	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	13	14	14	14	14	13	13	14	13
	13	14	14	13	15	16	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	4	3	3	3	4	4	4
	4	3	3	3	3	4	3	3	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5
	8	7	7	8	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	7	7	8	7	10
	9	10	9	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	9	10	9	9
	10	9	11	12	11	11	12	11	12	11	11	12	11	12	12	11	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	13	14	14	14	14	13	13	14	13
	13	14	14	13	15	16	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	4	1	3	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	9	8	9	8	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9	9	9	10	9	9
	10	11	11	12	11	12	11	11	12	11	11	12	12	11	11	12	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	14	14	14	14	13	14	13	13	14
	13	13	14	14	15	16	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	4	1	3	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	9	8	9	8	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9	9	9	10	9	9
	10	11	11	12	11	12	11	11	11	11	12	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	14	14	13	14	14	13	14	13	14
	13	13	14	14	15	14	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	4	1	3	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	9	8	9	8	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9	9	9	10	9	9
	10	11	12	11	11	11	12	11	12	12	11	11	12	11	12	11	12	11	12	12
	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	14	13	14	14	13	14	13	14	13
	13	14	14	14	15	14	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	4	1	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	9	8	9	8	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9	9	9	10	9	9
	10	11	11	12	11	12	11	11	11	11	12	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	12	11	11	11	13	12	12	12	14	14	14	14	13	14	14	13	14	13	14	13
	13	14	14	15	14	14	16	16	16	16	15	15	16	15	16	15	15	16	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	15												
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	4	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	4	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	9	8	9	8	8
	8	8	10	10	10	10	10	9	10	9	9	10	10	10	9	9	9	10	9	9
	10	11	12	11	11	12	11	11	11	11	12	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	12	11	11	11	13	12	12	12	14	14	14	14	13	14	14	13	14	13	14	13
	13	14	14	15	14	14	16	16	16	16	15	16	15	15	15	16	15	16	15	15
	15	15	15	16	16	15	16	15												
	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	4	3	3	3	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	5	4	4	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	8	7	8	9	8	8	10
	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	9
	9	10	11	12	11	12	11	11	12	11	11	12	12	11	12	11	12	11	12	12
	12	11	11	11	13	12	12	12	12	14	14	14	13	13	14	13	14	14	14	14
	13	13	13	15	14	14	14	14	16	16	15	16	15	16	15	16	16	15	15	15
	15	15	16	16	16	15	15	16												

3.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	57	144	91	64	132	61	62	63	50	51	58	52	145	56	73	86	84	85	1	70
	71	138	139	140	74	59	75	30	141	65	66	99	100	11	94	97	142	148	92	32
	34	67	68	98	2	93	147	60	105	119	42	43	44	33	35	3	6	5	9	4
	7	53	133	69	82	83	146	143	8	10	89	90	14	16	15	17	19	18	20	23
	95	101	103	21	22	24	26	28	25	27	102	127	29	31	36	37	45	46	47	49
	38	39	40	12	13	55	54	88	76	77	111	78	72	112	79	113	134	123	116	135
	80	114	120	115	128	124	117	136	81	129	125	106	121	107	108	130	131	118	137	109
	122	110	126	87	96	104	48	41												
	74	64	50	1	141	92	2	56	42	59	11	91	132	93	58	105	75	52	57	142
	119	73	84	70	43	30	71	33	144	3	6	9	51	35	32	60	138	65	145	139
	140	53	96	104	97	7	85	86	4	8	69	82	83	146	143	89	90	147	148	99
	5	133	100	12	13	10	66	44	61	94	34	62	14	15	16	63	17	19	18	20
	23	24	22	21	28	26	27	25	29	31	36	37	45	38	46	47	49	67	68	98
	95	101	103	102	127	39	40	55	48	54	88	76	77	87	78	111	79	112	80	72
	134	81	113	106	135	123	116	114	120	115	128	121	124	125	129	107	108	130	41	137
	131	117	109	122	118	110	136	126												

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	3	4	3	3	4	4
	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	6	5	5	6	6	6	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	7	7	6	8	8	8	8	8	7
	8	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	7	9	10	9	9	10	9	9	9
	10	10	9	10	9	10	10	9	10	9	10	9	10	10	10	10	9	9	11	11
	10	10	10	12	12	12	11	12	12	12	12	11	12	11	12	11	12	11	11	11
	12	12	13	12	13	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	13	13	14	13	14
	13	13	14	13	14	13	14	14												
	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	3	4
	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	5	4	5	4	6	6	6	5
	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	8	8	7	7	7	7	8	8
	7	7	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	9	10	9	10	10	9	9
	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9	10	9	9	11	10	10	10
	10	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12	12	11	12	11	12	11	11	12
	14	11	13	13	13	14	14	13	14	13	13	14	13	13	13	14	14	13	14	13
	13	13	14	13	13	14	13	14												

3.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	93	61	62	60	52	92	144	141	42	74	56	58	132	138	139	140	73	96	104	86
	91	105	57	94	1	50	51	53	133	69	82	83	89	90	64	65	99	100	66	119
	33	35	70	71	145	30	2	3	7	6	5	9	4	8	10	14	15	16	17	18
	19	20	21	24	23	22	25	26	27	28	29	31	84	85	43	44	11	12	13	32
	34	59	75	97	142	146	148	147	143	36	37	38	39	40	45	46	41	47	55	72
	134	49	76	77	78	87	79	48	54	135	136	88	111	112	80	81	106	107	108	109
	110	113	120	121	128	129	114	115	122	123	124	125	130	137	131	116	117	118	126	63
	67	68	95	98	101	103	102	127												
	30	141	92	56	73	132	42	144	74	93	1	138	43	2	3	6	5	57	61	62
	63	60	33	35	4	11	12	13	52	44	64	65	99	70	71	32	34	100	91	66
	67	68	95	98	101	103	102	127	59	75	97	145	139	140	50	51	69	53	133	82
	89	83	90	96	104	142	147	146	143	148	8	10	9	94	58	86	84	85	105	119
	7	14	16	15	17	19	18	20	21	22	24	23	27	28	26	25	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	88	72	54	76	77	78	79	80	81	111
	112	134	106	107	108	109	110	87	135	113	114	115	128	129	130	131	120	121	122	137
	123	124	125	116	117	118	126	136												
	93	59	50	74	75	57	60	42	52	141	97	132	43	44	92	11	12	13	1	91
	56	73	61	144	30	138	139	140	64	32	34	65	66	99	100	145	105	119	94	142
	148	62	63	67	68	95	98	101	102	70	71	103	33	35	127	147	58	84	86	85
	51	69	82	143	89	83	90	146	53	133	96	104	2	3	4	8	6	9	7	10
	5	14	16	15	17	19	18	20	22	24	21	23	28	27	26	25	29	31	36	37
	45	46	38	39	40	41	47	49	55	54	87	88	76	77	78	79	72	134	48	135
	136	111	112	113	128	114	120	123	124	129	130	131	137	121	122	116	117	80	118	126
	81	106	107	108	109	110	115	125												

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	144	92	33	132	30	57	52	70	64	65	99	145	74	2	3	4	91	94	35	93
	66	11	50	51	53	69	82	89	90	138	139	140	71	141	133	42	43	105	119	60
	59	75	97	56	73	96	104	83	100	61	62	63	58	86	84	85	142	148	146	143
	1	7	6	9	8	10	147	44	32	34	67	68	98	95	101	103	102	127	5	14
	16	15	17	18	19	20	24	21	23	22	26	25	28	27	29	31	36	37	45	46
	47	49	38	39	40	55	76	88	54	111	112	87	77	78	79	80	72	134	135	136
	41	81	106	107	108	109	113	120	114	121	122	115	123	124	125	110	116	117	118	126
	48	128	129	130	131	137	12	13												
	30	70	1	132	60	59	144	61	64	65	99	100	56	58	141	73	93	11	12	74
	75	91	105	84	62	63	13	145	52	57	96	104	2	3	6	9	4	8	10	142
	148	147	33	35	94	97	32	34	50	51	53	133	69	82	143	146	83	92	42	43
	44	89	90	85	66	67	68	98	95	101	102	103	127	119	138	139	140	5	7	14
	15	16	17	18	19	20	21	24	23	22	28	27	25	26	29	31	36	37	38	39
	40	41	45	46	47	55	87	72	134	135	136	54	76	77	78	79	88	111	112	48
	80	81	113	123	128	116	120	121	124	122	114	115	125	106	107	108	117	118	126	129
	130	131	137	109	110	49	86	71												
	93	52	138	59	91	64	11	70	42	105	71	30	2	43	44	56	57	3	144	61
	73	96	104	4	32	34	145	58	86	141	142	74	75	97	65	99	84	85	12	94
	139	140	132	92	100	148	62	147	1	7	6	9	5	8	10	14	15	60	33	35
	50	51	53	69	82	83	146	89	90	143	133	13	119	66	16	17	18	19	20	24
	23	21	22	27	26	28	25	29	31	36	37	38	39	45	40	41	46	47	49	48
	55	87	72	88	134	135	111	112	54	76	77	78	79	80	81	106	107	108	109	110
	136	113	123	128	129	114	120	121	122	130	137	131	124	115	125	116	117	118	126	63
	67	68	95	98	101	103	102	127												
	56	132	141	70	64	144	42	52	60	57	92	50	51	53	33	35	142	133	1	30
	145	148	94	73	96	58	86	84	85	59	147	32	34	65	99	100	71	104	74	75
	97	61	62	63	43	44	69	82	143	89	90	83	146	93	91	105	66	67	68	95
	98	101	103	102	127	138	139	140	119	11	2	3	6	9	5	7	4	8	10	14
	16	15	17	18	19	20	21	22	24	23	28	26	25	27	29	31	36	37	45	38
	39	46	47	49	40	48	55	72	88	76	77	134	135	136	41	111	112	78	79	80
	81	106	107	108	109	110	113	120	114	116	123	115	117	118	128	129	130	131	121	122
	126	54	87	137	124	125	12	13												
	52	11	94	33	74	144	2	3	56	73	96	104	32	138	139	140	93	1	12	13
	145	58	84	85	7	50	59	75	97	86	132	5	34	51	92	61	62	63	91	6
	35	141	30	105	119	69	82	83	89	90	9	64	65	66	67	53	133	99	100	4
	8	10	14	15	42	43	44	60	16	17	18	19	20	21	24	22	23	27	26	25
	28	29	31	36	37	38	39	45	46	47	40	41	48	49	142	147	143	148	146	68
	95	57	55	76	77	72	87	88	111	112	78	54	134	135	136	113	114	120	123	121
	122	115	128	129	124	125	130	131	137	116	117	118	126	70	71	79	80	81	106	107
	108	109	110	98	101	102	103	127												
	91	74	70	138	2	60	132	56	73	32	59	75	139	11	12	13	57	92	93	140
	96	104	144	64	71	65	99	105	119	33	35	3	4	34	94	141	142	66	50	51
	69	82	89	83	146	90	143	58	84	85	86	145	148	52	53	133	97	30	147	61
	42	43	44	1	6	9	5	100	7	8	10	14	15	16	17	19	18	20	24	23
	21	22	25	26	28	27	29	31	36	37	45	46	38	39	40	41	47	55	54	49
	48	72	87	76	77	88	111	112	78	79	80	81	106	107	108	109	113	114	115	116
	117	123	124	125	128	118	129	130	131	137	134	135	120	121	122	110	136	126	62	63
	67	68	98	95	101	102	103	127												

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2	2	2	4
	3	4	3	3	4	3	3	5	5	4	4	4	6	6	6	6	6	5	6	6
	6	6	6	6	8	8	5	5	5	5	5	5	7	7	7	7	7	8	7	7
	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	7	10	9	9	9	10	10	10	9
	9	10	10	10	10	10	12	9	11	12	12	12	12	12	11	11	12	11	12	12
	12	11	11	11	12	11	14	11	13	13	13	14	13	13	14	14	14	14	14	14
	14	13	13	16	13	13	15	15	16	15	16	15	15	15	15	16	16	16	16	15
	15	15	16	15	16	15	16	15												
	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	2	2	2	2	3	2	2
	2	2	2	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	5	4
	4	4	4	6	6	6	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	8	7	7	8
	8	8	8	8	8	8	7	8	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9
	10	10	10	9	11	12	11	11	12	11	12	11	11	11	12	12	12	11	12	12
	11	11	11	11	12	12	12	12	12	12	12	12	13	14	14	13	14	13	14	13
	13	14	14	14	14	14	13	14	15	15	16	15	15	15	15	15	16	16	15	15
	16	16	16	15	16	15	16	15												
	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
	1	3	2	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	6	3	5	5	6
	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	8	5	8	8	5	7	7	8	7	8
	7	8	7	7	8	8	8	8	7	9	8	10	9	10	9	10	9	9	10	9
	10	9	10	9	9	10	9	9	9	10	10	9	11	11	12	12	12	11	12	12
	11	11	12	12	12	12	11	11	12	11	12	12	12	12	11	14	14	14	11	13
	14	13	13	13	15	16	15	16	16	15	15	15	15	16	16	15	16	15	15	16
	15	15	15	15	16	15	16	16												
	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	3	4	4	3
	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	6	5	5	5	5	6	6	5
	6	5	6	5	6	5	8	5	7	8	8	8	7	8	7	7	8	8	10	7
	7	7	7	9	9	10	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10	10	10	9	9
	10	9	9	11	12	11	12	12	11	11	12	12	11	11	12	11	12	12	11	11
	11	11	12	12	12	12	12	12	11	12	13	12	14	14	14	13	14	14	13	14
	16	13	13	13	13	15	15	16	15	15	16	15	15	16	15	16	15	16	15	16
	15	15	15	15	15	15	16	16												
	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	3	2	3	2	2	2
	4	4	3	4	4	4	4	6	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	6
	6	5	6	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	8	8	8	7	7
	9	8	8	8	8	8	10	10	10	9	10	9	9	10	9	10	9	10	9	10
	9	10	9	9	10	11	12	12	11	11	11	11	12	12	12	11	12	12	12	12
	12	12	11	11	11	12	11	12	12	11	14	13	13	13	13	14	13	13	13	14
	14	14	13	14	13	13	14	13	14	16	15	15	16	15	15	16	15	15	16	15
	15	15	15	16	15	15	16	16												
	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	3	2
	4	4	4	4	3	3	4	3	3	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5
	6	6	5	6	7	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8	8
	7	7	9	8	10	10	10	9	10	9	9	10	10	9	10	9	9	10	9	10
	9	10	9	9	10	9	10	10	11	12	12	12	12	11	12	12	11	11	11	12
	12	12	12	11	12	11	12	13	13	12	12	12	14	14	14	13	14	13	14	13
	14	13	13	13	13	14	15	16	15	15	15	15	16	16	16	16	16	15	16	15
	15	15	15	16	15	16	15	16												

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	3	3	2	2	2	3	2	2
	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	5	5	5	4	6	6	6	5	5	6
	5	6	6	5	5	7	6	6	7	6	6	6	8	7	8	7	8	8	8	8
	7	8	7	8	7	8	10	9	10	9	9	10	9	10	9	9	10	9	10	9
	10	9	9	11	12	11	12	11	12	11	11	12	12	11	12	11	12	12	11	12
	12	11	11	11	12	12	12	12	12	11	13	14	14	13	14	14	13	14	14	13
	14	13	14	13	16	15	15	16	15	15	16	15	16	15	15	15	15	15	16	16
	16	15	15	15	16	16	16	16												
	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1
	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	5	4
	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	6	6	5	8	7	7	7	8	8	8
	7	8	7	7	7	7	9	8	8	8	9	10	10	10	10	9	9	9	10	10
	9	10	9	10	10	10	10	9	9	9	10	10	9	11	12	11	11	12	12	11
	12	11	12	11	12	12	11	11	11	13	12	13	14	14	14	13	14	13	14	13
	14	13	13	13	14	13	13	13	13	14	14	14	16	16	16	15	15	15	16	15
	16	15	16	15	16	15	16	16												
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2
	2	1	3	2	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	3	5	6	5	5	5
	6	5	6	5	6	5	5	7	8	7	8	8	8	7	7	7	7	8	7	7
	7	9	9	8	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9
	10	9	10	10	9	11	12	11	12	12	11	11	12	12	12	12	11	12	11	11
	12	12	12	12	12	11	11	13	12	14	13	14	13	14	13	14	13	13	13	14
	13	14	14	13	13	14	13	13	15	15	14	16	16	15	16	15	16	15	15	15
	16	15	16	15	15	16	15	15												

3.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	144	74	59	75	97	2	58	91	105	119	94	145	141	30	64	70	71	138	139	140
	56	73	86	96	93	132	84	85	42	43	44	11	12	13	61	57	52	92	3	4
	1	8	142	148	65	99	100	66	50	51	53	133	69	82	83	89	90	146	143	5
	7	6	9	147	32	34	104	60	33	35	62	63	10	14	16	15	17	19	18	20
	22	23	21	24	25	26	27	28	29	31	36	37	38	45	39	40	41	46	47	48
	49	55	76	88	54	111	77	112	78	87	79	113	80	120	72	81	116	106	117	67
	68	128	134	114	135	123	107	118	108	121	136	122	109	126	124	110	129	130	131	137
	95	98	101	103	102	127	115	125												
	92	56	144	70	141	91	132	93	50	33	59	74	61	64	142	71	11	57	105	51
	2	42	75	3	4	97	43	35	44	94	73	96	119	30	69	1	58	5	145	12
	52	86	60	104	62	82	146	6	9	7	8	83	13	84	138	63	53	133	139	143
	147	89	140	65	99	100	85	10	32	90	34	66	67	68	98	95	14	15	148	101
	102	16	103	127	17	19	18	20	23	21	22	24	27	25	28	26	29	31	36	37
	38	39	45	40	46	47	49	55	41	88	48	54	76	77	78	79	111	112	87	72
	113	116	114	80	134	81	115	128	120	106	117	123	124	129	130	118	135	137	121	107
	131	136	122	108	126	109	125	110												

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	91	11	61	2	138	33	52	62	57	35	30	92	63	70	58	50	12	42	105	60
	141	132	32	139	140	43	34	59	144	94	142	13	93	56	3	4	44	73	86	84
	51	85	64	71	96	119	145	148	65	1	8	104	99	10	69	6	66	67	9	5
	147	82	146	68	53	89	74	100	98	83	143	75	97	95	101	103	102	133	90	7
	127	14	15	16	17	19	18	20	23	22	21	24	26	25	27	28	29	31	36	37
	45	38	39	46	47	40	55	41	54	88	111	112	49	87	72	76	77	78	79	113
	120	116	123	124	121	134	80	81	122	117	106	107	118	114	128	126	108	109	110	115
	48	129	130	137	131	135	136	125												

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	4	3	4	4	4	4	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	5	5	5	5	4	6	6	6	5	5	6	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8
	7	8	8	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7	10	10	9	9	10	9	9
	9	9	10	10	10	10	9	9	10	9	10	10	10	9	10	10	10	9	9	9
	11	12	12	12	11	12	12	11	12	12	12	11	11	12	12	11	11	11	11	12
	11	13	14	13	14	13	14	13	14	13	14	13	13	14	13	13	13	13	13	13
	14	14	14	13	14	13	14	14												
	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	4	4	1	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	5	6	6	6	5	5	6	6	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	8	7	7	7	7	8	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	8	8	7	7	9	10	9
	9	10	9	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10
	10	10	9	12	9	11	11	12	12	12	11	11	12	12	11	12	11	11	12	12
	11	11	11	12	14	13	13	13	14	13	13	14	13	13	13	14	14	13	14	13
	13	14	13	13	13	14	13	14												
	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1
	1	2	1	2	2	3	3	2	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3
	5	6	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	7	8
	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	9	9	10	10
	9	10	9	10	9	10	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	10	9	10	10
	9	10	10	11	11	12	12	12	11	11	12	11	11	12	12	12	12	12	12	11
	11	11	13	14	13	14	13	13	14	13	14	13	14	13	13	14	13	14	13	14
	14	13	13	13	13	14	14	13												

3.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.76 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

ลำดับขั้นงาน	92	56	144	70	141	91	132	93	50	33	59	74	61	64	142	71	11	57	105	51
	2	42	75	3	4	97	43	35	44	94	73	96	119	30	69	1	58	5	145	12
	52	86	60	104	62	82	146	6	9	7	8	83	13	84	138	63	53	133	139	143
	147	89	140	65	99	100	85	10	32	90	34	66	67	68	98	95	14	15	148	101
	102	16	103	127	17	19	18	20	23	21	22	24	27	25	28	26	29	31	36	37
	38	39	45	40	46	47	49	55	41	88	48	54	76	77	78	79	111	112	87	72
	113	116	114	80	134	81	115	128	120	106	117	123	124	129	130	118	135	137	121	107
	131	136	122	108	126	109	125	110												
	141	1	57	60	30	56	144	91	11	73	32	34	94	64	145	12	92	96	104	58
	42	59	74	138	139	132	65	70	71	43	86	75	105	52	93	119	140	142	50	97
	66	44	2	84	61	99	3	6	51	53	147	85	148	7	33	4	9	8	5	69
	35	100	133	82	10	89	90	83	62	63	14	67	68	98	95	16	13	15	143	146
	101	17	19	18	20	102	23	22	24	21	28	27	25	103	26	127	29	31	36	37
	45	46	38	39	47	40	41	48	49	55	88	111	72	134	135	87	54	112	76	136
	77	78	113	79	114	116	120	123	124	128	115	125	129	80	130	131	137	81	117	121
	122	118	126	106	107	108	109	110												

ตารางที่ ข.77 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 204

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	4	4	1	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	5	6	6	6	5	5	6	6	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	8	7	7	7	7	8	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	8	8	7	7	9	10	9
	9	10	9	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10
	10	10	9	12	9	11	11	12	12	12	11	11	12	12	11	12	11	11	12	12
	11	11	11	12	14	13	13	13	14	13	13	14	13	13	13	14	14	13	14	13
	13	14	13	13	13	14	13	14												
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	4	1	3	3	3	3
	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	5	6	5	6	5	5
	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	7	6	6	8	8	8	7	7	8	8
	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	10	7	9	9	10
	9	9	10	9	9	10	9	9	10	10	9	9	10	10	10	9	10	10	10	10
	9	11	10	10	11	12	12	11	11	12	12	12	12	12	11	12	11	11	12	12
	12	12	11	14	11	13	13	13	13	13	13	13	13	14	13	13	13	14	14	14
	13	14	14	13	13	13	13	14												

3.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

3.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.78 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	33	61	70	93	59	144	138	92	52	60	132	30	2	64	65	58	94	71	56	57
	139	73	11	66	1	91	32	105	84	35	12	145	86	13	140	34	42	62	3	74
	6	85	43	5	50	99	75	100	141	4	119	97	9	142	7	96	63	67	51	8
	69	53	133	148	68	98	10	95	147	14	44	104	82	89	146	15	101	83	90	16
	17	18	143	102	19	103	127	20	23	22	21	24	25	28	27	26	29	31	36	37
	45	38	39	40	46	41	47	49	55	72	54	134	135	48	88	111	76	77	136	112
	87	113	128	129	114	115	123	116	130	117	137	131	78	79	124	120	80	118	121	81
	106	107	122	108	109	126	125	110												
	52	59	92	70	74	11	138	58	33	91	105	132	32	42	30	139	75	50	2	57
	97	119	144	94	141	3	140	61	12	145	4	142	35	148	64	34	1	8	65	99
	147	100	10	62	6	51	60	93	56	63	5	13	73	84	69	82	9	146	96	89
	66	83	71	67	86	53	133	68	43	95	7	44	104	14	16	15	85	17	143	98
	90	18	19	20	24	23	22	101	103	102	21	27	28	25	127	26	29	31	36	37
	45	38	39	46	47	40	49	48	41	55	72	87	54	134	88	135	76	136	111	77
	78	112	79	113	116	117	118	114	120	123	115	80	81	128	121	106	122	126	129	130
	124	137	125	131	107	108	109	110												
	93	11	33	50	32	94	92	74	141	132	70	59	60	56	138	30	64	57	71	91
	2	75	97	142	58	3	1	12	51	139	52	5	69	144	7	140	65	34	35	99
	13	61	53	62	133	145	6	63	100	9	148	4	8	147	73	105	10	66	119	84
	86	14	15	85	96	104	67	16	17	42	19	82	143	43	44	146	83	18	68	20
	95	89	24	90	98	23	21	101	102	103	22	26	27	25	127	28	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	55	54	72	88	41	87	76	134	111	77	78	48	135
	112	136	79	80	113	123	120	81	106	107	114	124	115	116	121	128	117	118	125	122
	108	109	126	129	110	130	137	131												

ตารางที่ ข.79 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1
	2	1	2	2	1	1	1	4	1	4	1	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3	3	6	3	5	5	5	5	5
	6	5	5	6	6	6	6	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6
	5	5	7	6	6	8	8	7	7	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	8
	7	8	8	8	7	8	7	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7	9
	8	9	9	9	10	9	10	9	9	10	9	9	10	10	9	9	9	10	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10												

ตารางที่ ข.79 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1
	1	2	1	2	3	2	2	2	2	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4
	3	4	3	4	3	5	4	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5
	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	7	8
	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	8	8
	7	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	7	7	8	8	7	8	10	9	9
	9	9	10	9	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	10	10	9	9	9
	10	9	10	9	10	10	10	9												
	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1
	2	2	1	2	1	1	1	1	1	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4
	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	6	5	6	5	6	6	5	6
	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6
	5	6	6	5	8	5	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7
	9	10	10	9	9	10	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	9
	10	10	9	9	10	9	9	9												

3.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.80 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	61	93	1	92	70	62	91	52	132	138	58	60	94	64	57	59	141	63	74	105
	75	97	65	99	71	66	2	100	3	5	6	142	119	144	139	67	145	148	68	56
	73	86	96	84	104	85	95	98	140	147	101	102	103	127	30	33	32	9	42	43
	44	11	12	13	7	35	4	8	10	14	16	15	17	18	19	20	24	23	21	22
	26	28	27	25	29	34	50	51	53	69	133	82	83	89	146	90	143	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	55	54	49	48	88	87	76	72	134	111	77	135	136
	112	78	79	80	81	113	106	107	123	116	108	114	117	124	128	129	109	110	130	118
	131	137	115	120	121	122	125	126												
	61	30	94	70	62	56	11	144	132	58	60	138	32	34	139	140	145	64	57	59
	33	35	52	50	2	3	141	12	93	63	1	74	6	75	92	142	9	4	42	8
	65	13	73	86	96	104	71	51	69	66	99	100	82	5	97	7	147	148	83	10
	53	84	91	105	119	133	67	143	14	16	15	43	17	44	146	19	85	18	20	89
	23	90	24	22	68	95	98	101	103	102	127	21	27	28	25	26	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	55	48	88	76	111	54	87	72	77	112	78	113
	79	123	134	80	81	128	124	114	106	135	115	107	120	136	121	122	108	109	129	125
	130	137	110	131	116	117	118	126												
	64	30	93	58	56	59	11	144	132	61	60	138	32	34	139	140	145	70	74	62
	33	35	52	50	2	3	141	12	92	65	1	63	73	6	66	94	86	142	9	4
	42	8	75	13	97	71	67	51	57	99	100	68	5	96	7	104	147	148	95	69
	10	98	53	84	91	105	101	119	133	82	102	143	103	14	16	15	127	43	17	44
	146	19	85	18	20	89	23	90	24	22	83	21	27	28	25	26	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	55	48	88	54	111	76	87	77	78	112	79	113
	72	123	134	80	81	128	124	106	107	135	116	108	120	136	121	122	114	109	129	130
	137	110	131	115	125	117	118	126												

ตารางที่ ข.81 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2
	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	4	3	3	4	4	4	4	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	5	4	4	4	6	6	6	5	6	5	5
	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	5	5	6	6	5	6	7	7	8	7	8	8	8	8	7	7	8	8	8
	8	8	8	8	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	9
	9	8	10	10	10	9	10	10	10	9	9	10	9	10	9	9	10	9	9	10
	9	9	10	10	10	9	10	10												
	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
	2	2	1	1	1	1	3	2	3	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	6	5	5	6	6	6
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	7	8	7
	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8
	8	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	9	10	9
	10	9	10	9	9	9	10	10	9	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9
	9	9	10	9	10	9	10	9												
	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1
	2	2	1	1	1	1	3	2	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3
	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	5	6	5	6	6	6
	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	7
	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8
	8	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	9	10	9
	10	9	10	9	9	9	10	9	9	10	9	10	9	10	9	9	9	10	9	9
	9	10	9	10	9	10	9	10												

3.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.82 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	144	61	62	74	94	56	63	93	138	73	64	58	84	139	85	59	1	141	11	132
	12	86	32	34	42	75	30	50	142	92	13	145	91	57	52	96	104	70	105	97
	147	140	148	43	119	65	71	60	44	33	99	100	35	2	3	6	5	9	4	8
	51	53	69	10	82	83	89	90	146	66	67	68	98	143	95	133	7	101	103	102
	14	127	15	16	17	18	19	20	21	23	22	24	26	27	25	28	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	55	48	88	111	54	76	77	112	78	113	79	128
	87	129	130	114	72	123	80	120	81	134	137	115	106	107	124	135	108	125	109	121
	122	110	116	136	117	131	118	126												
	11	132	61	60	42	138	74	70	91	57	50	51	94	139	43	59	140	144	64	141
	71	105	32	75	142	119	33	35	93	65	44	52	145	30	148	1	92	12	99	69
	97	13	2	34	3	6	9	7	100	66	56	53	73	5	147	82	83	143	89	96
	104	58	84	85	4	62	133	146	90	8	10	14	86	16	63	67	68	98	95	15
	17	18	19	20	21	24	23	22	27	25	28	26	101	103	102	29	31	36	37	45
	46	38	127	39	40	41	47	49	55	87	54	88	72	48	76	77	111	134	78	112
	79	113	80	120	81	121	106	122	116	107	114	123	108	124	135	109	115	125	117	136
	118	110	126	128	129	130	137	131												

ตารางที่ ข.82 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	144	42	32	34	64	94	60	61	59	74	56	138	33	93	91	30	139	140	58	65
	11	99	100	52	141	75	142	70	50	12	62	57	132	145	1	63	71	66	73	148
	84	13	97	51	53	69	96	85	35	133	92	147	67	105	119	82	83	89	90	146
	143	104	86	43	44	68	98	95	101	103	102	2	127	3	6	5	4	8	10	9
	7	14	16	15	17	18	19	20	21	23	22	24	26	28	27	25	29	31	36	37
	45	38	39	46	47	49	40	41	55	76	88	48	77	54	87	78	111	72	112	79
	113	80	114	81	128	116	129	106	115	107	120	134	117	108	118	109	121	122	110	126
	135	130	131	136	137	123	124	125												
	57	61	62	70	11	132	30	1	56	58	138	33	42	92	63	94	64	71	93	43
	44	50	74	141	60	139	59	65	99	142	12	2	144	35	32	34	13	145	140	3
	6	5	9	7	100	66	91	148	67	4	8	10	51	105	68	69	98	95	14	16
	15	75	82	83	89	101	103	146	102	52	147	73	86	90	53	84	85	143	133	119
	17	18	19	20	23	22	24	21	96	104	28	26	27	97	25	127	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	55	48	76	88	87	54	77	111	72	112	78	113
	79	128	114	134	116	80	120	81	129	106	121	135	130	115	131	117	118	122	107	136
	108	137	126	109	123	110	124	125												
	32	34	56	59	64	144	65	70	52	132	33	2	50	145	35	71	92	66	141	60
	94	3	11	42	91	57	61	62	63	74	30	99	58	138	1	7	139	75	142	4
	147	5	8	93	148	51	12	73	10	69	86	43	13	67	82	89	96	104	53	83
	44	84	85	68	140	98	105	90	119	95	143	97	133	146	6	9	100	101	103	102
	127	14	16	15	17	18	19	20	23	24	22	21	28	26	27	25	29	31	36	37
	45	46	38	39	40	41	47	49	55	76	72	54	88	77	111	134	87	78	112	79
	113	80	128	48	114	116	135	123	129	136	117	81	120	124	115	125	130	121	122	106
	137	107	131	108	118	109	126	110												
	144	2	50	51	145	91	57	61	62	69	33	35	32	74	94	64	70	34	71	1
	141	60	11	56	52	53	42	93	3	6	5	9	7	92	63	142	30	133	147	59
	75	148	43	4	8	10	138	105	132	12	14	16	15	139	44	140	65	99	100	66
	17	97	67	119	13	73	19	58	82	83	143	84	96	68	98	89	90	146	95	85
	104	18	20	21	24	23	22	26	28	101	27	25	86	103	29	102	31	36	127	37
	38	39	45	46	47	49	40	41	55	48	76	54	72	87	77	88	111	134	78	112
	79	113	80	116	135	114	117	136	115	81	120	118	106	121	122	126	128	107	129	123
	108	124	130	131	109	125	137	110												
	11	2	32	64	92	30	94	52	33	93	35	12	60	59	42	65	50	141	91	43
	66	132	57	138	139	74	58	144	75	142	44	145	1	147	13	105	97	51	53	61
	119	70	133	69	3	6	140	148	5	9	82	83	89	90	56	7	99	34	100	143
	62	73	86	84	85	96	146	4	8	63	71	104	10	14	16	15	17	67	19	18
	20	24	23	22	68	21	95	98	26	27	101	103	28	102	25	29	127	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	55	48	88	54	76	72	111	77	87	78	112	79
	113	80	120	81	121	116	128	114	122	106	115	134	129	123	107	124	130	131	117	108
	118	109	126	110	135	137	136	125												
	144	11	2	64	70	33	59	61	42	71	74	94	56	132	73	145	3	138	91	30
	50	92	93	58	84	75	62	51	85	105	97	69	32	34	4	1	43	8	10	96
	65	99	139	12	44	140	13	86	52	5	63	104	66	57	60	119	141	82	83	67
	68	98	142	100	143	6	146	9	7	14	16	95	89	90	35	148	101	103	15	147
	102	53	127	17	133	18	19	20	24	23	22	21	26	27	25	28	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	41	48	55	87	76	77	88	72	54	111	134	78	112
	79	113	80	120	81	106	116	114	121	135	123	107	122	108	109	115	136	110	124	117
	128	125	129	130	131	137	118	126												

ตารางที่ ข.83 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	
	2	2	1	1	1	2	2	1	4	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	
	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	6	6	3	5	5	5	5	5	6	
	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	
	5	6	5	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	
	8	8	8	8	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	8	9	10	9	
	9	9	9	9	10	9	9	9	10	10	9	9	10	10	9	10	9	10	9	10	
	9	10	9	10	9	9	9	9													
	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
	2	2	1	2	4	3	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	
	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	5	6	6	5	6	6	5	6	6	
	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	7	
	8	7	8	7	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	8	8	7	
	7	8	8	8	8	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	8	7	9	
	10	9	10	9	10	10	9	9	10	10	9	10	10	9	9	10	9	9	10	9	
	10	10	10	9	9	9	9	9													
	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	
	2	2	1	1	3	2	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	
	3	3	3	3	3	4	3	3	6	3	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6	
	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	8	7	
	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	7	8	8	
	7	8	8	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	10	9	10	
	9	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10	10	9	9	9	10	9	9	10	9	
	10	9	9	10	9	9	10	9													
	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	
	1	2	2	1	2	2	2	2	2	4	1	1	3	4	3	3	4	4	3	3	
	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	
	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	7	7	6	
	6	7	6	8	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	7	8	8	8	
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	9	8	9	
	10	9	10	10	9	9	9	10	9	10	10	9	9	10	9	10	9	10	9	10	
	9	9	9	10	9	10	9	9													
	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	
	1	1	1	1	3	3	2	2	2	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	
	3	4	4	3	4	3	4	6	3	6	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	
	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	7	
	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	8	
	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8	9	10	
	9	10	9	10	9	10	10	9	9	10	9	9	9	10	9	10	9	9	10	9	
	9	10	9	10	9	10	9	10													

ตารางที่ ข.83 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1
	3	2	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4
	4	4	3	3	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6
	6	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	8	5	7
	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8
	8	8	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7	9
	10	9	10	9	10	9	10	9	10	10	10	10	9	9	10	9	9	10	9	10
	10	10	9	9	10	9	9	10												
	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1
	1	2	1	2	1	2	1	3	2	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	4
	4	4	5	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5
	6	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	8	7	7	8	8	7
	7	8	7	7	8	8	7	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8
	8	8	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	10	9	9	9	10	9	10	10	9	9	9	10	9	9	10	10
	9	10	9	10	9	9	10	9												
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2
	1	1	1	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	5	4	6	6
	6	6	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5
	6	7	8	8	7	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	8	7	9
	10	9	10	9	10	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	10	10
	9	9	9	9	9	9	10	10												

3.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.84 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	33	91	32	59	138	139	93	58	74	61	1	56	11	60	73	94	84	75	85	141
	34	62	63	57	86	105	119	42	144	132	12	92	97	145	140	50	51	142	148	2
	96	104	3	4	6	5	8	10	9	64	35	43	52	13	147	7	69	70	53	133
	82	143	14	89	83	44	16	15	17	18	19	71	30	146	90	20	65	66	99	22
	100	67	68	21	23	24	98	95	101	102	26	25	28	103	27	29	127	31	36	37
	38	45	39	46	40	41	47	49	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	114	134	128	81	116	106	117	107	135	123	118	136	124	129	108	130	120	137
	109	121	110	122	131	126	115	125												
	32	33	58	138	139	92	35	52	93	140	34	144	91	145	56	70	64	71	30	94
	73	141	65	99	100	74	96	104	142	84	85	147	105	119	148	11	12	13	61	1
	66	60	42	43	132	57	62	86	44	2	63	59	3	6	5	4	50	8	10	9
	51	53	133	69	82	146	89	90	83	143	67	68	75	98	95	7	101	102	103	14
	16	15	17	18	19	127	20	24	97	22	21	23	25	28	26	27	29	31	36	37
	38	45	39	40	46	41	47	49	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	128	81	129	123	134	130	114	131	135	120	124	136	121	122	116	106	115	125
	107	117	108	118	109	126	110	137												

ตารางที่ ข.84 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	32	74	94	92	50	33	35	57	52	34	70	51	53	133	69	64	1	71	30	11
	144	59	12	132	141	42	75	138	139	140	13	93	2	65	58	43	61	62	99	100
	56	66	97	73	86	63	145	84	60	85	142	148	44	91	67	68	98	95	101	105
	119	103	82	146	89	90	143	102	3	6	127	96	104	7	5	4	83	9	8	10
	147	14	16	15	17	18	19	20	24	22	21	23	27	28	26	25	29	31	36	37
	38	45	39	40	41	46	47	49	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	114	134	120	135	115	123	81	116	106	117	107	118	136	121	124	125	128	122
	108	126	109	129	110	130	131	137												
	144	92	74	91	94	59	57	138	33	75	70	105	132	60	1	32	35	58	119	42
	30	139	140	93	2	34	97	141	145	52	11	64	71	50	142	148	12	13	43	61
	44	147	56	73	86	96	104	62	65	84	85	51	53	133	69	82	3	6	9	7
	5	4	99	100	83	143	89	90	66	8	10	14	16	15	17	19	18	63	20	24
	22	23	21	67	68	98	146	95	27	28	25	26	101	102	103	29	127	31	36	37
	45	38	39	40	41	46	47	49	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	114	134	120	81	123	124	106	121	115	125	107	116	108	128	117	135	109	122
	110	129	130	136	131	118	126	137												
	59	50	42	43	32	58	70	44	34	33	93	51	92	60	74	144	64	11	12	2
	71	57	69	75	30	61	82	3	141	56	13	52	89	91	105	119	132	97	62	90
	94	1	5	63	4	142	53	133	146	8	145	73	86	138	143	84	148	10	6	85
	96	147	83	9	7	14	104	139	35	140	65	66	67	99	68	98	95	15	100	16
	17	18	19	20	24	22	21	101	23	25	26	103	27	28	29	102	31	36	127	37
	38	45	39	46	40	41	47	49	48	55	72	87	54	76	88	134	111	77	112	78
	113	79	116	120	80	128	81	117	135	106	114	123	118	107	115	108	136	109	121	110
	129	124	122	125	130	131	137	126												
	144	11	33	74	59	61	138	30	94	58	75	42	52	93	139	91	35	57	62	92
	1	105	56	119	141	145	97	60	64	43	132	12	13	73	86	142	148	2	96	104
	3	147	50	140	51	53	133	69	82	146	89	90	65	66	6	9	70	71	32	63
	5	4	99	67	68	95	84	8	10	83	143	100	34	85	7	98	14	16	44	15
	17	19	18	20	24	22	21	23	25	28	26	101	102	103	27	29	127	31	36	37
	38	45	39	46	47	49	40	41	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	123	81	128	124	134	120	106	129	107	130	108	131	109	114	137	121	110	122
	116	135	115	125	136	117	118	126												
	70	74	58	92	42	43	61	30	1	57	62	52	64	50	51	53	133	2	94	11
	141	65	71	56	93	59	33	35	138	12	132	144	91	145	75	32	99	34	142	97
	63	44	147	105	119	73	86	84	85	69	82	146	89	90	143	3	4	6	5	100
	60	13	66	67	68	98	95	101	8	10	9	103	83	102	96	7	139	14	16	127
	148	140	15	17	18	19	20	24	22	21	23	25	28	26	27	29	104	31	36	37
	38	45	39	40	41	46	47	49	48	55	88	54	76	72	87	77	111	78	112	79
	113	80	116	117	114	134	128	81	123	129	106	130	107	115	108	118	131	135	120	136
	121	109	124	110	122	137	126	125												

ตารางที่ ข.85 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1
	1	2	2	1	2	2	2	1	3	2	2	2	2	4	3	3	3	4	4	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5
	6	5	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	8	5	5	5	5	5	5
	7	7	7	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	8
	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	9	10	9	10	9	9	9	9	10	9
	9	10	9	10	9	10	9	9												
	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	4	4	4	1
	1	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	3	4	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6
	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	7	8	8
	8	7	7	7	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8
	8	7	8	8	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	10	9	9	9	10	9	10	10	9	9	9	10	9	10
	9	9	10	9	10	9	10	9												
	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1
	1	2	2	2	3	3	2	2	2	2	2	3	4	4	3	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	6	6	3	3	3	3	5	5	5	5
	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5
	7	6	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8
	8	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9	9	10	10	9	10	10	10	9	10
	9	10	9	9	10	9	9	9												
	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1
	2	1	1	1	2	1	2	3	4	3	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3
	3	3	4	3	4	3	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6
	6	5	6	5	6	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	7	8	8
	7	7	8	8	8	7	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8
	7	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	10	10	9	9	10	10	9	10	9	9	10	10	9	10
	9	9	9	10	9	9	10	9												
	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2
	2	1	2	2	2	2	2	2	3	2	2	3	2	4	4	3	4	4	4	4
	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	6	3	5	5	5	5	6	5	5	5
	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	8
	7	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8
	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8	9	8
	9	10	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9	9	10	10	9	10	9	9	10
	9	9	10	9	9	9	9	10												

ตารางที่ ข.85 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	1	1	2	1	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3
	3	3	4	3	3	5	5	4	4	6	6	6	6	6	5	5	6	6	5	5
	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	8	7	7
	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	8
	8	7	8	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	10
	9	10	9	9	10	9	9	9												
	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	3	4	4	3	3	3	3	4	3
	3	3	3	4	6	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5
	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	8	7
	8	7	7	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8	8
	8	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	9	9	10	9	10	9	9	10	10	9
	10	10	9	9	10	9	10	9												

3.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.86 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	2	1	42	43	3	11	141	60	32	57	138	58	93	144	91	105	119	139	7	4
	5	34	56	140	52	44	74	12	13	8	6	145	132	73	84	85	86	9	142	148
	61	62	63	50	51	53	69	82	89	90	133	83	92	64	65	99	33	35	94	66
	67	68	95	98	59	75	97	146	143	96	104	30	70	71	10	14	16	15	100	101
	103	102	127	147	17	18	19	20	24	23	21	22	28	27	26	25	29	31	36	37
	45	46	38	39	40	41	47	48	49	55	76	87	72	77	78	54	79	80	81	106
	107	88	111	112	113	116	123	120	121	128	124	129	130	131	117	118	122	126	137	114
	134	135	136	108	109	110	115	125												
	92	74	33	57	52	93	64	59	2	30	61	62	132	60	58	63	11	12	50	141
	91	105	119	70	71	138	139	140	3	4	51	13	94	65	99	100	32	34	69	82
	83	89	90	53	133	66	67	68	98	95	101	102	56	73	84	85	96	104	86	1
	8	5	6	10	9	144	145	75	97	35	103	127	7	14	16	15	17	18	19	20
	21	24	22	23	25	26	28	27	29	31	36	37	45	46	47	49	38	39	40	48
	55	76	88	54	72	77	87	111	112	41	78	79	113	116	120	114	123	121	115	124
	80	81	106	107	125	128	129	130	131	134	135	136	122	108	109	110	117	137	42	43
	44	142	143	148	147	146	118	126												
	58	144	1	60	57	138	42	74	61	91	141	56	59	75	50	92	2	11	93	139
	140	51	69	82	89	90	83	43	44	32	34	3	7	6	105	12	13	73	96	86
	104	84	85	64	65	5	145	97	99	100	132	94	30	33	35	70	71	119	66	4
	8	10	52	53	133	142	147	146	148	143	62	63	67	68	95	98	101	103	102	127
	9	14	16	15	17	19	18	20	21	24	22	23	28	25	26	27	29	31	36	37
	38	39	45	46	40	41	47	48	49	55	72	87	88	111	54	76	77	78	79	112
	113	116	114	120	115	128	129	130	117	118	131	134	80	81	106	107	108	137	123	124
	125	121	122	126	135	136	109	110												

ตารางที่ ข.87 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	2	1	2	2	1	3	2	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4
	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	6	6	6	5	5
	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	5
	6	5	6	5	6	7	6	8	8	7	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8
	7	7	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8	9
	10	9	10	9	9	10	9	10	9	9	10	9	9	9	10	10	10	9	9	10
	10	10	9	10	10	10	9	9												
	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1
	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	3	2	4	3	3	4	3	3	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4
	3	4	4	3	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5
	6	6	5	5	6	6	5	5	8	7	8	8	7	7	7	7	8	8	8	8
	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8	8	8	7	7	7	8	7	9	8	8
	10	10	10	9	10	9	9	9	9	10	10	9	10	10	10	9	10	9	9	9
	9	10	9	10	9	10	10	9												
	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	2	1	2	1	2	1	2	1	3	3	3	2	4	4	4	3	4	3	4	3
	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	6	3	3	5
	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	8
	7	7	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	8	7	8	7	8	8
	8	8	7	7	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	7	8	8	9	10	9
	9	10	9	10	9	9	9	9	10	9	9	10	10	10	9	10	9	9	10	10
	10	9	10	9	10	10	9	9												

3.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.88 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	144	91	1	92	105	119	138	60	70	93	132	59	57	56	42	43	44	64	94	145
	141	73	96	104	33	11	2	142	148	139	74	75	50	58	97	35	12	13	30	61
	140	86	84	32	34	85	51	147	65	66	99	62	52	53	133	69	82	83	89	90
	146	143	3	4	7	5	100	8	10	6	9	14	15	16	17	18	19	20	21	23
	24	22	27	25	26	28	29	31	36	37	63	38	67	68	39	40	41	98	95	101
	102	103	127	45	46	47	49	71	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	80	116	81	114	134	120	135	121	136	122	115	106	117	128	129	107	130	108	131
	109	118	110	137	123	126	124	125												

ตารางที่ ข.88 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	60	70	33	35	57	91	93	74	32	58	94	64	132	42	43	65	66	105	119	138
	71	1	34	11	44	61	62	63	67	68	50	144	139	99	30	12	140	56	13	73
	84	86	85	2	96	104	59	75	98	95	52	100	101	102	51	53	133	69	82	83
	145	141	89	90	3	7	92	6	9	103	142	148	5	4	8	147	146	143	97	10
	14	16	127	15	17	19	18	20	21	23	24	22	28	26	25	27	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	134	114	135	120	136	121	115	123	80	128	81	129	106	122	130	107	131	108	137
	109	124	125	116	117	110	118	126												
	144	11	92	12	60	94	42	43	44	145	30	93	57	138	56	1	132	74	32	34
	2	70	52	139	59	75	141	33	35	61	58	142	148	3	5	147	50	6	91	7
	73	105	119	84	86	62	63	13	97	140	51	53	133	69	85	82	64	71	143	146
	4	8	10	83	89	90	65	99	9	14	15	16	17	19	18	20	24	22	21	66
	100	96	104	67	68	98	95	101	102	103	127	23	26	25	27	28	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	80	123	134	124	81	116	106	117	135	114	136	120	118	107	121	108	122	109	126
	115	110	128	125	129	130	131	137												
	144	56	58	70	33	35	30	145	94	60	93	74	1	91	132	42	43	44	57	141
	105	119	138	139	61	59	2	62	63	52	92	75	32	34	140	97	11	12	13	142
	148	50	3	4	147	73	84	86	85	51	53	133	69	82	143	146	89	90	83	64
	71	8	10	5	65	99	100	66	67	68	7	6	98	95	9	14	15	16	17	19
	101	102	103	127	18	20	23	24	22	21	26	25	27	28	29	31	36	37	38	39
	40	41	96	104	45	46	47	49	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	80	128	81	116	106	123	129	107	134	114	117	115	130	135	118	137	108	131	109
	110	124	125	136	120	121	122	126												
	144	91	42	43	44	145	57	138	139	64	132	93	60	92	33	74	32	34	11	35
	70	2	140	50	105	56	71	73	119	12	13	51	94	30	69	82	1	141	61	62
	63	52	53	133	3	7	6	9	4	59	5	142	83	75	143	146	8	89	90	58
	96	147	10	97	86	84	85	104	65	66	67	68	99	95	100	98	148	14	101	102
	103	127	15	16	17	18	19	20	21	23	24	22	25	27	28	26	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	80	128	81	116	106	134	114	135	120	129	107	130	108	121	115	109	117	118	110
	122	136	126	123	137	124	131	125												
	144	92	1	70	52	32	34	11	33	30	145	58	141	91	12	74	93	105	119	57
	138	60	50	13	59	75	142	148	97	94	64	71	35	42	43	44	147	56	65	132
	73	51	53	69	82	143	83	89	90	146	96	66	139	61	62	63	2	140	3	5
	4	6	9	67	68	86	84	98	133	7	99	95	100	101	102	103	127	8	10	14
	15	16	17	18	19	85	104	20	21	23	24	22	28	26	25	27	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	87	54	88	76	72	77	111	78	112	79
	113	80	123	134	114	135	120	81	115	128	136	116	106	117	121	107	122	108	118	126
	124	125	109	110	129	130	131	137												
	144	2	50	58	132	59	61	62	63	145	11	64	141	52	65	66	138	139	42	43
	142	92	99	93	74	94	32	34	70	56	12	1	13	51	53	133	69	60	71	147
	73	84	140	57	3	7	6	5	9	67	68	4	91	44	75	86	85	33	96	35
	104	97	30	105	95	100	98	8	10	14	15	16	17	19	101	102	82	83	89	90
	148	119	146	103	127	143	18	20	21	23	24	22	25	27	26	28	29	31	36	37
	45	38	39	40	46	47	49	55	87	54	76	72	77	48	134	41	88	111	78	112
	79	113	80	128	81	116	135	120	114	106	129	107	121	115	108	117	118	122	109	126
	110	123	136	130	137	124	125	131												

ตารางที่ ข.89 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	4
	1	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3
	3	3	4	3	3	4	3	5	4	4	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5
	6	5	5	6	8	7	8	7	8	8	7	8	7	7	8	8	8	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	8	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10	10	9	9	9	10	9	10	9
	10	9	10	9	9	10	9	9												
	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2
	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	3	2	4	4	4	4	4	4	4
	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	4	4
	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6
	5	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	9	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	10	9
	10	9	10	9	9	10	9	10												
	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1
	2	2	1	1	2	2	3	4	4	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4
	4	4	3	4	4	4	3	4	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6
	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	7
	8	7	8	7	7	7	8	8	7	8	8	7	8	8	7	7	7	8	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	10	9	10	9
	10	10	9	9	9	9	9	9												
	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	3
	2	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	4	3	3	3	3	4	3	4	3	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6
	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	5	8	7	8
	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8
	8	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	7	8	10	9	10
	9	9	9	10	9	10	10	9	9	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10
	9	10	10	10	9	9	9	10												
	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2
	2	1	2	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4
	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	6	3	5	5	6	5	6	6	5
	6	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	8	5	5	7
	7	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	10	9	10	9	10	10	9	9	10
	9	10	9	9	9	10	9	10												

ตารางที่ ข.89 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	3	3
	2	2	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4
	3	3	5	4	4	5	4	4	4	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	7	8
	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	9	9	10	9	10	10	9
	10	10	10	9	9	9	9	9												
	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1
	2	1	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	3
	4	4	4	3	4	4	3	3	4	3	3	4	5	5	6	6	6	6	6	6
	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6
	8	5	8	7	7	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8	8	7	8	10	7	7	7	9
	10	9	9	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	10	10	9	10	9	10	9
	10	9	10	9	9	9	9	9												

3.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.90 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

ลำดับขั้นงาน	93	52	64	11	94	70	71	2	56	73	1	59	132	74	96	60	144	104	12	13
	33	35	42	43	44	92	30	75	57	138	139	140	145	61	62	63	91	65	66	99
	141	97	142	148	105	32	119	100	3	7	4	5	50	34	51	53	133	69	82	83
	89	90	8	10	147	143	6	9	146	14	16	15	17	18	19	20	24	21	23	22
	25	58	86	27	26	28	29	31	36	37	45	46	67	68	47	49	38	39	98	95
	101	102	103	127	84	85	40	41	48	55	72	54	88	76	87	134	111	77	112	78
	113	79	116	135	128	80	120	136	121	129	130	122	137	131	81	123	114	106	124	107
	117	108	118	109	115	126	110	125												
	144	138	139	92	64	132	33	74	35	141	58	65	99	66	57	42	43	44	94	100
	56	73	86	70	60	71	11	30	140	145	61	93	32	1	34	52	62	63	67	68
	98	12	96	59	75	142	148	95	101	102	103	127	13	97	91	84	85	147	2	3
	7	4	50	51	53	69	6	9	8	105	82	83	89	90	143	146	119	133	5	104
	10	14	16	15	17	18	19	20	24	21	23	22	25	28	27	26	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	72	54	88	134	111	87	76	77	135	78
	112	79	113	80	114	81	116	106	117	107	123	136	120	108	118	109	115	124	125	128
	110	121	129	122	126	130	137	131												

ตารางที่ ข.90 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	144	70	33	35	30	132	42	138	139	57	60	43	58	140	1	93	91	61	56	32
	34	44	92	105	141	119	142	2	11	145	52	3	5	50	59	62	63	94	12	13
	4	51	53	133	69	6	9	73	96	86	147	104	7	74	84	85	148	75	97	64
	71	65	66	99	67	68	100	95	98	101	82	83	146	89	90	143	102	103	127	8
	10	14	15	16	17	19	18	20	21	23	22	24	25	28	27	26	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	72	54	88	76	87	77	111	78	112	79
	113	80	116	81	128	134	120	135	123	136	121	129	106	122	107	130	137	124	108	131
	109	117	110	118	126	114	115	125												
	144	11	12	13	33	61	92	30	50	42	70	56	57	52	32	74	132	60	43	1
	44	94	138	139	140	58	62	73	34	93	141	84	59	75	145	86	96	97	142	148
	2	147	51	104	3	7	69	53	5	91	85	63	133	6	9	4	105	64	82	83
	89	8	10	146	143	90	14	16	15	17	18	19	20	23	22	24	21	26	28	119
	65	66	99	100	25	27	35	67	68	98	95	71	101	102	103	127	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	72	54	87	88	76	134	111	77	112	78
	113	79	116	80	114	81	128	135	120	136	123	129	106	117	107	130	137	124	108	118
	109	121	110	131	115	125	122	126												
	144	11	12	64	61	94	1	57	145	65	93	60	30	138	139	140	74	42	70	71
	33	35	62	91	56	73	96	2	3	58	63	104	52	99	84	100	4	50	105	119
	59	13	51	53	133	8	7	69	82	83	89	90	43	44	92	132	66	85	86	32
	34	5	141	75	97	10	142	67	68	98	95	146	143	148	6	9	14	147	101	102
	103	127	15	16	17	18	19	20	22	23	21	24	27	26	28	25	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	76	87	88	72	54	111	77	112	78	113
	79	116	134	123	80	114	135	120	136	121	128	81	124	106	122	129	117	107	130	108
	131	109	118	110	137	126	115	125												
	141	92	57	33	91	142	105	93	60	132	52	144	70	64	42	56	59	119	2	11
	12	13	65	145	73	94	71	50	147	96	58	86	32	34	138	139	148	84	85	51
	53	133	69	82	146	89	90	30	99	61	62	63	104	3	4	1	7	35	83	100
	43	44	74	75	97	5	8	10	143	6	9	14	15	16	17	18	140	66	67	68
	98	95	19	20	24	21	23	22	27	26	28	101	102	103	25	29	31	127	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	72	54	76	87	88	134	111	77	135	78
	112	79	113	80	114	81	123	136	115	106	124	107	125	108	120	109	121	116	122	110
	128	117	129	130	137	118	126	131												
	144	11	12	42	94	32	34	13	74	61	70	64	56	92	65	66	99	62	63	67
	58	43	93	60	57	1	100	73	33	35	86	91	145	30	132	59	138	139	140	96
	52	84	85	50	68	98	51	53	104	133	69	82	83	105	141	71	2	3	95	6
	44	119	4	9	142	148	7	89	90	143	8	10	146	101	102	103	127	75	97	5
	14	15	16	17	19	18	20	24	21	23	22	25	28	27	26	29	147	31	36	37
	45	46	38	39	40	41	47	49	55	72	54	88	76	87	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	128	134	123	135	121	136	122	129	106	130	107	114	108	137	124	115	131
	109	48	116	110	125	117	118	126												
	144	59	132	33	70	94	92	30	93	91	58	64	42	60	43	138	139	35	74	140
	2	3	4	65	66	50	44	71	99	11	12	13	105	145	141	75	97	57	51	1
	5	100	142	148	8	10	52	53	133	6	9	56	147	119	61	7	69	82	83	146
	89	90	143	32	34	73	86	96	84	85	14	16	62	63	67	68	15	17	19	18
	20	24	22	104	23	98	95	101	102	103	127	21	25	27	26	28	29	31	36	37
	45	46	47	49	38	39	40	41	48	55	72	54	76	87	77	88	134	111	78	112
	79	113	80	123	135	124	81	116	106	117	136	128	118	107	114	120	115	125	108	129
	130	131	109	121	110	137	122	126												

ตารางที่ ข.91 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ชิ้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2
	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	4	1	1	3	3	3	3	3
	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6
	6	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5
	6	7	8	7	8	7	7	8	8	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8	8
	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	7	8	9	10	9	10
	9	10	9	9	9	10	10	9	10	9	9	10	9	9	10	10	10	10	9	10
	9	10	9	10	9	9	10	9												
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2
	2	2	1	2	2	4	1	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	5	6	6
	6	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	5	5	7	8	7	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	7	8	7
	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	10	9	9	9	10	9	9	10	9
	9	10	9	10	9	9	9	9												
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1
	1	1	2	2	1	2	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	5	4	4	6	6	6	6	5	5	6
	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6
	6	5	7	8	7	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	9	9	10	9	9	10	10	9
	10	9	9	10	10	9	9	10												
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2
	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	3	2	2	2	4	3	3	3	4	4
	3	3	3	4	4	4	4	3	4	6	3	3	5	5	5	5	6	6	5	5
	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	5	7	8	8	7	8	7	7	7	7	8	7	7	7	7	8	8	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	7	10	9	10
	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10	9	9	9	9	10	9	9	10	10	9
	10	9	9	9	10	10	10	9												
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	1	1	1	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3
	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	5	5	4	4	6	6	6	5
	5	6	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	7	6	6
	6	8	7	8	8	7	8	7	7	7	8	8	7	8	7	8	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7	9	10	9
	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	9	9	10	9	9	10	9	10
	9	10	9	9	9	10	10	9												

ตารางที่ ข.91 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 306 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2
	2	1	2	4	1	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3
	3	3	4	4	4	4	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5
	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	8
	7	8	8	7	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7
	9	10	9	10	9	10	10	9	10	10	10	10	10	9	10	9	10	9	10	9
	9	10	9	9	9	10	10	9												
	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1
	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	3	4	4	3	3	3	3	4	3
	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	5	4	4	4	6	6
	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	8	7
	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	8	8	8
	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8	7	8	8	8	7	8	8	9	10	9
	10	9	10	9	10	10	9	10	9	10	9	10	9	10	10	10	9	9	10	9
	10	9	9	10	9	9	10	9												
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
	2	1	2	1	1	1	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	4	3	4	6	3	3	3	5	5	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6
	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	8	7
	7	8	7	7	7	8	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	8	7	10	9
	10	9	9	10	9	10	9	10	9	10	9	9	10	10	10	10	9	9	10	9
	9	9	10	9	10	9	9	10												

3.3 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

3.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.92 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	70	59	52	2	93	11	50	30	42	58	12	60	57	138	92	139	132	61	51	64
	140	3	62	91	53	105	119	63	56	133	141	74	4	75	32	69	94	43	82	83
	144	145	44	33	13	34	73	142	96	148	65	99	86	89	84	71	1	6	90	7
	8	143	9	104	10	146	97	5	14	15	16	35	17	66	67	68	100	147	98	18
	85	95	101	103	19	20	23	22	102	21	24	28	25	26	127	27	29	31	36	37
	45	46	47	38	39	40	48	49	41	55	88	76	111	87	72	77	78	112	134	113
	128	129	130	131	137	120	54	135	79	121	122	123	124	136	114	115	116	117	118	126
	125	80	81	106	107	108	109	110												

ตารางที่ ข.92 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	70	141	57	92	74	30	11	64	93	1	58	56	73	60	132	32	12	61	59	138
	144	71	75	13	84	145	97	62	52	33	65	86	139	42	43	85	66	140	44	96
	104	99	94	34	63	91	50	105	67	51	53	133	69	35	2	68	95	119	98	100
	101	82	89	3	90	142	4	147	5	8	146	102	10	103	127	7	83	6	148	143
	9	14	15	16	17	19	18	20	22	24	23	21	26	25	28	27	29	31	36	37
	38	45	39	40	46	47	48	41	55	54	87	88	72	49	134	111	112	135	136	76
	77	113	114	120	78	123	115	116	121	117	118	122	124	125	126	79	128	129	80	130
	131	137	81	106	107	108	109	110												
	52	1	144	132	57	70	30	145	42	64	58	2	61	43	94	91	56	50	59	93
	105	74	65	60	73	62	3	84	44	75	141	51	5	97	142	71	147	69	63	86
	85	11	6	138	96	53	148	99	12	9	92	119	66	133	139	13	67	140	32	34
	33	35	100	68	82	4	143	146	89	7	98	104	95	90	8	101	102	103	10	83
	127	14	16	15	17	18	19	20	24	23	21	22	27	25	28	26	29	31	36	37
	45	46	38	39	47	49	40	55	48	72	54	88	87	76	134	111	135	112	77	136
	78	79	41	113	123	120	80	116	124	81	117	118	106	121	114	128	122	107	108	126
	115	129	109	130	131	125	137	110												

ตารางที่ ข.93 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2
	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2
	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3
	3	3	4	4	3	6	3	3	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5
	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6
	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	7	8	7	8	7
	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	7	7	7	8	7	7	7	7	8	7
	8	8	8	8	7	8	7	8												
	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2
	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2
	2	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3
	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5
	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	7	8	8	8
	8	7	7	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7
	7	7	8	8	8	8	8	7												
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1
	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	3	3	2	2	4	4	3	4	3	4
	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3
	4	4	3	4	3	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6
	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	8	5	7	7	8	8
	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	7	8	7	8												

3.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.94 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	91	93	141	94	138	139	57	92	140	61	62	63	70	132	64	65	99	100	66	67
	32	71	58	59	74	144	145	52	68	95	98	101	102	103	127	34	105	119	75	97
	142	148	147	33	35	60	50	51	53	133	69	30	82	83	146	143	89	90	11	12
	13	42	43	44	56	73	86	96	84	104	85	2	3	4	1	6	7	8	10	9
	5	14	15	16	17	19	18	20	21	23	22	24	25	27	26	28	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	48	55	72	88	87	111	112	113	116	123	120	134
	76	77	78	79	124	54	114	115	125	121	122	128	129	130	137	131	80	81	135	136
	106	107	108	109	110	117	118	126												
	91	141	138	94	42	132	57	33	35	43	93	52	64	44	74	65	99	100	66	70
	71	58	60	92	1	59	75	97	56	73	96	84	86	85	104	61	62	63	67	68
	98	32	34	11	30	142	139	140	144	145	148	147	12	13	50	51	69	82	146	89
	90	83	143	53	133	95	101	103	102	127	2	3	5	6	7	4	9	8	10	14
	16	15	17	18	19	20	23	21	24	22	25	27	26	28	29	31	36	37	45	46
	47	49	38	39	40	48	55	72	134	135	136	87	76	88	111	54	112	77	78	79
	41	113	114	115	128	123	124	125	129	130	131	137	116	117	118	120	121	122	126	80
	81	106	107	108	109	110	105	119												
	144	94	138	50	132	139	2	56	11	92	33	140	91	61	58	145	74	70	93	62
	63	3	141	142	147	59	4	51	69	148	35	42	43	44	64	71	65	66	99	100
	67	68	98	95	52	53	133	101	102	57	75	97	60	103	127	32	34	73	86	96
	84	85	104	105	119	82	146	89	143	90	83	30	12	13	1	8	10	7	6	9
	5	14	16	15	17	19	18	20	22	24	23	21	26	28	25	27	29	31	36	37
	38	39	40	45	46	47	55	88	111	112	87	72	134	76	77	78	79	48	113	116
	114	115	128	129	130	137	131	123	124	125	120	121	122	117	118	126	41	49	80	81
	106	107	108	109	135	136	110	54												
	32	144	138	56	73	132	11	74	30	96	104	94	145	50	42	61	70	34	64	71
	65	99	100	66	62	63	67	58	86	57	84	85	60	59	12	68	95	98	101	103
	102	127	43	44	75	97	92	51	69	82	89	83	90	141	142	147	146	148	143	52
	53	133	91	105	119	93	13	139	140	33	35	2	3	4	1	6	8	9	10	7
	5	14	16	15	17	19	18	20	24	22	21	23	28	25	27	26	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	55	88	111	112	87	54	76	77	78	79	80	81	72
	134	113	120	116	117	118	128	129	121	122	126	106	48	41	123	124	135	136	107	108
	109	110	114	115	125	130	131	137												

ตารางที่ ข.95 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	2	1	1	4	1	1	1	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3
	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	6
	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5
	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	7	8	8	8	8	7	8	7	7	8	7	8	8
	7	7	7	7	8	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8
	7	7	7	8	7	8	8	7												
	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1
	4	1	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3
	3	3	3	5	5	4	4	4	6	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6
	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5
	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8
	8	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8
	8	8	8	8	7	8	7	8												
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	1	1	2	3	2	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4
	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4
	4	3	4	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6
	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6
	6	6	6	5	5	5	6	5	6	7	8	8	8	8	8	7	8	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7
	7	7	8	7	8	8	7	7												
	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	3	4	3	4
	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3
	3	5	4	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6
	6	5	5	5	7	6	6	6	6	8	7	8	7	8	8	8	8	7	8	8
	8	7	7	7	8	7	7	7	8	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	7
	7	8	7	7	8	7	7	7												

3.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.96 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	91	105	119	64	70	71	144	132	74	30	58	138	93	32	11	12	13	59	75	50
	52	61	62	63	57	34	141	139	140	97	145	42	43	44	2	60	56	73	51	53
	69	133	82	83	89	90	142	147	148	143	3	86	1	146	4	8	10	7	5	6
	9	14	16	15	17	19	18	65	66	94	96	104	67	92	99	68	95	98	33	35
	20	23	24	21	22	26	100	27	101	103	102	127	25	28	29	31	36	37	45	46
	38	47	49	39	84	85	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	116	72	120	81	117	121	118	134	114	135	122	136	115	123	124	125	126	128	106
	129	107	130	131	108	137	109	110												

ตารางที่ ข.96 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	91	105	119	64	70	71	144	2	57	60	56	73	32	34	1	33	35	50	96	104
	92	132	74	59	75	51	61	62	138	93	11	12	13	42	43	44	97	141	94	69
	63	52	139	140	142	145	58	86	84	85	147	148	53	133	82	83	89	90	146	3
	4	8	10	6	9	5	7	14	16	15	17	19	18	20	22	21	24	23	27	28
	143	25	65	66	99	100	26	29	31	36	37	45	46	47	49	38	39	30	67	68
	95	98	101	103	102	127	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	128	81	116	72	120	106	117	121	118	134	114	135	107	115	136	129	108	130	131
	109	122	110	137	123	126	124	125												
	93	42	43	44	61	62	138	57	91	105	119	59	63	139	1	11	12	60	74	94
	75	58	92	64	70	71	144	65	97	145	30	56	73	86	50	96	104	2	51	140
	33	84	132	52	35	13	99	66	100	141	67	142	147	148	53	69	133	82	83	89
	90	146	3	5	6	9	4	8	10	7	14	15	16	17	19	18	20	22	21	24
	23	68	95	98	25	85	28	143	26	27	32	34	29	31	36	37	45	101	103	102
	127	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	128	81	116	123	72	120	134	114	106	129	135	107	117	121	118	108	122	136	115
	124	125	126	109	130	131	110	137												
	91	105	119	60	42	43	44	138	139	140	2	32	34	1	33	35	94	57	52	132
	74	58	56	73	84	86	85	141	96	104	92	144	30	11	12	13	59	75	50	51
	53	69	133	82	83	89	90	142	145	143	3	5	6	146	4	8	10	148	7	9
	14	16	147	61	62	63	93	64	70	71	97	15	17	19	18	20	22	21	24	23
	28	25	27	26	29	31	36	37	45	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	76
	88	77	65	66	99	78	67	111	112	72	113	79	120	134	114	135	136	115	123	80
	116	81	117	106	128	107	124	125	100	54	121	118	108	122	109	126	110	129	130	137
	131	68	95	98	101	103	102	127												
	91	105	119	64	70	71	144	132	74	94	138	42	43	44	61	62	63	59	75	60
	50	52	58	32	57	97	145	141	139	1	140	51	53	69	133	82	83	89	90	142
	147	148	143	2	33	35	30	34	11	12	13	92	3	5	6	146	4	93	7	9
	8	10	14	16	15	17	19	18	20	22	23	24	21	27	28	25	26	29	56	73
	84	96	85	86	31	36	37	45	46	47	49	38	65	66	99	104	67	100	68	95
	98	101	103	102	127	39	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	128	81	72	120	106	129	107	134	114	135	121	123	122	136	130	131	137	124	108
	116	117	115	125	118	109	126	110												
	93	33	70	91	105	119	64	42	43	44	59	57	35	132	74	75	92	11	12	13
	58	138	139	1	140	94	97	56	73	84	86	85	61	62	63	52	71	144	65	66
	99	60	67	32	34	145	141	100	142	147	148	68	95	98	96	104	2	101	103	50
	51	53	69	133	82	83	89	90	146	3	5	6	9	7	4	8	10	14	16	15
	17	19	18	20	22	23	24	21	27	143	25	26	28	102	127	29	31	36	37	38
	39	30	45	46	47	49	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	116	123	72	120	81	114	106	117	121	118	115	124	125	107	122	108	126	109	110
	134	128	129	130	131	135	137	136												

ตารางที่ ข.96 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	93	64	70	71	144	65	66	138	33	57	32	34	132	60	52	145	42	43	44	61
	139	74	94	92	140	91	105	119	50	58	141	99	56	73	30	11	12	13	59	75
	51	53	69	133	82	83	89	90	142	147	1	143	96	104	2	148	3	5	7	146
	4	8	10	6	9	14	16	86	84	85	15	17	19	18	35	97	62	63	67	20
	23	24	21	22	26	27	68	95	98	100	28	25	29	31	36	37	38	45	101	103
	102	39	40	127	46	47	49	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	120	81	116	106	128	107	117	121	118	108	122	109	126	110	129	114	130	115	123
	72	124	125	131	137	134	135	136												
	59	64	70	71	144	65	66	30	56	33	52	94	57	92	11	12	13	58	32	73
	61	62	63	67	86	35	50	96	132	74	91	105	119	60	104	51	53	69	133	145
	75	138	139	140	99	1	97	68	95	98	42	43	44	100	141	84	82	83	89	90
	142	147	148	143	2	101	103	102	127	3	7	4	8	10	6	9	5	14	16	15
	34	17	19	93	85	18	20	22	21	24	23	25	27	26	28	29	31	36	37	146
	45	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113
	80	128	81	114	106	129	107	123	72	120	134	121	135	122	136	115	108	124	130	125
	137	109	131	110	116	117	118	126												
	91	105	119	64	70	71	144	132	74	42	43	44	57	52	92	1	33	145	11	12
	56	73	35	50	51	53	69	133	82	83	89	90	30	58	32	94	61	62	63	84
	86	2	96	104	93	65	66	99	85	141	100	142	147	148	143	138	139	140	60	146
	3	5	7	4	8	10	6	9	14	15	16	59	75	97	34	17	19	18	20	23
	24	21	22	26	25	27	28	67	68	95	98	29	31	36	37	45	46	47	49	101
	103	102	127	38	39	40	48	41	55	87	76	88	77	111	112	78	54	79	113	80
	116	123	72	120	134	121	124	122	135	81	117	13	114	106	128	107	118	108	126	109
	136	115	129	130	125	131	137	110												

ตารางที่ ข.97 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6
	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	5
	6	5	5	6	6	6	6	6	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7	7	7	7	7	8
	7	8	7	7	8	7	8	8												
	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2
	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	3	2	3	2	4
	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4
	3	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5
	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6
	6	6	5	6	5	6	6	5	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	7	7	8	7	7	7	7
	7	8	8	7	7	8	7	7												

ตารางที่ ข.97 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1
	2	1	2	2	2	2	1	2	2	4	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3
	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	4	4	3	6	3	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6
	6	5	6	5	5	6	6	5	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7
	7	7	7	8	7	7	8	7												
	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1
	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4	3
	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3
	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5
	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	6
	6	6	5	5	5	6	6	6	7	6	7	8	8	8	7	7	8	7	7	7
	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	7	8	7												
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1
	1	1	1	1	1	2	2	3	2	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4
	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4
	3	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6
	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5
	5	6	5	6	5	6	6	6	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	7	8	8
	8	8	8	8	8	7	8	7												
	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2
	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	3	2	4
	4	4	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	4	3
	3	5	4	5	4	6	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5
	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6
	6	6	5	5	5	7	6	6	8	8	8	7	7	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	7
	8	7	7	7	7	8	7	8												
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2
	2	1	2	1	1	2	1	2	1	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3
	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	6
	3	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6	6	5	6	5
	6	6	6	5	5	5	7	6	6	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7
	8	8	7	7	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7
	8	7	8	7	7	8	7	8												

ตารางที่ ข.97 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2
	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	3	2	3	4
	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4
	4	3	4	5	4	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5
	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	7
	7	8	7	8	7	7	8	7												
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1
	1	2	2	1	1	3	2	3	2	2	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	6
	3	3	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6
	6	6	6	6	6	6	5	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7	8
	7	8	8	7	8	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8
	7	8	7	7	8	7	7	8												

3.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.98 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	58	74	59	75	2	56	73	84	86	85	96	50	138	139	94	60	42	43	44	61
	140	93	57	32	97	1	104	92	64	70	132	71	144	65	99	100	66	51	11	12
	34	145	91	105	52	13	119	141	3	4	8	6	9	142	147	148	33	35	7	10
	5	14	15	16	30	17	18	19	20	21	24	69	82	83	89	90	146	62	63	67
	143	68	98	95	101	103	102	127	23	22	25	28	26	27	29	31	36	37	38	45
	46	47	53	133	49	39	40	41	48	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134
	130	131	124	135	115	125	137	136												
	58	91	64	70	144	132	60	11	12	13	74	138	139	50	140	93	56	73	84	86
	85	96	59	75	2	105	145	65	99	100	66	94	97	1	104	119	52	92	30	42
	33	35	141	3	4	6	9	7	8	10	142	147	148	51	53	133	69	82	83	89
	90	146	5	71	57	32	34	14	16	15	17	43	44	61	62	63	67	68	98	95
	101	103	102	127	18	19	20	21	24	22	23	28	27	25	26	143	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	55	54	48	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134
	130	131	137	135	115	136	124	125												
	58	52	70	64	71	2	144	30	42	43	44	61	62	63	50	138	139	93	140	74
	32	34	59	75	97	94	145	132	56	73	84	86	85	96	1	104	91	105	57	92
	65	99	119	60	51	53	133	69	82	83	89	90	3	4	8	10	5	7	141	100
	66	67	68	98	95	101	103	102	127	11	12	13	142	147	148	146	6	9	14	16
	33	35	15	17	18	143	19	20	21	22	24	23	25	28	26	27	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	48	49	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134
	130	131	135	115	136	124	125	137												

ตารางที่ ข.98 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	58	60	56	73	84	86	85	96	94	104	42	43	44	61	62	141	63	57	32	34
	52	70	64	71	144	65	99	100	66	59	33	35	92	145	138	139	50	140	91	105
	93	132	119	142	147	148	51	53	133	69	82	83	89	90	146	2	143	67	68	98
	3	4	1	6	9	5	7	8	10	14	16	15	17	18	19	20	21	24	22	23
	28	11	12	13	74	30	95	101	103	102	127	27	25	75	97	26	29	31	36	37
	38	45	39	40	41	46	47	48	49	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	129	72	123	134	130	131	137	135	114	118	108
	122	109	126	110	115	136	124	125												
	58	52	64	70	144	74	32	93	59	75	33	35	11	12	13	61	62	63	57	56
	73	84	86	85	96	2	104	65	99	100	66	50	138	139	132	140	91	3	4	34
	105	141	119	92	145	1	60	42	43	44	8	10	5	7	142	147	148	51	53	133
	69	82	83	89	90	146	6	9	143	97	94	30	14	15	16	17	18	19	20	21
	24	23	22	26	25	28	67	68	98	95	101	103	102	127	27	29	31	36	37	38
	45	39	40	41	46	47	48	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113	80	120
	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134	130	131
	124	135	115	49	137	136	125	71												
	58	52	70	64	71	74	32	34	11	12	13	94	93	91	105	141	119	142	61	62
	63	57	42	43	44	65	99	100	66	59	75	97	144	30	138	139	33	35	92	145
	2	60	148	50	140	147	51	53	133	69	82	83	89	90	146	3	4	143	67	68
	98	95	101	103	102	127	56	73	84	86	85	96	1	7	8	10	5	6	9	14
	15	16	17	18	19	20	23	21	22	24	104	28	26	27	25	29	31	36	37	38
	45	46	47	49	39	40	41	48	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113	80
	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134	124
	132	115	125	130	131	135	137	136												
	30	94	93	92	144	11	12	13	32	34	56	57	145	58	52	60	70	64	71	74
	138	139	50	140	141	65	99	61	62	63	33	35	91	105	1	119	142	147	148	51
	53	2	100	66	67	68	98	95	101	103	102	127	3	4	6	9	5	7	8	10
	14	73	84	86	85	96	15	16	17	18	19	20	59	75	97	42	43	44	132	133
	69	82	83	89	90	146	21	143	22	24	23	27	25	28	104	26	29	31	36	37
	38	45	39	40	41	46	47	48	49	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134
	130	131	135	115	136	124	125	137												
	58	52	60	11	12	13	74	138	139	70	144	64	71	57	2	33	35	92	65	99
	100	66	42	43	32	34	44	132	1	56	94	93	91	105	145	73	84	86	85	96
	59	75	97	141	104	142	147	148	50	140	30	51	53	133	69	82	83	89	90	146
	3	4	8	10	5	143	7	6	9	14	16	15	17	18	19	20	23	21	22	24
	119	61	62	63	67	68	26	27	25	28	29	31	36	37	38	45	46	47	39	40
	41	48	49	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113	80	120	81	116	106	121
	107	128	108	122	109	72	114	134	123	135	115	110	124	136	125	98	95	129	117	130
	131	101	103	102	127	137	118	126												

ตารางที่ ข.98 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	58	52	70	64	71	59	30	11	12	13	65	99	100	1	91	105	93	92	119	60
	57	50	138	139	94	32	34	33	35	42	43	44	61	62	144	132	56	73	84	86
	85	96	2	104	141	145	74	66	51	53	133	69	82	83	89	90	3	4	142	147
	148	8	10	5	7	143	140	75	97	6	9	14	15	16	17	18	19	20	21	22
	24	23	27	25	28	26	29	31	146	63	67	68	98	95	101	103	102	127	36	37
	38	45	39	40	41	46	47	48	49	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	80	120	81	116	106	121	107	128	117	114	118	108	122	109	126	110	129	72	123	134
	130	131	135	115	136	137	124	125												
	42	58	60	56	73	84	86	1	144	94	93	85	96	132	2	141	145	91	52	138
	139	50	43	30	11	12	13	142	147	51	53	133	69	82	83	89	90	143	44	61
	62	57	32	34	63	70	140	74	33	35	92	146	64	71	59	75	97	3	4	8
	10	5	7	104	65	6	9	14	99	100	66	67	68	98	15	16	17	18	19	105
	148	20	23	95	101	119	103	102	127	22	24	21	25	28	26	27	29	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	48	55	54	87	88	76	77	111	78	112	79	113
	72	114	80	120	81	116	106	121	107	128	117	129	134	123	135	115	108	122	109	118
	126	110	124	136	125	130	131	137												

ตารางที่ ข.99 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2
	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2
	1	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3
	4	4	3	4	4	3	3	4	3	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5
	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5
	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	7	8	7
	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	7	7	8	7	7	7	8												
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2
	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	4	4	3
	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4
	4	4	3	4	3	3	3	3	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6
	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	6	7	8	7
	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	7	7	8	7	8	7	7												
	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2
	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	3	4
	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4
	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	6	5	6	6	5	5	6	6
	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	5	6	7	6	6	6	8	7	8	7	8	7
	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8
	7	7	8	7	8	7	7	7												

ตารางที่ ข.99 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	4	1	1	1	3	3	3
	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5
	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6
	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	7	6	6	6	8	7	8	7	8	7
	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	8	7	7												
	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	3
	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3
	4	4	4	4	4	4	3	3	5	4	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6
	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6
	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	7	8	7	8	7
	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7
	7	8	7	7	7	8	7	8												
	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1
	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	3	2	4	4	4	4	4	4
	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4
	4	4	4	3	4	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5
	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	6
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	7	6	8	7	8	7	7
	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	7	8	7	8												
	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1
	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	3	4	3	3	4	3	4	3
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3
	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5
	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6
	6	5	6	6	6	5	5	5	7	6	7	6	8	8	8	8	8	7	8	7
	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8
	7	7	8	7	8	7	7	7												
	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	4	3	3	3	3	3
	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	3	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6
	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6
	6	5	5	6	5	6	6	6	8	7	7	7	8	7	8	7	8	8	8	7
	8	7	8	7	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	7
	7	8	7	8	7	7	8	8												

ตารางที่ ข.99 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1
	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	3	2	2	2	2	2
	2	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3
	4	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5
	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6
	6	5	6	6	6	5	5	5	7	6	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7
	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8
	7	7	8	7	8	7	7	7												
	1	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	1	2	2	1	2	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4
	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	4	3	5	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5
	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6
	6	5	5	5	7	6	6	6	8	8	7	8	8	8	8	7	7	7	8	7
	8	7	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8
	8	7	7	8	7	7	7	7												

3.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.100 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	50	70	61	60	59	91	52	32	51	69	74	64	141	105	42	43	44	75	82	89
	30	144	138	90	58	97	142	146	2	65	94	1	92	99	100	66	53	133	3	6
	4	8	10	145	148	139	140	56	73	86	34	71	96	104	83	119	147	132	33	35
	57	93	7	62	63	67	68	95	98	101	102	103	127	84	85	143	11	12	13	9
	5	14	15	16	17	18	19	20	21	22	24	23	26	25	27	28	29	31	36	37
	38	39	40	45	46	47	49	55	87	88	54	72	134	135	136	76	77	78	79	111
	112	48	80	81	106	107	108	109	110	113	123	116	120	121	122	128	129	130	137	114
	131	124	115	125	117	118	126	41												
	57	138	60	42	144	43	74	61	62	63	132	52	145	56	73	94	58	33	30	92
	35	96	104	93	32	34	44	139	140	59	75	97	141	142	147	148	11	12	13	64
	50	51	53	133	69	82	83	143	146	89	90	70	71	91	105	119	65	99	100	66
	67	68	95	98	101	103	1	102	127	86	2	3	4	8	10	5	6	9	7	14
	15	16	17	19	18	20	24	23	22	21	26	25	28	27	29	31	36	37	45	46
	47	49	38	39	40	41	55	76	54	77	78	79	88	111	112	87	48	72	134	135
	136	113	116	123	124	117	118	128	129	130	131	137	80	81	106	107	108	109	110	114
	115	125	120	121	122	126	84	85												
	42	70	58	64	65	33	132	94	66	99	100	50	57	74	1	144	56	59	75	141
	97	30	11	12	13	71	32	34	91	105	119	43	44	60	73	86	96	84	85	35
	142	61	62	63	67	68	95	92	138	98	101	103	102	127	104	52	51	53	69	133
	82	146	143	89	90	83	145	147	148	2	3	4	6	7	9	8	10	139	140	5
	14	16	15	17	19	18	20	21	24	22	23	27	25	28	26	29	31	36	37	38
	45	39	40	41	46	47	48	55	88	72	134	111	49	87	76	77	78	79	112	54
	113	114	120	121	123	124	116	128	122	129	130	137	131	115	125	117	118	126	135	136
	80	81	106	107	108	109	110	93												

ตารางที่ ข.100 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	92	74	94	50	61	62	63	52	42	43	44	2	59	75	70	51	91	3	4
	69	97	32	34	105	119	93	5	53	133	82	83	89	90	64	65	66	67	68	95
	98	99	100	101	103	102	127	144	145	141	142	143	146	71	148	57	60	11	12	13
	33	35	56	73	96	104	58	86	84	85	147	132	8	10	138	139	140	30	6	9
	7	14	15	16	17	19	18	20	23	21	22	24	27	25	26	28	29	31	36	37
	38	39	45	46	47	49	40	55	88	72	48	76	77	78	79	111	112	113	116	123
	128	129	130	131	137	120	80	81	121	122	134	135	114	106	107	108	109	110	87	136
	124	54	41	117	118	126	115	125												
	56	64	144	30	52	1	70	32	92	145	132	59	74	75	97	33	35	2	73	96
	60	138	139	42	43	44	71	65	66	99	100	141	142	58	84	85	86	3	7	93
	140	61	147	91	105	119	104	94	5	4	8	10	50	51	69	53	82	83	143	146
	133	89	90	57	148	6	9	14	15	16	17	19	18	20	24	23	21	22	28	26
	27	34	11	12	13	25	29	31	36	37	38	39	40	41	45	46	47	48	55	87
	54	72	134	135	136	76	77	78	79	88	111	112	80	81	106	107	108	109	110	62
	63	67	68	95	98	101	102	103	127	113	120	114	115	128	129	130	131	137	116	117
	118	123	124	125	121	122	126	49												
	91	58	105	56	94	1	33	35	144	138	32	73	84	92	11	145	57	119	96	141
	142	147	148	104	70	59	74	75	97	2	52	34	85	64	65	99	3	5	6	9
	4	8	10	30	93	86	66	60	50	51	53	133	69	82	83	146	143	89	90	100
	7	14	15	16	17	19	18	20	22	24	21	23	27	25	28	26	29	42	43	44
	12	13	31	36	37	38	45	39	40	46	47	49	41	48	55	88	76	87	77	78
	79	54	72	134	111	112	113	120	123	124	128	114	129	116	117	118	115	125	130	131
	137	80	81	106	107	108	109	110	121	122	126	132	135	136	71	61	62	63	67	68
	95	98	101	103	102	127	139	140												
	11	138	57	56	1	132	59	58	73	86	96	104	33	93	42	94	52	35	50	60
	91	43	44	141	51	53	133	69	82	89	83	90	144	105	119	2	3	7	6	145
	4	8	12	74	84	142	148	143	146	147	139	32	70	92	85	34	13	5	61	62
	63	9	30	75	97	140	64	71	65	99	66	67	100	68	98	95	101	103	102	127
	10	14	15	16	17	18	19	20	23	24	22	21	28	27	26	25	29	31	36	37
	38	39	45	40	41	46	47	48	55	87	54	76	77	78	88	111	112	72	134	135
	136	49	113	120	123	121	122	124	116	117	114	115	125	118	126	128	129	130	131	137
	79	80	81	106	107	108	109	110												
	30	144	1	32	34	70	56	73	42	138	94	58	91	57	84	139	140	60	96	104
	85	59	141	142	105	52	2	3	5	4	8	6	7	10	9	93	43	44	119	50
	51	53	69	133	92	86	145	147	148	61	62	63	82	146	89	90	143	83	33	35
	74	75	97	132	64	65	66	67	68	98	71	99	100	95	101	103	102	127	11	12
	13	14	15	16	17	18	19	20	21	24	23	22	25	28	26	27	29	31	36	37
	45	46	47	38	39	40	55	72	76	77	78	87	79	80	48	41	88	111	112	113
	116	114	117	118	128	129	130	131	115	134	135	136	120	121	122	126	81	106	107	108
	109	54	49	123	124	125	137	110												

ตารางที่ ข.101 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2
	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	3	2	3	3	4	4
	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	5	6	6	6	6
	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	5	5	7	6
	7	6	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	7	7	8
	7	8	8	8	8	8	7	8												
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	4	3	4	4	4	3	4
	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4
	4	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5
	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5
	5	7	6	6	6	6	6	6	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8	7
	8	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	7
	7	8	7	8	7	8	7	7												
	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	1
	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	3	2	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3
	4	4	3	4	4	4	4	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6
	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6
	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	8	7	8	7	7
	7	8	7	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	8	7	7
	8	8	8	8	8	8	7	7												
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	2	1	2	3	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3
	6	6	3	3	3	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5
	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6
	6	6	5	5	5	7	6	6	6	8	8	8	8	7	8	7	7	7	8	7
	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	7	8	7	7	7	8	8												
	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	3	4	3	3	3	3	4	3	3
	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	5	4	4	5	6
	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6
	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5
	5	6	6	6	7	6	6	6	8	7	7	7	8	8	8	8	8	8	7	8
	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	8	8
	8	8	8	7	8	7	8	7												

ตารางที่ ข.101 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	2	3	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3
	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	6
	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6
	5	5	6	6	6	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	8	7	7
	7	8	8	8	8	7	8	7	8	8	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7
	7	7	7	7	8	7	8	8												
	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2
	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	3	2	2	2	2	4	4	4
	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4
	3	6	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5
	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	6	6	5	6	6	5	5	5	6	7	7	6	8	8	8	7	7	8	8	8
	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	7	7
	8	7	8	7	8	7	8	7												
	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1
	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	3	2	4	4	3	3	3	3	4	4
	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4
	3	3	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5
	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6
	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	8	7	8	7	8	8	7	7	7	7
	8	7	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	7	7	8	7	7	7	7
	8	7	7	8	8	8	7	8												

3.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.102 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	59	52	138	57	58	93	60	139	140	30	74	75	97	50	144	64	11	12	13	132
	56	73	86	141	96	104	142	84	85	51	69	53	82	89	133	92	90	70	146	65
	66	143	61	62	2	71	33	35	91	105	119	32	34	1	99	100	94	42	43	44
	3	5	6	9	4	8	10	7	145	63	148	67	68	98	95	101	103	102	127	14
	16	15	17	19	18	20	22	21	23	24	27	25	26	28	147	29	31	36	37	45
	46	38	47	49	39	40	48	41	83	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79
	114	80	128	81	129	106	130	107	131	108	137	109	116	72	120	115	117	110	118	134
	123	135	121	136	122	124	125	126												

ตารางที่ ข.102 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	52	93	70	33	35	91	132	56	73	144	138	59	74	75	30	92	11	58	94	97
	64	71	61	62	63	84	85	1	96	104	32	34	42	43	65	66	99	100	145	141
	44	2	50	51	69	53	82	89	90	83	142	146	148	3	7	5	6	9	67	68
	98	95	143	147	60	57	101	103	102	127	86	4	8	10	12	13	14	16	15	17
	18	19	20	22	24	21	23	28	25	26	105	119	139	140	133	27	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79
	114	80	128	81	116	72	120	106	129	107	130	108	137	109	117	110	131	134	123	115
	118	135	121	136	122	124	125	126												
	52	70	92	30	144	138	132	11	12	13	57	33	35	91	42	43	44	139	93	32
	34	61	62	63	1	140	2	94	105	119	58	56	73	86	145	84	85	141	96	104
	50	51	69	53	82	89	90	83	64	71	60	65	66	99	100	142	146	74	147	148
	133	67	68	98	95	101	3	7	102	103	127	4	8	6	9	5	143	59	75	97
	10	14	16	15	17	18	19	20	21	23	24	22	25	28	27	26	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79
	116	72	120	134	117	135	121	136	122	118	126	123	80	128	81	114	106	129	107	130
	108	137	109	131	110	115	124	125												
	56	73	52	144	1	70	64	71	91	105	119	138	139	11	12	13	141	145	32	34
	42	43	44	65	66	142	147	148	93	33	140	58	30	99	100	50	51	69	53	82
	89	90	83	61	133	146	132	35	59	74	75	97	57	92	60	86	84	96	104	62
	63	85	94	67	143	2	68	98	3	5	6	9	4	8	10	7	14	16	15	17
	18	19	20	22	21	23	24	27	28	25	26	29	31	36	37	45	46	38	47	49
	39	40	48	41	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79	114	72	120	134	123
	80	128	81	129	135	115	106	121	136	122	107	130	108	124	125	109	137	110	131	95
	101	103	102	127	116	117	118	126												
	52	70	33	58	93	35	144	64	71	2	32	34	61	65	66	59	74	75	97	50
	51	69	53	82	83	89	90	11	12	13	42	43	44	1	60	99	100	92	145	141
	62	63	67	68	98	56	133	30	138	132	94	57	73	86	84	96	104	142	147	148
	143	3	7	5	91	139	105	119	140	4	146	95	101	102	8	6	9	10	14	16
	103	127	15	17	18	19	85	20	22	24	23	21	28	27	26	25	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	48	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79	116
	72	123	80	114	81	120	115	106	124	125	134	117	135	121	107	118	108	122	109	126
	110	136	41	128	129	130	137	131												
	70	64	71	61	57	58	60	33	35	32	34	42	43	138	52	44	59	74	75	91
	132	105	50	51	69	53	82	89	133	56	73	86	139	140	144	92	30	83	62	63
	96	84	85	94	145	65	66	99	100	141	67	142	143	93	68	98	95	101	1	103
	102	2	119	127	3	5	6	7	146	9	90	4	147	148	11	12	13	104	97	8
	10	14	16	15	17	19	18	20	23	24	22	21	28	27	25	26	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	48	55	41	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79
	128	129	123	80	114	72	120	134	116	130	137	131	117	135	118	136	124	81	121	106
	122	107	115	108	125	109	126	110												

ตารางที่ ข.102 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	52	60	138	59	70	64	71	61	62	63	58	94	91	105	119	2	139	140	74	132
	32	34	33	35	50	51	69	53	11	12	13	57	92	93	65	66	99	100	144	67
	68	95	98	1	75	97	141	145	56	133	82	89	90	83	142	147	148	143	3	5
	6	7	9	146	42	43	44	73	86	84	85	96	104	101	103	102	127	30	4	8
	10	14	16	15	17	18	19	20	22	23	24	21	27	25	26	28	29	31	36	37
	45	38	46	47	49	39	40	48	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79	116
	72	120	80	128	81	123	106	129	107	117	134	114	115	118	135	121	136	122	124	125
	126	41	130	108	131	109	137	110												
	74	2	70	92	57	52	30	144	138	139	60	11	12	13	58	56	73	86	50	51
	69	53	82	89	93	96	84	33	35	32	34	42	43	59	94	91	105	119	141	104
	145	3	4	44	64	71	132	1	133	85	6	83	142	147	148	146	65	66	99	100
	61	62	90	9	8	10	140	5	143	75	97	7	14	16	15	17	19	18	20	22
	24	21	23	27	26	28	63	67	68	98	95	101	103	102	127	25	29	31	36	37
	45	46	38	47	49	39	40	48	41	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79
	120	80	128	81	114	106	129	107	130	108	131	109	137	110	115	72	123	124	125	134
	116	117	135	121	136	122	118	126												
	52	57	59	70	64	138	132	33	74	75	97	141	139	93	35	142	56	32	34	61
	62	63	140	58	11	12	13	42	43	44	1	94	91	60	30	105	119	2	144	71
	50	73	84	85	96	104	92	145	3	5	6	9	7	147	148	4	8	10	65	66
	99	100	67	68	14	16	15	17	19	98	95	101	102	103	127	51	69	53	82	89
	90	83	146	143	18	20	22	24	21	23	27	26	28	133	25	86	29	31	36	37
	38	45	46	39	40	47	49	41	55	87	54	76	88	111	77	112	78	113	79	116
	72	123	80	128	81	120	134	114	106	129	107	115	130	108	137	109	121	131	135	117
	136	122	118	110	124	125	126	48												

ตารางที่ ข.103 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2
	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	4	4	1
	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3
	4	4	4	4	4	3	4	3	6	3	6	3	3	3	5	5	5	5	5	5
	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5
	5	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	5	6	6	6	6	7	8	7	8
	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	7	8	7	8	8	8	8												
	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	4	3
	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	5	6	5	6	6	6	6	5	5
	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	7	6	6	6	8	7	8	7	8
	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7
	7	8	7	8	7	7	7	8												

ตารางที่ ข.103 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	4	1	1	3	3	3
	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4
	3	3	3	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6
	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	7	7	6	8	8	8	7	8	7	8
	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	7	8	8	8												
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4
	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4
	4	4	5	4	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5
	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5
	6	6	6	6	6	5	7	6	6	6	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8
	7	8	7	8	7	7	7	8												
	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	4	3
	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4
	3	4	4	4	3	4	6	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6
	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	7	6	8	8	7	7	8	7	8	7
	8	7	8	7	8	8	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8
	7	8	8	7	7	7	7	7												
	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1
	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	3	2	2	2	2	2
	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	4
	3	4	3	4	3	6	3	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	7	7	6	8	8	8	7	8	7	8
	7	7	7	8	8	8	7	8	7	7	7	7	8	8	7	8	7	7	7	8
	7	8	8	7	8	7	8	7												
	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2
	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	3	3	2
	2	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4
	4	4	3	6	3	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6
	5	6	5	5	7	6	6	6	6	8	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7
	7	8	7	8	7	8	7	7												

ตารางที่ ข.103 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1
	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	3	4	3	4
	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	6
	3	3	3	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5
	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6	6	6	6
	5	5	6	5	7	6	6	6	6	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8
	7	8	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8
	7	8	7	8	7	8	8	8												
	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1
	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	4	1	3	4
	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3
	3	6	3	3	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	6	5	5	6	6	5	7	6	6	8	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	7	7	8	8	7	7	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8	8
	7	8	8	8	7	7	8	7												

3.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.104 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

ลำดับขั้นงาน	132	70	60	57	94	61	62	63	30	74	42	43	44	64	71	141	65	66	99	100
	59	75	50	92	97	2	3	4	142	56	73	96	104	11	12	13	1	5	6	9
	7	8	33	35	93	91	105	144	119	138	139	140	145	67	68	98	95	101	103	102
	127	58	86	84	85	148	51	69	52	53	82	83	89	90	146	32	34	143	133	10
	14	16	15	17	19	18	20	21	24	23	22	25	27	26	28	29	147	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	136	114	107	121	108	122	109	126	110	123	54
	124	115	128	125	129	130	137	131												
	132	91	105	144	119	56	73	59	70	64	71	92	58	86	84	32	74	57	94	96
	104	141	65	66	99	142	100	50	60	138	139	52	30	93	42	145	61	62	63	67
	68	51	98	95	101	103	102	127	2	3	4	69	53	82	83	89	90	146	133	1
	5	7	148	33	35	34	85	147	8	10	6	9	14	16	15	17	19	18	20	21
	24	23	11	12	140	143	75	22	27	26	43	44	97	25	28	29	13	31	36	37
	38	45	46	47	49	39	40	41	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	136	114	107	121	108	122	109	126	110	115	128
	54	123	129	130	137	124	125	131												

ตารางที่ ข.104 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	132	91	105	144	119	138	139	140	33	35	56	73	11	12	13	94	58	70	32	92
	57	42	43	44	64	71	96	104	93	60	65	66	99	141	142	145	2	3	148	59
	84	30	52	74	34	85	1	5	6	9	7	4	100	50	86	51	69	53	82	83
	89	90	146	133	75	8	10	147	97	143	61	62	63	67	68	98	95	101	103	102
	127	14	16	15	17	19	18	20	24	21	22	23	26	25	27	28	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	136	114	107	121	108	122	109	126	54	115	128
	110	123	124	125	129	130	137	131												
	132	91	105	144	119	56	73	70	64	71	59	74	11	12	13	33	35	93	42	43
	44	96	104	57	32	34	65	66	99	92	100	145	94	52	60	138	139	140	30	58
	86	84	85	141	50	2	3	4	142	147	148	51	69	53	82	83	89	90	146	133
	143	61	62	63	67	68	98	95	101	103	102	127	75	1	5	8	97	6	9	7
	10	14	16	15	17	19	18	20	23	21	22	24	25	28	27	26	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	136	114	107	121	108	122	109	126	110	123	54
	124	115	128	125	129	130	137	131												
	132	91	105	144	119	61	62	63	138	139	42	43	1	44	2	3	6	9	32	34
	52	70	64	71	92	4	145	50	7	58	56	73	86	84	85	141	140	142	147	148
	51	69	53	82	83	89	90	146	74	96	104	59	75	60	11	12	13	94	8	10
	65	66	99	30	93	97	33	35	67	68	98	95	100	101	103	102	127	5	14	16
	15	17	19	133	143	57	18	20	24	21	22	23	26	25	28	27	29	31	36	37
	38	39	45	40	41	46	47	49	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	128	54	123	136	114	107	121	108	122	109	126
	110	115	129	130	137	124	125	131												
	132	91	105	144	119	61	62	63	57	32	58	138	139	140	33	34	30	52	93	60
	11	12	70	64	71	50	59	51	69	53	82	83	89	90	74	75	42	43	44	97
	141	13	65	66	99	145	67	133	1	68	98	95	56	73	86	84	85	142	147	148
	96	104	100	146	2	35	143	101	103	102	127	3	6	9	7	4	92	8	10	5
	14	16	15	17	19	18	20	24	21	94	22	23	26	25	28	27	29	31	36	37
	38	39	40	41	45	46	47	49	48	55	88	76	87	72	134	135	77	111	78	112
	79	113	80	116	81	117	106	120	118	54	123	136	114	107	121	108	122	109	126	110
	115	128	129	130	137	124	125	131												

ตารางที่ ข.105 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408

สถานีงาน	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2
	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	2	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	3	3	4	3	4	3	5	4	4	4	4	6	5	5	5	5	6
	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	7
	8	7	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7
	8	8	7	8	7	7	7	7												

ตารางที่ ข.105 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 148 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 408 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2
	2	1	2	2	2	4	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4
	4	3	4	4	4	3	3	3	4	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6
	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	6	6
	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7	7
	7	8	7	7	7	8	8	7												
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2
	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	3	4	4	3	3	4	3
	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4
	4	4	4	3	3	6	5	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7	7	8	7
	8	8	7	8	7	7	7	7												
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1
	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	4	1	1	1	3	3	3	4	3
	3	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3
	3	4	4	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5
	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	8	8	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7	7
	8	8	7	8	7	7	7	7												
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1
	1	2	2	2	1	2	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	3	4
	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	6
	3	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	6	5	6	6	5	5	7	6	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7
	8	7	7	7	7	8	8	7												
	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	4
	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4
	4	3	4	6	3	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5
	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	6	5	5	5	7	6	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	8	7	7	7	8	7	8	7	8
	7	7	7	7	7	8	8	7												

4. การค้นหาคำตอบของปัญหา 205 ขั้นงาน

4.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

4.1.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.106 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 206 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	25	2	1	21	19	20	22	6	3	201	4	5	7	23	34	8	13	9	14	10
	24	28	26	29	30	32	11	15	27	33	31	35	16	17	12	18	36	112	72	69
	62	111	83	40	70	75	37	63	41	42	43	54	55	56	71	73	59	74	110	61
	44	60	38	64	57	76	78	68	39	77	79	45	58	53	48	82	51	46	65	47
	52	66	49	50	67	80	81	84	85	88	86	90	87	89	91	92	97	96	98	93
	99	95	94	100	101	103	104	131	134	105	102	132	109	107	106	130	108	133	113	116
	161	162	121	203	171	124	122	174	205	119	125	204	117	169	163	123	118	114	115	120
	126	129	127	128	135	141	142	153	150	158	152	138	151	136	140	145	143	154	139	147
	137	144	159	146	148	149	155	160	164	184	165	170	179	166	172	156	157	167	178	180
	181	182	168	183	173	175	176	177	188	195	194	187	186	185	189	193	190	196	191	192
	197	198	199	202	200															
	6	19	2	20	25	3	1	201	4	5	13	21	14	15	7	22	16	23	17	8
	34	24	9	28	29	27	33	10	11	12	26	18	30	31	32	35	36	75	72	41
	69	70	83	40	112	42	37	62	71	38	111	39	54	73	55	56	43	74	76	110
	79	63	59	77	78	60	61	64	65	68	82	66	44	67	57	80	45	51	81	46
	52	48	49	53	50	84	47	85	86	88	89	87	90	58	91	92	96	99	95	94
	98	97	93	100	103	101	131	102	134	132	130	109	133	105	104	106	107	108	113	124
	125	161	174	122	162	119	120	114	115	123	169	171	163	117	116	121	205	203	204	118
	126	129	128	127	135	137	138	139	148	136	147	153	151	149	145	154	155	140	158	152
	146	159	142	150	144	141	143	160	164	178	179	156	184	180	183	157	165	166	170	181
	182	172	173	167	168	175	176	177	185	194	188	186	187	195	196	189	193	197	190	198
	191	199	202	200	192															
	20	21	1	22	201	23	2	6	3	19	24	25	4	26	27	5	7	34	28	13
	14	29	33	15	16	17	18	30	8	31	32	35	9	10	11	12	36	41	37	42
	110	111	112	83	40	69	43	62	70	75	63	64	38	44	72	68	65	66	39	71
	73	74	54	55	59	60	61	56	76	67	45	57	46	48	77	47	51	52	53	49
	82	79	78	80	58	81	84	85	90	86	88	87	91	50	89	92	94	96	99	98
	93	97	100	95	130	134	101	102	105	107	103	131	132	104	133	106	108	109	113	162
	205	122	163	171	116	161	121	119	123	118	169	174	115	117	120	204	124	125	126	203
	127	114	129	128	135	158	137	142	152	150	159	145	147	148	136	139	141	138	140	144
	143	146	151	149	153	160	178	154	170	172	173	175	164	155	184	156	179	165	176	180
	183	181	182	166	157	167	168	177	194	187	188	185	195	186	196	197	202	198	199	189
	190	193	191	192	200															

ตารางที่ ข.106 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 206 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	201	21	19	25	2	4	6	1	20	3	5	13	22	7	14	23	15	8	16	17
	18	34	24	27	26	28	9	10	29	33	11	12	30	32	31	35	36	42	111	37
	112	83	72	69	62	63	41	70	71	75	38	64	40	68	73	110	54	39	55	43
	74	61	59	44	65	60	45	48	53	66	49	50	56	67	51	76	78	79	57	58
	46	52	47	77	80	82	81	84	85	90	86	91	88	89	87	92	99	93	94	96
	97	95	98	100	134	105	131	107	130	109	103	104	132	101	133	102	106	108	113	203
	123	122	162	205	204	163	116	174	169	115	124	121	119	171	125	118	114	120	161	117
	126	127	128	129	135	137	149	139	148	140	142	136	147	153	138	151	150	141	154	144
	143	158	152	155	156	159	157	145	146	160	184	170	178	179	172	180	164	183	181	165
	182	166	167	168	173	175	176	177	187	185	188	194	195	186	196	197	198	199	202	200
	189	191	190	192	193															
	201	20	1	2	4	25	21	22	19	3	5	23	6	7	34	13	24	27	8	28
	9	26	14	15	10	11	12	29	16	30	33	32	17	18	31	35	36	42	41	62
	63	69	75	70	71	40	54	55	61	112	72	73	64	43	111	59	68	74	110	65
	83	66	56	67	76	57	79	77	78	80	60	44	58	37	81	38	84	39	45	53
	51	48	52	49	50	82	85	88	46	90	47	91	89	86	87	92	96	93	97	98
	95	94	99	100	130	101	134	109	103	102	131	104	105	107	132	133	106	108	113	171
	117	119	162	120	122	116	204	121	203	124	161	174	115	123	169	114	125	118	205	126
	127	163	129	128	135	137	151	140	152	153	158	139	149	159	154	136	138	145	142	144
	150	146	148	147	141	155	156	157	143	160	179	178	184	180	181	182	164	165	166	183
	167	168	170	172	173	175	176	177	195	196	188	186	187	194	185	197	198	199	189	193
	200	190	202	191	192															
	25	21	6	19	1	201	2	20	4	3	5	13	14	22	7	15	23	16	24	17
	18	34	28	8	27	9	29	30	33	10	31	26	32	35	11	12	36	37	83	41
	38	40	112	62	75	39	42	111	72	54	69	110	63	70	71	73	43	74	64	76
	44	55	79	77	61	45	46	53	56	68	65	66	78	47	48	49	57	82	58	59
	67	80	51	60	52	50	81	84	85	88	90	89	91	86	87	92	97	98	94	93
	95	96	99	100	101	103	105	134	131	102	130	132	106	104	109	133	107	108	113	161
	203	122	121	163	119	171	162	117	116	120	204	205	124	118	114	174	115	123	169	125
	126	128	129	127	135	137	152	142	150	158	148	141	151	144	159	149	153	145	136	146
	138	147	139	154	155	140	156	143	160	157	179	178	184	170	172	173	180	164	175	181
	176	165	183	166	182	167	168	177	195	188	196	194	186	187	197	185	202	199	200	189
	193	190	191	198	192															

ตารางที่ ข.107 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	
	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	4	4	
	1	4	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	
	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4	
	3	4	3	3	3	4	4	3	4	5	4	6	5	6	5	6	5	6	5	6	
	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	5	5	
	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	
	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5	7	8	7	8	7	8	7	7	
	7	7	8	7	7	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	8	7	
	8	8	8	7	8																
	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	
	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	4	
	4	1	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	
	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	3	3	3	3	4	4	6	6	3	6	5	6	5	5	5	5	6	
	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	
	5	6	7	6	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	8	7	7	
	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8	8	7	8	
	8	8	7	8	7																
	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	
	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	
	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
	1	2	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	
	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	5	6	6	6	5	5	5	5	6	
	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	
	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	8	5	7	7	8	7	8	
	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	7	7	8	8	7	7	7	8	7	7	
	7	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	8	7	8	8	7	
	7	8	8	7	8																
	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	
	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	
	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	4	4	1	4	1	
	1	4	4	1	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	
	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
	3	4	3	3	4	3	5	4	4	4	4	4	6	5	6	5	5	5	5	5	
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5
	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	7	6	8	
	7	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8	
	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	8	7	8	
	7	8	7	7	8																

ตารางที่ ข.107 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2
	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	4	1	1	4	1
	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	5	4	5	6	6	6	5	5	5	5
	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6
	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	8	8	7	7	7	8	7	7
	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	7	8	8	8	7
	8	8	7	7	7	7	7	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8
	8	7	7	8	7															
	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1
	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1
	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	3
	3	2	4	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4
	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4
	4	3	4	4	4	4	3	4	5	4	4	6	5	6	5	6	5	5	5	6
	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	6	7	6	6	7	8	7	7
	8	7	8	8	8	7	7	7	8	7	7	8	7	7	7	7	7	8	7	7
	7	8	7	8	7	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	7	7	8	8	8
	8	7	8	8	7															

4.1.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.108 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	25	1	6	21	201	19	20	22	23	24	28	34	26	29	33	30	31	32	27	35
	2	3	4	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	75	40	69
	70	112	111	110	41	83	72	62	71	63	64	65	66	42	54	55	56	59	60	61
	57	73	74	76	79	78	77	82	37	38	39	67	43	44	45	53	48	49	51	52
	50	46	47	68	80	81	84	85	88	90	91	89	86	87	58	92	96	95	93	99
	94	98	97	100	131	109	134	130	105	106	103	104	107	108	132	133	101	102	113	123
	122	117	163	171	169	162	161	115	124	125	204	120	118	114	119	121	126	129	128	116
	203	174	205	127	135	147	144	139	153	148	151	138	137	149	154	155	156	140	150	145
	146	136	152	158	159	157	141	142	143	160	184	179	178	170	164	172	173	175	176	180
	181	182	165	166	183	167	168	177	186	194	187	185	195	196	197	198	202	188	189	190
	193	191	192	199	200															

ตารางที่ ข.108 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	6	21	201	25	19	20	22	23	34	24	28	29	33	30	32	31	27	26	35
	2	3	4	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	75	69	70
	111	110	83	72	112	41	62	71	63	64	65	66	42	40	54	55	56	59	60	61
	57	43	44	73	74	76	79	78	77	82	37	38	39	45	53	48	49	51	52	50
	46	47	67	68	80	81	84	85	88	90	91	89	86	87	58	92	96	95	93	99
	94	98	97	100	134	131	132	133	109	103	101	102	105	106	107	108	130	104	113	163
	124	171	115	161	125	122	121	118	117	169	204	116	174	162	203	123	205	114	120	119
	126	129	128	127	135	151	139	153	152	144	147	140	138	142	141	143	154	155	148	137
	158	159	150	145	146	156	157	149	160	184	179	178	170	180	181	182	172	173	175	176
	183	136	164	165	166	167	168	177	186	194	187	185	195	196	197	198	202	188	189	190
	193	191	192	199	200															
	201	1	19	20	25	2	3	4	5	7	8	9	10	21	22	23	34	24	28	29
	33	30	32	31	27	26	35	13	11	12	6	14	15	16	17	18	36	75	69	70
	112	111	110	83	72	41	62	71	63	64	65	66	42	40	54	55	56	59	60	61
	57	43	44	73	74	76	79	78	77	82	37	38	39	45	53	48	49	51	52	50
	46	47	67	68	80	81	84	85	88	89	90	86	87	91	58	92	99	95	96	97
	94	93	98	100	109	131	130	105	106	103	104	107	108	132	133	134	101	102	113	205
	123	204	162	203	122	171	169	163	161	117	115	124	125	120	118	114	119	121	126	127
	116	174	129	128	135	151	137	149	136	153	140	152	148	144	147	145	142	138	154	155
	141	143	146	158	159	139	150	160	178	170	172	173	175	176	184	156	157	164	165	179
	180	183	181	182	166	167	168	177	187	185	195	196	194	197	199	200	202	198	186	188
	189	193	191	192	190															
	6	1	201	2	4	3	19	25	21	20	22	23	34	24	28	29	33	30	32	31
	27	26	35	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	69	70
	111	83	72	41	62	110	71	112	63	64	65	66	42	40	54	55	56	59	60	61
	57	43	44	73	74	76	79	78	77	82	37	38	39	45	53	48	49	51	52	50
	46	47	67	68	80	81	84	85	88	90	86	87	89	91	58	92	95	94	97	93
	96	99	98	100	105	109	134	130	107	106	108	103	104	131	132	133	101	102	113	205
	204	114	118	161	174	169	163	162	124	125	123	120	119	115	171	117	203	122	116	121
	126	129	128	127	135	148	150	147	158	159	153	154	149	144	142	141	138	145	139	136
	146	137	140	143	155	156	157	152	151	160	179	170	178	164	184	180	181	183	182	165
	166	167	168	172	173	175	176	177	195	187	194	185	196	197	202	198	199	200	186	188
	189	191	193	190	192															
	201	1	19	20	25	2	3	4	5	7	8	9	10	21	22	23	34	24	28	29
	33	30	32	31	27	26	35	13	11	12	6	14	15	16	17	18	36	75	69	70
	112	110	83	72	41	62	71	63	64	65	66	42	40	54	55	56	59	60	61	57
	43	44	73	74	76	79	78	77	82	37	38	39	45	53	48	49	51	52	50	46
	47	67	68	80	81	84	85	88	90	91	89	86	87	58	92	96	95	93	99	94
	98	97	100	134	103	101	102	109	130	104	131	132	133	105	107	106	108	111	113	205
	120	174	204	115	203	122	169	162	121	119	118	124	123	114	117	171	161	125	126	127
	129	128	135	153	152	149	147	151	150	142	140	139	138	137	158	159	148	141	143	145
	116	154	155	156	157	163	136	144	146	160	184	179	178	170	172	173	175	176	180	183
	181	182	164	165	166	167	168	177	186	188	195	196	185	194	197	199	200	202	198	187
	189	193	191	192	190															

ตารางที่ ข.108 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	21	201	19	1	6	20	22	23	24	27	34	26	25	28	29	33	30	32	31	35
	2	4	3	5	7	13	14	15	16	17	8	9	10	11	12	18	36	75	40	69
	70	112	111	72	62	71	42	54	55	56	59	60	61	57	63	64	65	66	37	38
	39	73	74	76	79	78	77	82	67	68	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87
	110	43	44	45	46	47	48	49	51	53	50	52	58	41	83	92	97	94	99	93
	95	96	98	100	105	107	130	134	109	106	103	104	101	102	131	132	133	108	113	205
	204	163	119	171	161	124	125	122	121	120	169	117	123	116	114	115	174	162	203	118
	126	129	128	127	135	145	139	150	149	153	152	148	146	144	141	140	137	136	158	142
	143	151	147	154	155	156	157	138	160	184	179	178	180	170	183	172	173	175	176	181
	182	159	164	165	166	167	168	177	187	194	188	186	195	196	197	199	198	202	200	185
	189	191	190	193	192															
	25	1	6	21	201	19	20	22	23	24	28	34	26	29	33	30	31	32	27	35
	2	3	4	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	75	40	69
	70	112	111	41	72	62	71	63	64	65	66	73	74	76	78	79	77	82	83	42
	54	55	56	59	60	61	57	37	38	39	67	68	80	81	84	85	90	91	88	89
	86	87	43	44	45	53	46	47	51	52	48	49	50	110	58	92	97	94	99	93
	95	96	98	100	105	107	130	134	109	106	103	104	101	102	131	132	133	108	113	163
	119	171	161	124	125	122	121	120	169	117	204	123	116	114	115	174	162	203	205	118
	126	129	128	127	135	145	139	150	149	153	152	148	146	144	141	140	137	136	158	142
	143	151	147	154	155	156	157	138	160	184	179	178	170	180	181	182	172	173	175	176
	183	159	164	165	166	167	168	177	186	194	187	185	195	196	197	198	202	188	189	190
	193	191	192	199	200															
	201	6	19	25	20	21	22	23	34	24	28	29	33	30	31	32	27	26	35	2
	4	3	5	13	14	7	15	16	17	18	8	9	10	11	12	1	36	41	69	62
	63	64	65	112	110	42	83	72	70	71	73	74	76	79	78	77	82	75	66	67
	68	80	81	84	85	86	87	90	91	40	43	54	55	61	56	57	58	44	37	111
	59	60	38	39	45	51	46	52	48	49	50	47	53	88	89	92	97	99	98	96
	93	95	94	100	109	101	134	131	130	102	132	105	107	106	108	103	104	133	113	163
	174	203	121	204	114	205	161	117	123	120	119	116	115	124	125	169	171	118	162	122
	126	129	128	127	135	150	153	152	151	149	148	145	146	144	141	138	137	136	154	155
	156	157	142	147	140	143	139	160	184	179	178	170	172	173	164	165	175	176	180	183
	181	182	166	167	168	177	194	186	188	195	185	187	158	159	189	193	190	191	192	196
	197	202	199	200	198															
	201	21	25	6	19	20	22	23	34	24	27	28	29	33	30	31	26	32	35	2
	4	3	5	13	7	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	1	36	72	37	42
	112	110	83	75	62	69	41	40	54	43	44	70	71	73	74	76	77	82	79	78
	55	59	60	61	56	57	58	111	63	64	68	65	66	67	80	81	84	85	86	87
	90	91	38	39	45	53	48	49	50	51	46	52	47	88	89	92	97	99	98	96
	93	95	94	100	109	101	134	131	130	102	132	105	107	106	108	103	104	133	113	163
	174	203	121	204	114	205	161	117	123	120	119	116	115	124	125	169	171	118	162	122
	126	129	128	127	135	150	153	152	151	149	148	145	146	144	141	138	137	136	154	155
	156	157	142	147	140	143	139	160	184	179	178	170	172	173	164	165	175	176	180	183
	181	182	166	167	168	177	194	186	188	195	185	187	158	159	189	193	190	191	192	196
	197	202	199	200	198															

ตารางที่ ข.108 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	21	201	6	19	20	22	23	24	27	26	34	28	29	33	30	31	32	35	2
	4	3	5	13	14	7	15	16	17	18	8	9	10	11	12	1	36	41	62	37
	42	69	112	110	63	64	65	83	72	70	71	73	74	76	79	78	77	82	75	66
	67	68	80	81	84	85	86	87	90	91	40	43	44	111	38	39	54	55	59	60
	56	61	57	58	45	51	53	52	48	49	50	46	47	88	89	92	97	99	98	96
	93	95	94	100	109	101	134	131	130	102	132	105	107	106	108	103	104	133	113	163
	174	203	121	204	114	205	161	117	123	120	119	116	115	124	125	169	171	118	162	122
	126	129	128	127	135	150	153	152	151	149	148	145	146	144	141	138	137	136	154	155
	156	157	142	147	140	143	139	160	184	179	178	170	172	173	164	165	175	176	180	183
	181	182	166	167	168	177	194	186	188	195	185	187	158	159	189	193	190	191	192	196
	197	202	199	200	198															
	201	20	6	1	19	21	22	23	34	24	26	27	25	28	29	33	30	31	32	35
	2	3	4	5	7	8	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	36	41	40	69
	112	110	83	72	70	71	73	74	76	79	78	77	82	75	42	43	54	55	61	37
	38	39	59	60	44	45	51	52	48	49	50	46	47	53	111	62	63	64	65	66
	67	68	80	81	84	85	86	87	90	91	56	57	58	88	89	92	97	99	98	96
	93	95	94	100	109	101	134	131	130	102	132	105	107	106	108	103	104	133	113	163
	174	121	114	161	117	203	205	123	120	119	116	115	124	125	169	171	118	162	122	126
	129	128	127	135	150	153	152	151	149	148	145	146	144	141	138	137	136	154	155	156
	157	142	147	140	143	139	160	184	179	178	170	172	173	164	165	175	176	180	183	181
	182	166	167	168	177	194	186	188	195	185	187	158	159	189	193	190	191	192	196	197
	199	200	198	202	204															
	20	201	21	2	4	22	25	23	34	24	26	28	29	33	30	32	31	27	35	19
	6	3	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	1	36	62	63	75
	112	111	69	70	71	64	68	40	37	38	39	41	65	66	67	110	83	42	43	44
	45	46	48	49	50	47	51	52	53	54	55	61	56	57	58	59	60	72	73	74
	76	79	77	82	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	97	94	99	93
	95	96	98	100	105	107	130	134	109	106	103	104	101	102	131	132	133	108	113	205
	204	203	163	119	171	161	124	125	122	121	120	169	117	123	116	114	115	174	162	118
	126	129	128	127	135	145	139	150	149	153	152	148	146	144	141	140	137	136	158	142
	143	151	147	154	155	156	157	138	160	179	178	180	183	170	184	172	173	175	176	181
	182	159	164	165	166	167	168	177	188	186	195	185	187	189	191	193	190	196	194	192
	197	199	200	198	202															
	201	20	6	19	21	22	23	34	24	26	27	25	28	29	33	30	31	32	35	2
	3	4	5	7	8	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	1	36	41	40	62
	63	75	112	111	69	70	71	64	68	42	43	54	55	56	57	61	59	58	60	37
	38	39	44	45	51	52	48	49	50	46	47	53	65	66	67	110	83	72	73	74
	76	79	77	82	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	97	94	99	93
	95	96	98	100	105	107	130	134	109	106	103	104	101	102	131	132	133	108	113	205
	119	203	171	163	204	161	124	125	122	121	120	117	123	116	114	115	162	169	118	126
	129	128	127	135	145	139	150	149	153	152	148	146	144	141	140	137	136	158	142	143
	151	147	154	155	156	157	138	160	178	170	172	164	173	165	184	159	174	175	176	166
	167	168	177	185	186	187	195	194	196	197	202	199	200	198	188	189	190	191	193	192
	179	180	183	181	182															

ตารางที่ ข.108 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	20	21	201	25	22	23	34	24	28	29	30	27	33	31	19	32	26	35	6	2
	3	4	5	13	7	8	14	15	16	17	18	9	10	11	12	1	36	69	62	63
	64	68	111	112	72	70	65	66	71	73	75	83	42	41	110	40	54	55	61	59
	56	57	58	60	43	37	38	39	67	44	45	51	52	53	46	47	48	49	50	74
	76	78	77	82	79	80	81	84	85	88	89	90	91	86	87	92	93	99	98	97
	100	134	131	130	105	107	132	133	106	108	103	101	102	96	95	109	104	113	205	120
	203	174	161	114	124	171	162	115	123	169	125	204	118	116	117	122	163	119	121	126
	128	127	129	94	135	151	149	150	148	147	141	139	142	136	158	159	145	138	146	137
	152	144	153	154	155	156	140	143	160	179	170	184	178	180	181	182	172	173	183	175
	176	157	164	165	166	167	168	177	186	185	195	196	194	197	199	200	198	202	188	187
	189	191	193	192	190															

ตารางที่ ข.109 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	4	4	4
	4	1	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	3	6	6	3	5	5	5
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5
	5	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	7	8	7	8	7	7	7	7	7
	7	7	8	8	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	7
	8	8	7	8	8															
	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	4	4	4
	4	1	1	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	3	6	6	3	3	3	3	5	5	5	5	6	6	5	6
	5	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5
	6	6	6	5	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	7
	8	8	7	8	8															

ตารางที่ ข.109 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	4	4	4	4	4	4
	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	3	6	6	3	3	3	6	3	3	6	6	6	3	3	5	5
	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5
	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	7	7	8	7	8	8	8
	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7
	7	7	7	7	8	8	8	7	8	7	7	8	7	8	8	8	7	8	8	7
	7	8	8	7	8															
	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4
	4	1	1	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4
	3	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	4	5	6	6	5	5	5	5
	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	7	6	8	7	7
	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7	8
	8	8	8	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	7
	7	8	8	7	7															
	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	4	4	4	4	4	4	4
	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4
	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	8	7	7	8
	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	7	8	8
	7	8	8	7	8															
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	5	6	6	5	5	5
	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	7	7	7	6	7	8	7
	7	8	7	8	8	8	8	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	8	8	7	8	7
	7	8	7	8	7															

ตารางที่ ข.109 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	4	3	4
	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3
	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	5	6	6	5	5	6
	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	7	7	7	6	7	6	7
	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	7
	8	8	7	8	8															
	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	3	4	3	3	4	3	4	4
	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3
	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	7	7	8	7	8	8	7	8	8
	7	8	7	7	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8
	8	7	8	8	8															
	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	4	3	4	3	4	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3
	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	7	7	8	7	8	8	7	8	8
	7	8	7	7	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8
	8	7	8	8	8															
	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2
	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	4	4	3	3	4	3	4
	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	7	7	8	7	8	8	7	8	8
	7	8	7	7	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8
	8	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.109 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	3	4	3	4	3	4	4	4	3
	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4
	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6
	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7
	8	7	7	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8
	8	8	8	7	7															
	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2
	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	4	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3
	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	3	4	4	6	3	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5
	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6
	6	5	6	5	5	6	5	8	8	5	5	8	7	7	7	7	8	7	8	7
	7	8	7	8	8	8	7	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	7	7
	8	8	8	8	7															
	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	4	4	4	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	4	3	3	4	3
	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	3	4	4	6	3	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5
	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6
	5	6	5	5	6	5	8	8	5	5	8	7	7	7	7	8	7	8	7	7
	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8
	8	8	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7
	7	7	7	7	7															
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2
	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	4	3	4	4	4	4
	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3
	3	4	3	4	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6
	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	7	7	6	6	8	7	7	8
	7	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	7	7	8
	7	8	8	7	8															

4.1.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.110 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	1	20	21	19	22	201	23	25	34	2	24	4	27	3	26	6	28	29	30	32
	31	33	5	7	13	8	14	9	15	16	10	11	17	18	12	35	36	75	112	110
	40	111	41	42	83	69	70	54	43	62	63	37	55	59	60	64	65	66	72	56
	71	57	38	58	61	68	44	73	74	39	76	45	78	53	77	51	82	46	52	67
	79	47	48	80	49	50	81	84	85	90	86	87	91	88	89	92	97	94	93	95
	99	98	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	106	133	107	108	96	113	117
	174	122	121	124	169	120	119	205	125	123	171	163	162	115	161	116	204	203	114	118
	126	128	127	129	135	144	137	141	152	140	148	153	136	139	138	149	145	142	143	150
	146	154	147	158	151	159	160	170	172	184	164	173	179	175	165	176	155	178	156	180
	183	157	181	182	166	167	168	177	188	186	187	195	194	196	185	189	191	193	197	202
	199	200	190	192	198															
	1	20	21	19	22	201	23	25	2	24	3	26	4	5	7	34	13	14	27	8
	28	15	29	9	10	11	12	33	30	32	16	17	18	6	31	35	36	75	62	63
	40	111	41	83	72	42	110	64	68	112	54	65	66	55	59	60	61	56	69	43
	67	70	71	73	74	44	57	58	37	76	79	38	78	39	77	45	82	48	80	46
	81	51	47	84	49	52	85	90	53	91	88	86	89	87	50	92	99	93	95	98
	96	94	97	100	134	103	130	104	101	109	102	131	132	105	106	133	107	108	113	174
	118	122	119	205	203	120	114	204	117	169	115	162	123	161	121	171	163	116	124	125
	126	128	129	127	135	144	147	153	136	148	145	139	158	146	154	142	138	151	159	149
	137	150	140	152	155	141	143	160	170	156	178	157	164	172	165	166	173	179	175	167
	168	176	180	177	186	184	183	188	187	195	194	185	181	182	196	197	189	202	198	193
	190	199	200	191	192															
	1	20	21	19	22	201	23	6	34	25	24	2	27	3	4	26	5	7	13	8
	14	9	10	11	12	15	16	17	18	28	29	30	33	32	31	35	36	75	62	41
	40	112	111	69	70	110	63	71	72	37	64	68	38	42	83	65	73	43	74	39
	76	66	79	67	77	78	54	80	55	81	82	56	59	60	61	57	84	44	85	45
	58	88	46	86	87	48	53	49	50	89	51	52	47	90	91	92	98	97	94	93
	95	99	100	134	103	130	104	101	105	131	132	102	109	133	107	106	108	96	113	117
	114	204	171	120	169	118	115	161	162	203	121	123	163	205	124	174	119	122	116	125
	126	128	127	129	135	144	137	150	145	140	142	153	147	141	151	139	143	136	152	146
	149	138	158	148	159	160	170	154	184	155	172	164	173	175	179	176	156	178	157	180
	183	165	181	166	167	168	177	188	194	187	195	186	182	196	185	189	191	190	192	193
	197	198	202	199	200															
	1	20	21	19	22	201	23	24	25	26	6	28	34	2	27	3	29	30	31	33
	32	35	4	5	7	13	8	14	9	10	11	12	15	16	17	18	36	75	62	63
	40	111	72	110	37	64	38	68	41	42	83	112	65	66	54	39	55	43	59	44
	69	70	56	57	67	61	71	73	74	76	45	78	46	47	58	77	51	82	48	79
	49	50	80	53	81	52	84	60	85	90	86	88	89	87	91	92	99	93	95	98
	97	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	107	133	106	108	94	96	113	117
	116	115	161	205	123	120	174	119	171	162	121	203	114	204	169	118	122	163	124	125
	126	129	128	127	135	144	137	150	136	149	147	142	153	145	139	138	141	151	158	152
	140	143	159	148	146	154	160	170	155	172	164	173	179	175	165	184	166	176	156	178
	157	180	183	181	182	167	168	177	188	194	187	195	186	196	197	199	198	185	189	191
	200	190	202	193	192															

ตารางที่ ข.110 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	20	21	19	22	23	25	34	2	4	6	24	26	27	3	5	7	28	29	30
	33	32	201	31	13	8	14	9	10	35	15	16	17	18	11	12	36	75	41	42
	37	40	62	63	38	111	64	68	65	69	70	110	71	72	43	112	73	74	66	76
	79	44	77	67	83	54	78	82	39	55	59	60	61	56	57	58	45	80	46	81
	51	84	52	48	49	50	85	47	53	86	90	91	88	87	89	92	99	93	95	97
	94	96	98	100	134	103	130	104	101	105	102	131	132	106	133	107	109	108	113	174
	169	116	115	163	120	204	171	162	203	117	122	121	119	161	205	124	114	123	118	125
	126	128	127	129	135	144	137	149	138	152	150	158	147	139	151	159	142	153	141	148
	154	145	146	140	143	136	160	170	155	172	184	179	173	156	164	165	166	178	175	167
	168	157	180	181	183	176	177	182	195	187	196	185	188	194	197	198	202	186	189	191
	190	192	193	199	200															
	1	20	21	22	6	23	201	24	25	26	27	28	29	30	33	32	34	2	31	35
	4	19	3	5	7	13	8	14	15	16	17	18	9	10	11	12	36	75	69	70
	112	110	111	62	41	63	37	71	64	68	83	40	65	38	66	72	73	74	39	76
	79	42	67	77	78	54	80	82	55	56	59	60	81	61	84	57	43	58	85	88
	86	87	89	90	91	44	45	46	47	48	51	52	53	49	50	92	99	94	96	93
	95	98	97	100	134	103	130	104	101	105	107	102	131	132	106	109	133	108	113	123
	161	122	119	171	174	204	124	115	163	203	125	121	162	205	116	114	118	117	169	120
	126	128	127	129	135	144	158	153	152	154	142	155	139	136	147	151	141	156	140	143
	150	138	145	149	159	148	157	146	137	160	170	184	179	172	173	164	175	176	178	165
	166	167	168	177	188	194	180	183	187	181	182	195	185	186	189	191	190	192	193	196
	197	199	200	198	202															
	1	20	21	19	22	6	23	25	34	2	24	3	26	4	27	201	28	29	30	33
	32	31	35	5	7	13	8	14	9	10	15	11	12	16	17	18	36	75	62	63
	64	40	111	41	112	65	66	72	110	69	70	71	73	74	67	37	76	83	79	38
	68	42	78	39	77	54	43	55	59	60	61	56	57	58	44	80	45	81	53	46
	82	48	49	50	84	47	85	90	91	88	89	86	51	87	52	92	99	93	95	97
	94	96	98	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	106	133	107	108	113	124
	119	117	171	163	204	205	123	161	162	115	122	121	114	118	125	203	120	116	126	128
	127	129	135	174	147	144	158	152	150	141	159	148	153	139	142	140	143	151	138	145
	149	146	154	136	169	155	137	160	170	156	179	157	164	184	178	172	165	166	173	175
	167	168	176	180	177	188	194	187	195	186	181	185	189	191	190	192	196	197	198	183
	193	182	199	202	200															
	1	20	21	19	22	201	23	25	24	2	27	3	26	4	5	7	34	6	8	28
	9	29	10	30	32	11	12	33	31	35	13	14	15	16	17	18	36	75	62	63
	64	72	37	42	111	41	110	65	66	112	69	70	71	73	74	67	38	76	39	79
	40	77	68	43	82	44	78	45	53	80	46	48	81	47	84	49	50	51	85	90
	86	83	54	88	87	91	52	89	55	56	57	61	59	60	58	92	99	93	95	94
	96	98	97	100	134	103	130	104	101	105	102	131	132	107	109	133	106	108	113	174
	205	171	162	123	161	115	163	114	204	117	118	122	121	120	203	116	124	169	125	119
	126	128	127	129	135	144	148	158	159	139	136	152	150	140	151	153	147	142	145	138
	146	154	141	155	137	149	143	160	170	156	178	157	164	184	172	165	166	167	168	173
	175	179	176	180	181	182	183	177	188	194	187	195	186	196	185	197	199	202	200	189
	191	198	193	192	190															

ตารางที่ ข.110 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	20	21	19	22	2	201	4	6	23	34	24	25	26	27	3	28	29	5	7
	13	8	33	9	10	11	12	30	32	31	35	14	15	16	17	18	36	75	62	69
	70	110	71	112	83	37	40	42	43	54	41	63	64	44	72	65	38	66	111	55
	56	57	73	74	68	59	58	76	39	77	78	45	79	67	51	80	52	48	81	53
	82	46	47	84	61	85	49	50	90	91	88	60	89	86	87	92	98	93	95	94
	96	99	97	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	107	106	133	108	113	123
	171	162	204	120	121	124	169	116	205	203	114	122	125	163	115	161	117	118	174	119
	126	128	127	129	135	144	137	149	150	141	138	142	153	139	158	136	151	147	152	140
	143	148	159	145	146	154	155	160	178	156	164	157	184	179	170	172	165	166	167	168
	173	175	180	181	183	176	182	177	188	194	187	195	186	196	185	189	191	190	192	197
	198	202	193	199	200															
	1	20	21	19	22	25	201	23	6	34	2	24	28	3	26	4	5	7	13	14
	29	33	30	32	8	15	16	17	18	27	31	35	9	10	11	12	36	75	62	41
	83	69	112	110	63	37	64	40	38	65	66	111	67	72	42	54	43	55	59	44
	60	61	56	39	57	70	58	71	73	74	76	78	45	79	46	48	77	51	82	52
	47	68	80	53	81	49	50	84	85	90	86	91	88	87	89	92	98	97	94	96
	93	95	99	100	134	103	130	104	101	105	106	109	102	131	132	107	108	113	124	118
	174	114	204	116	115	163	121	171	162	125	123	203	205	122	161	133	169	120	119	117
	126	128	127	129	135	144	137	149	138	145	158	150	140	141	159	136	148	151	152	139
	153	147	142	143	154	146	155	160	170	156	178	157	164	179	184	172	165	166	180	167
	183	181	168	173	175	176	182	177	188	194	187	195	186	196	185	197	189	191	190	192
	193	198	202	199	200															
	1	20	21	19	22	201	23	25	6	34	2	24	4	26	3	5	7	8	28	9
	10	29	30	33	32	31	11	12	13	27	35	14	15	16	17	18	36	41	40	111
	62	63	69	70	42	54	72	83	110	64	68	112	65	66	37	55	59	38	60	43
	61	67	39	71	73	74	56	57	44	58	76	45	78	53	79	51	52	75	77	48
	46	82	49	80	47	81	50	84	85	90	86	87	91	88	89	92	99	93	95	94
	96	98	97	100	134	103	130	104	101	105	102	131	132	106	133	107	109	108	113	117
	169	123	116	115	161	162	204	121	163	114	122	205	119	171	174	203	124	120	125	118
	126	128	127	129	135	144	137	151	158	139	142	153	140	148	154	141	159	143	152	149
	150	136	155	145	138	146	156	157	147	160	170	184	164	165	179	172	178	173	175	166
	167	168	180	183	181	176	177	188	194	187	195	186	182	185	189	191	192	196	193	197
	199	198	200	190	202															
	1	20	21	19	22	201	23	25	6	34	2	24	4	27	3	26	5	7	13	8
	28	9	29	30	33	10	11	31	12	32	35	14	15	16	17	18	36	75	111	41
	42	83	69	112	70	37	40	54	43	55	59	72	71	73	74	60	110	61	56	44
	76	38	78	57	79	39	77	45	58	53	51	82	48	52	62	63	64	65	66	67
	68	80	46	47	81	49	50	84	85	90	86	88	87	91	89	92	99	93	95	97
	94	96	98	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	107	133	106	108	113	117
	124	162	205	203	123	119	115	125	122	204	120	114	118	171	163	161	174	116	121	126
	128	127	129	135	144	158	142	153	147	154	136	155	139	137	169	148	149	150	141	156
	145	140	138	159	152	157	146	143	151	160	170	179	164	178	184	172	165	180	183	173
	181	182	166	167	168	175	176	177	188	194	187	195	186	196	185	197	189	191	190	192
	199	198	202	193	200															

ตารางที่ ข.110 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	25	201	20	21	19	22	6	23	24	2	27	3	26	4	5	7	34	13	8
	14	15	16	17	18	9	10	28	29	30	33	11	31	12	32	35	36	75	111	40
	62	63	64	68	110	65	66	72	42	54	67	83	37	55	43	61	112	59	56	57
	69	70	41	38	58	44	60	71	73	74	39	76	45	78	53	79	46	77	48	51
	82	52	80	49	50	81	47	84	85	90	86	88	91	87	89	92	99	93	95	97
	94	96	98	100	134	103	130	104	101	105	109	102	131	132	107	106	133	108	113	118
	122	121	171	119	169	203	205	123	120	174	114	204	117	115	124	116	125	162	161	163
	126	128	127	129	135	144	151	148	147	150	140	139	137	149	138	158	153	152	142	145
	146	154	141	155	143	160	170	156	178	157	136	164	165	172	179	173	180	175	181	159
	184	166	183	167	168	176	182	177	188	194	187	195	186	196	185	197	189	191	190	192
	199	202	193	198	200															
	1	20	21	19	22	6	25	201	23	24	2	34	26	27	3	28	4	5	7	13
	8	14	9	10	11	12	29	30	33	32	31	35	15	16	17	18	36	75	62	111
	41	42	83	37	40	63	64	69	70	110	72	65	66	54	67	55	68	71	73	74
	43	112	59	56	57	76	38	78	79	39	58	77	82	44	60	61	80	45	81	53
	84	46	47	85	90	91	88	51	52	48	49	50	89	86	87	92	98	95	97	94
	96	99	100	134	103	130	104	101	93	109	102	131	132	133	105	107	106	108	113	119
	122	161	163	120	169	162	204	121	115	124	171	174	203	125	123	114	116	205	118	126
	128	127	129	135	117	138	139	142	153	151	147	152	150	140	149	137	141	148	158	145
	159	143	154	144	155	146	156	160	170	172	178	157	164	173	179	175	165	166	184	136
	167	168	176	177	188	187	186	180	183	185	195	194	196	197	198	202	199	181	182	200
	189	191	190	192	193															

ตารางที่ ข.111 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2
	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2
	1	2	1	2	2	1	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4
	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	6	3	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6
	5	6	5	6	6	6	6	5	7	7	6	7	7	7	6	7	8	8	8	7
	7	8	7	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	7
	8	8	8	7	8															

ตารางที่ ข.111 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2
	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2
	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	4	4	4	4	1	1
	1	1	1	1	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3
	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	6	3	5	6	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	5	6	6	5	6
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6
	5	6	5	5	5	5	5	6	5	8	7	7	8	7	8	8	7	7	7	8
	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	8
	7	8	8	8	7															
	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2
	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1
	3	4	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4
	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	6	3	5	6	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5
	6	6	6	6	6	6	5	6	5	8	7	8	7	7	7	7	8	7	8	7
	7	8	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	7	8
	8	8	7	8	8															
	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	4	1
	1	1	4	4	1	4	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4
	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3
	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	6	3	6	5	5	5	5	5	5
	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6
	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5
	5	5	6	6	5	6	6	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7	8	7
	8	7	7	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	8	8	8	8	7	7	8
	8	7	7	8	7															
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2
	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2
	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
	2	1	3	2	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6
	6	6	5	5	5	5	6	7	8	7	7	7	7	8	8	8	8	7	7	8
	8	7	7	7	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8
	7	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.111 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1
	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	3
	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3
	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	5	6	5	5	5
	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5
	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	5	7	8	7	8	7	7
	8	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	7	7	7	7	8	7	7	8	8
	8	8	8	7	7	8	7	7	8	7	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8
	8	8	8	8	7															
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2
	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	4	4	1
	1	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	6	5	5	5	5
	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5
	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	7	7	7	8	8	8
	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7
	8	8	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	8	8	7
	8	7	8	7	8															
	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	4	1	1	3	3	4
	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4
	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	6	3	6	6	3	3	3	5	6	5	5	6	5	5	5	5
	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	5	5	8	5	7	7	7	7	8	7
	7	8	7	8	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	8	7
	7	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8
	8	8	8	7	7															
	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	4	1	4
	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	4	3
	4	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	5	6	5	5	5
	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	7	6	7	8	7	7	7
	7	8	8	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	7	7	7	8	8	8	8
	7	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	7	7	8
	8	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.111 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1
	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	4	1
	4	4	4	1	4	1	4	1	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3
	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3
	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	5	6	5	5	5	5	6
	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	8	7	7	8	7	8	8	7	8
	7	7	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	8	7	7	7	8	8	7	8
	7	7	8	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7	7
	8	8	7	8	8															
	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1
	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	4	1	4	1
	4	1	1	1	1	1	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	5	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	7	7	7	8	8	7	8	7	7	8
	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	8
	8	8	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8	8
	8	8	8	7	7															
	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	4	4	4	4	4	3
	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4
	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	6	5	5	5	5
	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6
	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	7	6	8	7	8	8	8	7	8
	7	7	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7
	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7	7
	8	8	7	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2
	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2	4	4	4
	1	1	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3
	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	5	6	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	8	5	7	8	8	7	8	7	7	7	8
	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8	7	7	7	7	7	7	8
	7	8	7	8	8	7	7	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7	7
	8	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.111 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1
	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1
	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	3	4
	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3
	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3
	4	4	3	4	3	4	4	3	6	3	3	5	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6
	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	7	7	6	7	8	8	7	8	8	8
	8	7	7	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7	7	7	8	8	7	7
	8	8	7	7	7	8	8	7	7	8	7	8	8	8	8	7	8	7	7	8
	7	8	7	7	8															

4.1.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.112 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	25	1	21	201	6	20	2	22	4	23	24	34	3	5	28	26	29	30	33	27
	31	32	19	7	13	14	35	15	8	9	16	10	11	12	17	18	36	75	72	83
	42	111	41	110	112	69	70	71	40	54	43	62	63	64	55	65	37	59	56	68
	73	60	57	61	38	74	44	76	39	79	45	78	48	46	77	66	82	51	67	58
	80	52	81	49	84	50	85	90	53	91	47	86	88	87	89	92	94	96	93	95
	98	97	99	100	134	109	103	105	130	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	114
	115	162	205	118	203	161	169	171	119	116	204	121	124	123	125	122	163	174	117	120
	126	128	127	129	135	152	158	149	141	153	142	138	140	144	154	155	137	150	151	148
	143	156	139	157	159	145	136	147	146	160	170	164	165	166	167	168	172	184	179	178
	173	175	176	180	183	177	188	195	194	187	185	186	181	196	189	191	190	192	197	198
	202	193	199	200	182															
	25	201	6	1	21	19	20	22	2	23	24	27	3	26	28	29	33	4	34	30
	31	5	13	14	7	15	32	8	35	9	10	11	12	16	17	18	36	75	62	41
	112	111	72	83	110	63	42	69	40	54	43	55	61	56	59	57	37	70	71	38
	60	39	73	74	58	76	44	77	45	79	51	53	48	49	64	46	78	47	52	68
	65	82	66	50	67	80	81	84	85	90	86	91	88	87	89	92	94	96	93	97
	95	98	99	100	134	109	103	104	101	102	131	130	132	105	107	133	106	108	113	114
	124	174	116	119	117	161	163	115	122	121	204	171	120	203	125	123	169	118	126	128
	127	129	135	152	144	150	138	140	145	136	149	148	137	153	142	146	139	158	159	151
	147	162	205	141	143	154	160	170	155	178	156	172	184	157	173	164	179	175	165	176
	166	167	168	177	186	188	195	194	187	185	180	181	182	189	183	196	191	192	197	193
	199	200	202	190	198															

ตารางที่ ข.112 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	6	1	21	19	20	22	2	23	24	4	27	3	5	13	14	7	15	28	26
	29	8	201	30	16	33	17	32	34	31	9	18	10	35	11	12	36	75	69	112
	111	72	41	70	42	110	37	71	40	54	73	83	55	59	56	61	60	57	74	58
	76	43	79	62	63	64	77	44	78	38	39	82	45	48	46	68	47	49	51	50
	53	52	65	66	67	80	81	84	85	90	86	88	87	89	91	92	94	96	93	95
	98	97	99	100	134	109	103	105	130	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	171
	120	121	122	123	119	204	161	169	114	203	116	205	163	115	162	117	124	174	118	125
	126	128	127	129	135	152	144	137	150	138	148	158	159	149	145	146	136	142	153	147
	141	139	151	140	143	154	160	170	155	178	156	172	184	157	179	173	164	175	165	176
	180	183	181	182	166	167	168	177	188	195	194	187	185	186	196	189	191	190	192	197
	193	199	198	200	202															
	20	6	1	19	25	201	21	22	2	23	24	34	3	28	26	4	29	30	32	27
	31	33	35	5	13	14	7	15	8	9	16	10	17	18	11	12	36	75	69	70
	112	111	37	71	110	42	62	41	63	40	54	43	64	55	59	65	66	68	56	67
	61	60	83	57	44	58	72	38	73	74	39	76	45	78	48	46	77	47	79	51
	80	53	81	49	50	84	52	85	90	91	86	87	88	82	89	92	94	96	93	97
	99	95	98	100	130	101	102	131	103	134	109	105	104	132	107	133	106	108	113	163
	161	169	205	122	123	114	124	174	116	117	118	115	120	121	119	204	162	203	125	126
	127	128	171	129	135	136	148	138	144	145	137	147	152	150	139	158	151	149	146	159
	141	140	153	142	143	154	160	170	155	178	172	173	179	175	164	176	180	181	183	182
	165	166	156	167	157	168	177	186	195	194	187	185	188	189	193	190	184	191	196	192
	197	198	202	199	200															
	25	20	201	6	1	21	19	22	2	23	24	4	27	3	5	13	14	7	15	28
	26	29	34	33	16	30	17	32	8	31	18	35	9	10	11	12	36	75	69	70
	42	71	83	112	111	41	110	37	38	39	72	73	74	62	63	64	65	76	40	54
	77	66	79	43	55	68	56	59	61	60	67	82	78	44	80	45	81	48	46	47
	84	57	58	85	90	49	86	91	88	87	89	51	52	53	50	92	94	96	93	95
	98	97	99	100	134	109	103	105	101	107	131	106	132	104	133	108	102	113	117	121
	204	171	120	115	124	174	118	169	125	116	205	163	114	123	161	203	130	119	122	126
	128	127	129	135	152	144	137	153	138	140	147	158	159	150	139	149	162	136	148	145
	154	146	141	142	143	155	156	157	151	160	170	172	164	173	184	175	165	176	179	166
	167	168	177	188	195	194	187	185	178	180	181	186	196	197	183	189	199	182	200	190
	193	198	202	191	192															
	20	201	6	1	21	25	22	19	23	24	28	29	34	26	2	30	32	3	33	4
	27	31	5	13	14	7	15	16	35	17	18	8	9	10	11	12	36	75	69	70
	62	41	110	112	111	72	83	42	37	63	64	65	40	54	68	38	39	55	59	66
	56	60	71	61	73	74	76	79	77	43	57	78	44	82	45	46	58	48	53	67
	47	80	51	81	52	84	49	85	50	86	88	87	89	90	91	92	94	96	93	95
	98	97	99	100	134	109	103	105	130	101	107	131	106	132	104	133	108	102	113	114
	124	205	204	171	161	174	118	169	122	116	163	115	162	123	125	119	117	121	120	203
	126	128	127	129	135	144	140	152	158	159	149	151	138	142	153	148	147	141	143	150
	137	139	145	136	154	146	155	160	170	156	172	184	157	164	173	179	175	165	176	166
	167	168	177	186	195	194	187	185	188	196	189	178	190	180	181	193	183	197	199	202
	198	200	182	191	192															

ตารางที่ ข.112 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25 201 6 1 21 19 20 22 2 23 24 4 28 26 29 34 33 3 5 13 14 7 15 30 8 31 16 32 9 27 35 10 11 12 17 18 36 75 69 70 42 71 37 112 111 41 62 72 73 74 40 76 43 77 44 78 38 82 39 79 83 110 63 64 68 65 66 45 46 53 54 67 55 59 56 60 57 80 48 81 49 47 84 50 85 90 58 51 91 88 86 52 89 87 61 92 94 96 93 95 98 97 99 100 134 109 103 105 130 101 102 104 107 131 106 132 108 113 114 121 115 162 204 203 171 118 161 169 163 133 124 205 117 119 122 174 116 123 125 120 126 128 127 129 135 152 144 137 147 136 140 153 150 151 148 158 159 142 149 145 139 154 146 155 141 143 156 138 160 170 157 179 172 184 178 164 173 165 180 166 167 168 175 176 177 186 195 194 187 185 196 183 188 189 191 190 192 197 193 199 200 198 181 202 182
	25 20 201 6 1 21 19 22 2 23 24 4 34 28 26 29 3 5 13 14 7 15 30 16 31 17 32 8 18 9 27 33 10 35 11 12 36 75 69 112 83 110 41 70 42 111 72 71 40 37 73 74 62 63 64 68 76 43 77 65 78 66 82 67 54 79 55 59 56 60 61 80 44 81 38 39 57 84 58 85 88 45 48 46 86 47 89 49 53 50 87 51 52 90 91 92 94 96 93 95 99 97 98 100 134 109 103 105 130 101 107 131 106 132 108 102 104 133 113 114 124 174 161 171 120 203 125 169 118 116 123 121 204 205 163 115 122 162 117 119 126 128 127 129 135 137 138 139 136 140 153 144 142 149 151 148 158 159 152 154 141 143 155 145 150 147 146 156 160 170 157 184 164 172 179 173 178 180 181 165 183 182 166 167 168 175 176 177 188 195 194 186 196 185 197 187 198 199 200 202 189 191 190 192 193
	25 20 201 6 1 21 2 22 19 23 24 4 27 3 28 5 13 14 7 15 29 34 33 16 30 8 31 17 32 9 18 10 11 12 26 35 36 75 69 112 111 41 70 71 72 73 74 37 76 79 40 78 83 110 38 39 77 42 54 82 55 59 56 60 57 62 61 63 64 65 66 58 67 68 80 43 81 44 84 45 85 90 53 88 48 46 49 86 51 87 50 91 47 89 52 92 94 96 93 95 98 97 99 100 134 109 103 105 101 107 131 106 132 108 102 104 133 113 114 124 205 117 120 203 171 204 174 118 130 162 169 122 119 116 125 161 163 115 123 121 126 128 127 129 135 152 144 137 147 136 148 153 145 158 159 141 139 142 146 151 140 143 154 150 138 149 160 170 155 178 156 172 184 157 164 173 179 175 165 176 180 181 182 166 167 168 177 188 195 194 187 185 183 196 186 189 191 190 192 197 193 198 199 202 200
	25 20 201 6 1 21 19 22 2 23 24 4 27 3 5 13 14 7 15 28 26 29 34 33 16 30 8 31 17 32 9 18 10 35 11 12 36 75 69 112 72 42 111 41 70 62 110 37 63 71 83 73 74 38 39 76 79 64 68 65 77 66 82 78 67 80 40 54 43 55 59 56 61 81 44 84 57 60 85 90 45 88 46 58 47 91 51 86 48 53 89 49 87 52 50 92 94 96 93 95 98 97 99 100 134 109 103 105 130 101 107 131 106 132 108 102 104 133 113 114 203 171 205 121 115 162 204 174 116 118 161 169 119 117 123 124 163 125 120 122 126 128 127 129 135 152 144 140 149 138 142 153 145 137 147 141 143 154 146 151 148 150 139 158 159 160 170 155 178 156 136 179 184 157 164 165 166 167 172 173 175 176 180 181 168 177 188 195 194 187 185 186 196 189 191 190 192 197 193 182 202 183 198 199 200

ตารางที่ ข.112 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	201	6	1	21	19	20	22	2	23	24	4	34	28	26	29	3	5	13	14
	7	15	30	8	31	16	32	9	27	33	17	35	10	18	11	12	36	75	69	112
	111	41	62	110	37	63	72	70	42	71	83	73	74	38	76	79	40	54	64	68
	65	77	66	82	55	78	59	56	60	57	67	61	80	43	39	81	44	84	45	85
	90	46	53	88	47	89	91	51	52	86	48	87	49	58	50	92	94	96	93	95
	98	99	97	100	134	109	103	105	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	114	205
	120	121	130	162	204	124	123	117	171	125	122	174	118	161	169	119	203	115	126	128
	127	129	135	152	145	136	150	139	163	116	149	142	144	137	153	146	151	138	140	148
	147	141	158	159	154	155	156	143	160	170	157	164	172	184	165	166	167	168	178	179
	173	175	180	176	183	177	186	195	194	187	185	196	188	189	181	197	193	198	202	182
	190	199	200	191	192															
	20	6	1	21	19	22	2	23	24	4	34	25	201	28	26	29	3	5	13	14
	7	15	30	8	31	27	16	32	9	17	33	10	35	18	11	12	36	75	69	42
	111	70	110	83	62	72	37	63	71	40	54	64	65	68	38	39	73	74	112	55
	59	56	43	57	76	79	60	77	66	82	67	61	41	78	44	80	58	81	45	84
	48	46	85	90	53	88	89	51	86	49	47	87	50	52	91	92	94	96	93	95
	98	97	99	100	134	109	103	105	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	114	124
	174	116	119	117	161	169	163	122	121	115	162	205	130	123	125	120	203	171	118	126
	129	204	128	127	135	152	144	137	147	148	153	145	150	151	139	142	146	140	149	138
	154	141	143	155	160	170	156	178	157	172	136	164	173	179	175	184	158	159	165	176
	180	166	167	168	177	186	183	188	195	194	187	185	196	189	191	190	192	197	181	202
	182	198	199	200	193															
	25	20	201	6	1	21	19	22	2	23	24	4	34	28	26	27	3	5	13	14
	7	15	29	33	16	30	8	31	17	32	9	18	10	35	11	12	36	75	69	62
	63	112	70	42	71	83	110	37	111	41	72	73	74	64	68	38	76	77	40	54
	82	39	78	55	59	56	60	57	43	79	58	65	61	66	44	67	80	45	81	48
	53	84	49	85	46	47	88	50	86	51	89	52	87	90	91	92	94	96	93	95
	98	99	97	100	134	109	103	105	130	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	114
	203	161	205	120	121	162	204	171	118	115	119	117	123	124	122	169	163	116	174	125
	126	128	127	129	135	152	144	137	150	140	138	145	136	147	142	148	153	141	143	154
	146	139	149	151	158	159	160	170	155	178	156	172	164	173	179	175	184	157	180	165
	176	166	167	168	177	188	195	194	187	185	186	196	183	189	181	197	182	202	193	199
	191	190	192	198	200															
	25	20	201	6	1	21	19	22	2	23	24	4	27	3	5	13	14	7	15	28
	26	29	34	33	16	30	8	31	17	32	9	35	18	10	11	12	36	75	69	70
	42	71	83	62	72	73	74	37	41	110	63	76	79	40	78	38	112	111	43	44
	77	39	64	68	82	45	48	53	54	49	51	52	50	46	55	61	59	56	60	57
	58	65	66	47	67	80	81	84	85	90	86	91	88	87	89	92	94	96	93	95
	99	97	98	100	134	109	103	105	101	107	131	106	132	108	102	104	133	113	114	124
	116	205	122	119	169	121	204	125	115	203	130	117	123	161	120	163	171	118	126	128
	127	129	135	152	144	137	147	141	174	148	162	153	145	136	158	159	138	139	140	149
	151	150	142	146	143	154	160	170	155	172	184	156	178	157	173	164	175	165	176	166
	167	168	177	186	195	194	187	185	179	188	196	197	180	199	189	191	190	192	198	202
	181	200	193	182	183															

ตารางที่ ข.112 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	1	21	19	6	201	2	3	20	22	4	23	24	34	28	26	29	27	5	33
	13	14	7	8	9	10	11	12	30	32	31	35	15	16	17	18	36	75	62	63
	72	83	64	65	111	41	68	37	40	38	42	54	43	66	67	55	112	59	44	60
	61	39	69	70	110	71	56	57	58	73	74	76	45	79	51	52	77	82	48	46
	53	78	47	49	80	50	81	84	85	90	86	88	91	87	89	92	94	96	93	99
	97	95	98	100	134	109	103	104	105	130	107	131	106	132	108	101	102	113	169	163
	174	118	161	171	120	119	115	162	204	203	133	123	116	124	121	125	122	126	117	128
	127	129	135	153	147	141	139	142	137	149	145	136	144	114	148	150	152	158	151	146
	205	159	138	140	143	154	160	170	155	178	156	172	184	173	157	175	164	179	165	166
	167	168	180	181	182	183	176	177	186	195	194	187	185	188	196	189	197	198	199	202
	200	193	191	190	192															

ตารางที่ ข.113 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2
	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1
	1	2	2	2	1	1	1	1	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4
	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	6	6	5	5
	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6
	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	6
	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	8	8	8	8	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8
	7	8	8	8	7															
	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2
	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	4	1	1	1	4	1	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	6	3	5	6	5	5	5	5
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5
	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6
	5	6	5	5	5	6	6	5	6	7	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7
	8	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8
	8	8	7	8	8															

ตารางที่ ข.113 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1
	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	4
	1	1	4	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	5	6	5	5	6	6	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6
	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	6	6	5	5	6	6	5	6	7	8	7	7	8	7	7	8	7	8	7
	7	7	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	8	7	7	8
	8	8	8	8	7															
	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2
	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1
	4	4	1	4	1	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3
	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	5	4	6	5	6	5	5	5	6
	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6
	5	5	5	5	5	6	6	5	8	7	7	7	7	7	8	7	7	7	7	7
	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	8	7
	8	8	7	8	8															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	3	4
	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6
	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	8	7	8	7
	8	7	7	7	7	8	8	8	8	7	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8
	8	8	8	7	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	8
	8	8	7	8	7															
	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	4	1
	4	4	1	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	4
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	5	5	6	6	6	5	5	5	5
	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5
	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	7	7	8
	8	8	7	7	8	7	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	8
	8	8	7	8	7	8	8	7	7	8	8	7	8	7	7	8	7	8	8	7
	8	8	7	8	7															

ตารางที่ ข.113 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2
	4	4	1	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	5	5	6	5	5	5	6
	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	7	8	8
	7	7	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7	7	7	8	8	7	8	7	8
	8	8	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	8
	8	8	7	7	7															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1
	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	1	3	4
	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3
	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5
	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	7	7	6	6	8	8	8	7	8
	7	7	8	8	8	7	7	8	7	7	7	7	8	7	7	7	8	7	7	8
	7	7	8	8	8	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8	8	8	8	7
	7	8	7	7	8															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1
	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	4	1	1	1	1	4	3
	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	7	6	6	7	8	7	7	8
	7	7	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	7	8	7
	7	7	7	8	8	8	8	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	7	7	8
	8	8	8	7	8															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	3	4	3	3	3
	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4
	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6
	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	5	7	8	7	7	7	8	7	8
	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	7	7	8	8	8	8	7	7
	7	7	7	7	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7	8	7	7	8	8	7
	7	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.113 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1
	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	3	4	3	4	3	3
	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5
	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5
	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	8	5	7	8	7	7	8	8	7	8
	7	7	8	8	8	8	8	7	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	7	7
	7	7	7	7	7	8	8	7	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7	7
	7	8	8	8	7															
	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1
	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	4	4
	4	4	1	4	1	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3
	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5
	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	7	8	8	8	7	7	7	8	8
	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	7	7	7	7	8	8	8	7
	7	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7	7	8	7	7
	7	8	8	8	8															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1
	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	4	3	4
	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3
	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5
	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	6	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	7	7	7	7	6	7	7	7	8
	7	8	8	8	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	7	8	7	8
	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8
	8	7	8	8	8															
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	4	1	3	3
	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4
	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5
	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	7	7	8	8	8	8	7	8
	8	8	7	7	7	8	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7	8	7	8
	8	8	7	8	7	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8	8	7	7	8	7
	7	8	8	7	7															

ตารางที่ ข.113 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2
	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	4	1	4
	4	1	1	1	4	1	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	5	5	6	5	5	5	5	5	6
	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5
	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	7	7	8	8	7	8	8	7
	8	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	7	8	8
	8	8	7	7	7	7	7	8	8	7	8	8	7	7	8	8	8	8	8	7
	8	8	8	7	7															

4.1.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.114 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	25	6	19	21	1	20	2	4	3	5	7	13	14	15	16	17	18	201	8	22
	23	24	27	26	34	28	29	33	30	31	32	35	9	10	11	12	36	83	112	37
	38	39	110	111	72	75	69	62	40	63	41	42	43	44	45	46	47	48	51	52
	53	70	71	73	74	76	78	79	77	82	54	55	59	56	57	61	58	60	49	50
	64	68	65	66	67	80	81	84	85	90	88	86	87	91	89	92	97	94	93	96
	98	95	99	100	101	131	134	102	103	104	130	132	133	105	106	107	108	109	113	115
	114	203	204	118	171	123	122	120	163	116	169	205	162	124	125	119	174	161	121	126
	128	129	127	135	153	152	136	139	150	144	149	140	147	151	154	158	137	142	141	143
	155	156	138	159	145	146	148	157	117	160	184	170	172	179	173	175	176	178	180	183
	181	182	164	165	166	167	168	177	194	188	186	187	185	189	191	192	193	195	196	197
	202	198	190	199	200															
	20	19	21	6	25	2	1	3	22	23	24	34	28	29	33	26	30	31	27	32
	35	201	4	5	7	8	13	14	9	10	11	12	15	16	17	18	36	40	42	111
	72	43	44	62	54	55	59	61	112	41	56	57	58	69	60	110	70	71	73	74
	76	78	79	77	82	63	64	65	68	75	37	38	39	45	51	52	53	48	49	50
	46	47	83	66	67	80	81	84	85	88	86	87	89	90	91	92	97	96	94	98
	95	93	99	100	105	106	103	131	107	109	104	134	101	102	130	108	132	133	113	203
	119	118	117	120	169	124	125	161	121	204	174	115	122	205	162	114	116	123	126	128
	129	127	135	138	150	148	145	137	140	152	146	141	149	158	139	144	136	153	151	147
	159	142	143	160	178	184	170	163	164	165	166	167	168	154	155	156	157	171	172	173
	175	176	177	187	195	186	194	185	188	189	193	190	191	192	179	180	183	181	182	196
	197	199	202	200	198															

ตารางที่ ข.114 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	25	21	6	1	2	4	3	5	13	7	8	14	15	16	17	18	201	9	10
	11	12	20	22	23	24	28	27	34	29	33	30	31	32	26	35	36	62	72	83
	42	37	69	70	110	63	64	65	66	68	38	39	112	111	41	71	73	74	76	79
	78	40	54	55	56	61	59	60	57	58	43	44	45	46	53	47	48	49	51	50
	77	82	75	52	67	80	81	84	85	86	87	90	91	88	89	92	94	93	96	95
	98	97	99	100	103	104	131	132	109	134	105	107	106	108	130	133	101	102	113	124
	121	118	163	117	205	169	122	162	161	115	204	125	120	116	123	171	203	119	126	127
	128	129	135	139	145	138	149	153	147	142	141	148	136	140	158	150	151	144	146	143
	152	114	159	137	160	164	184	165	166	167	170	172	168	178	173	179	180	183	181	154
	155	156	157	182	174	175	176	177	186	195	194	185	187	196	197	199	200	198	202	188
	189	191	192	190	193															
	1	19	201	20	25	6	21	22	23	34	24	26	28	29	33	27	30	32	31	35
	2	3	4	5	13	14	7	8	9	10	11	12	15	16	17	18	36	75	112	41
	42	83	69	70	71	37	38	111	39	40	110	43	44	45	46	53	48	49	50	51
	52	47	72	73	74	76	77	79	78	82	54	55	56	57	58	59	60	61	62	63
	64	65	66	67	68	80	81	84	85	90	86	91	87	88	89	92	96	98	99	94
	95	93	97	100	105	131	130	107	132	133	103	104	101	102	109	106	108	113	203	118
	122	123	117	171	169	120	163	162	116	124	125	115	204	114	121	119	126	129	127	205
	134	174	161	128	135	138	149	141	136	145	140	146	147	153	137	154	152	158	159	142
	143	144	150	139	148	155	156	157	151	160	170	172	184	178	179	180	181	183	182	164
	165	166	167	168	173	175	176	177	195	188	187	185	196	194	197	202	198	186	189	191
	193	190	199	200	192															
	6	25	201	1	19	21	2	20	22	23	24	27	26	28	29	30	31	32	33	3
	34	35	4	5	13	7	8	9	10	11	12	14	15	16	17	18	36	75	69	40
	37	42	43	72	44	54	111	112	62	63	64	65	68	83	55	59	60	56	61	57
	58	70	71	73	74	76	79	77	78	82	110	41	66	67	80	81	84	85	86	88
	90	91	89	87	38	39	45	51	52	53	48	46	47	49	50	92	94	97	99	93
	95	96	98	100	130	103	104	134	105	106	107	108	131	132	133	109	101	102	113	171
	116	117	162	205	114	174	169	161	163	123	124	204	115	120	119	122	121	203	125	118
	126	127	129	128	135	137	151	152	144	153	148	141	149	154	150	138	136	145	146	155
	156	157	139	140	147	142	143	160	179	178	180	181	170	172	173	175	184	183	164	182
	158	159	165	166	167	168	176	177	188	187	185	195	196	186	189	193	191	190	192	194
	197	199	202	200	198															
	6	1	2	20	25	19	4	21	22	23	24	27	28	29	30	31	33	32	34	26
	35	3	5	13	7	14	8	9	10	11	12	15	16	17	18	36	111	42	112	110
	69	70	83	72	75	71	73	74	76	78	79	77	82	37	38	39	40	43	54	55
	56	59	60	61	57	58	41	62	63	64	68	65	66	67	80	81	84	85	88	90
	91	86	87	89	44	45	53	48	49	46	47	50	51	52	92	96	95	93	94	99
	98	97	100	134	109	130	103	131	132	133	104	105	107	106	108	201	101	102	113	161
	120	171	174	204	123	169	116	124	125	114	163	119	118	115	162	122	117	205	203	121
	126	128	127	129	135	137	152	147	138	148	158	153	154	150	136	141	140	149	155	145
	144	159	156	146	142	143	151	139	160	184	178	164	165	166	167	168	170	179	180	181
	182	172	173	175	183	176	177	186	187	185	194	195	196	197	199	200	198	202	188	157
	189	190	193	191	192															

ตารางที่ ข.114 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	2	4	3	6	21	25	1	19	20	22	23	24	26	27	34	28	5	13	14	15
	16	7	8	9	10	17	18	11	12	29	30	31	32	33	35	36	75	110	41	40
	62	69	111	83	37	38	39	72	112	63	64	68	65	66	67	70	71	73	74	76
	79	78	77	82	80	81	84	85	88	89	90	91	86	87	42	54	55	56	61	59
	60	43	44	45	53	46	51	48	49	50	52	57	58	47	92	93	99	96	97	98
	100	134	131	105	103	101	102	106	104	130	109	95	94	132	133	107	108	113	119	123
	171	121	205	124	117	125	114	115	120	203	161	204	118	169	122	126	129	128	127	135
	147	141	142	140	143	136	138	152	153	154	155	156	137	157	148	144	150	158	159	149
	145	146	151	139	162	174	116	160	170	184	179	178	180	183	181	172	173	175	176	182
	201	163	164	165	166	167	168	177	186	195	196	187	185	188	189	193	190	191	192	194
	197	198	202	199	200															
	21	1	19	20	2	4	201	3	5	7	22	23	24	26	27	13	14	15	16	25
	28	29	30	32	31	33	8	6	34	17	18	35	9	10	11	12	36	69	70	110
	72	112	83	71	111	40	42	73	74	41	75	43	76	78	79	44	77	82	54	55
	56	57	58	59	60	61	62	63	64	68	37	38	65	66	67	80	81	84	85	90
	91	88	89	86	87	39	45	53	46	48	49	47	50	51	52	92	95	99	94	98
	93	96	97	100	134	103	101	131	104	130	109	132	133	105	106	107	108	102	113	204
	174	161	114	115	171	120	117	124	162	121	169	119	118	116	125	123	122	126	128	127
	203	205	129	135	148	153	142	144	140	137	152	138	149	150	141	143	151	136	147	145
	158	159	154	155	156	157	146	139	160	170	172	178	173	175	176	179	180	181	182	183
	184	163	164	165	166	167	168	177	186	194	195	187	196	197	202	198	185	199	200	188
	189	193	190	191	192															
	201	19	2	3	4	5	7	8	9	10	6	21	20	22	13	14	1	15	23	34
	24	26	27	25	28	11	12	16	17	18	29	30	33	31	32	35	36	41	40	111
	42	54	43	44	83	37	38	39	45	48	110	75	49	50	51	52	69	70	71	72
	73	74	76	79	78	77	82	55	61	56	57	58	53	112	62	63	64	65	68	46
	47	66	67	80	81	84	85	90	91	88	89	59	60	86	87	92	96	97	94	95
	98	99	93	100	109	134	101	102	103	104	105	107	106	108	131	132	133	113	123	117
	203	205	124	125	122	169	161	114	118	116	119	204	115	174	171	163	130	120	121	126
	128	127	129	135	140	153	154	142	152	155	144	136	137	156	157	145	146	139	148	151
	138	158	159	141	147	143	149	150	160	164	184	179	170	172	173	175	176	178	180	181
	182	183	162	165	166	167	168	177	194	188	186	187	195	196	197	202	199	198	200	185
	189	193	191	190	192															
	25	19	6	20	201	2	3	4	5	13	7	8	14	9	10	11	12	15	16	17
	18	21	22	23	24	26	27	28	34	29	30	31	33	32	35	1	36	75	62	63
	42	64	37	38	69	70	65	66	67	40	72	41	54	55	61	56	57	58	59	83
	43	44	68	112	60	111	110	71	73	74	39	45	48	46	53	51	47	49	50	52
	76	77	82	79	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	94	99	96	98
	95	97	100	105	109	101	106	103	107	108	102	130	134	131	104	132	133	93	113	171
	161	121	120	116	174	163	162	117	119	118	203	122	204	115	124	125	205	169	123	126
	128	127	129	135	142	152	149	147	136	153	158	145	146	159	144	154	141	151	138	137
	150	155	156	157	148	140	143	139	114	160	179	170	184	164	178	172	173	180	181	183
	182	165	166	167	168	175	176	177	195	187	196	185	186	188	189	191	193	190	192	194
	197	199	200	198	202															

ตารางที่ ข.114 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	2	21	1	20	22	4	25	19	3	201	6	23	34	24	28	26	29	33	30	31
	32	5	7	8	13	14	9	10	11	12	27	35	15	16	17	18	36	111	37	83
	69	70	42	62	38	39	63	64	65	66	67	41	75	68	71	72	73	74	76	78
	79	77	80	82	81	84	85	90	91	86	88	89	87	112	110	40	43	44	45	48
	49	50	46	47	51	52	53	54	55	61	59	60	56	57	58	92	97	96	98	95
	94	99	93	100	109	103	101	102	104	134	105	106	107	130	131	132	133	108	113	161
	163	204	174	124	122	203	125	205	120	119	114	121	162	123	169	115	116	171	118	126
	129	127	128	135	136	141	151	153	154	155	156	157	148	152	138	147	149	145	137	139
	142	144	158	159	150	146	140	143	117	160	178	164	165	170	172	184	166	167	168	173
	175	176	177	187	195	196	186	185	179	180	183	181	182	194	197	198	199	202	200	188
	189	190	193	191	192															

ตารางที่ ข.115 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	2	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1
	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	2	2	2	2	2	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	6	3	3	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	6
	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5
	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	7	7	7	6	7	7
	7	7	6	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	8	7	8	8															
	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2
	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	4	1	1	1	1
	1	1	4	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	6	6	3	3	6	3	6	6	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5
	6	5	5	6	7	7	7	6	6	8	8	8	8	8	7	8	7	7	7	7
	7	7	8	8	7	8	8	7	7	8	8	7	8	7	7	7	7	7	7	8
	8	8	7	8	8															

ตารางที่ ข.115 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1
	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	4
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	3	4	3	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5
	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5
	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5
	5	5	6	6	6	8	7	8	8	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	8
	8	8	7	7	7	7	7	8	8	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7	7
	7	8	7	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	2	2	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	4	6	6	3	6	3	3	5	5	5	5	5	6
	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5
	5	8	8	5	8	7	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	8
	8	8	8	8	7	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8	8	7	8
	8	7	8	8	7															
	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	4	4	4	4
	4	1	1	1	1	1	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4
	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	5	6	6	5	5	5	5	5
	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	8	5	8	5	7	7	7	8
	8	7	8	7	7	7	7	8	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	8	7
	8	8	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	8	7	7	8
	8	8	7	8	8															
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2
	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	4	1	1	1	3	3	4	4
	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4
	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4
	4	4	4	4	3	4	3	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6
	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	7	8	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7
	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	7
	7	7	7	7	7	7	8	8	8	7	8	7	8	8	8	8	8	7	7	7
	7	7	8	8	7															

ตารางที่ ข.115 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1
	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2
	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	3
	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	4
	4	4	3	5	4	4	4	5	4	4	4	4	6	6	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	7	6	6	6	8
	8	7	8	7	8	7	8	8	7	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8
	8	8	7	8	8															
	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	4	1	1	1	4	1	3	3	4	4
	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3
	4	3	3	3	4	3	3	5	4	4	4	6	6	5	5	5	5	5	5	5
	5	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6
	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	8	8	7	7	8	7	7	8
	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	8	7	8	7	8	8	7
	7	8	7	8	7															
	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2
	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	4	3	3	6	3	3	3	6	3	3	5	5	5	6	6	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6	6
	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	7	7	6	8	8	8	7	8	8	7
	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	7	7	8	7	7
	7	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8	8	7	8	8	7	8	8	8	7
	7	8	8	7	7															
	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1
	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	4	1
	1	1	1	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	6	5	6	6	6	6	5	5
	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6
	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	8	5	7	7	7	8
	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	8	8	7	7	8
	8	8	8	8	7															

ตารางที่ ข.115 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2
	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	3	3
	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4
	3	4	4	3	3	3	3	4	4	6	3	5	5	6	5	6	6	5	5	6
	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	6
	5	6	6	5	5	5	6	5	6	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8
	7	8	8	8	8	7	7	7	7	7	8	8	8	7	7	7	8	8	8	7
	7	7	7	8	7	8	8	7	7	7	7	7	7	8	8	8	8	7	8	7
	8	7	8	8	7															

4.1.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.116 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	25	201	6	1	21	19	20	22	2	23	24	27	3	26	28	29	33	4	34	30
	31	5	13	14	7	15	32	8	35	9	10	11	12	16	17	18	36	75	62	41
	112	111	72	83	110	63	42	69	40	54	43	55	61	56	59	57	37	70	71	38
	60	39	73	74	58	76	44	77	45	79	51	53	48	49	64	46	78	47	52	68
	65	82	66	50	67	80	81	84	85	90	86	91	88	87	89	92	94	96	93	97
	95	98	99	100	134	109	103	104	101	102	131	130	132	105	107	133	106	108	113	114
	124	174	116	119	117	161	163	115	122	121	204	171	120	203	125	123	169	118	126	128
	127	129	135	152	144	150	138	140	145	136	149	148	137	153	142	146	139	158	159	151
	147	162	205	141	143	154	160	170	155	178	156	172	184	157	173	164	179	175	165	176
	166	167	168	177	186	188	195	194	187	185	180	181	182	189	183	196	191	192	197	193
	199	200	202	190	198															
	1	20	19	21	22	2	23	24	201	27	3	26	6	34	25	28	29	30	32	31
	33	35	4	5	7	8	13	14	15	16	17	18	9	10	11	12	36	75	41	110
	111	83	42	72	40	54	55	59	112	62	60	43	56	63	64	68	65	61	44	57
	58	37	66	69	70	67	38	71	39	73	74	76	45	78	51	52	53	77	79	48
	46	80	49	82	50	81	47	84	85	90	88	89	91	86	87	92	95	94	96	93
	97	99	98	100	134	130	101	103	102	131	104	132	105	133	106	107	109	108	113	117
	121	174	120	124	161	163	171	125	162	123	205	204	115	169	119	114	118	116	122	203
	126	128	127	129	135	144	147	149	150	145	139	151	152	137	158	159	140	138	153	148
	146	141	154	142	143	160	170	184	155	178	156	179	180	157	172	164	173	165	175	181
	136	183	166	176	182	167	168	177	188	194	195	187	185	196	197	199	198	200	202	186
	189	191	190	192	193															

ตารางที่ ข.116 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1 20 19 25 21 22 2 23 24 201 28 34 29 27 3 26 6 33 30 32 31 35 4 5 7 13 14 15 16 17 18 8 9 10 11 12 36 75 62 69 63 72 111 40 41 110 83 42 54 55 59 43 56 57 44 58 37 112 70 71 60 73 64 68 65 61 74 66 76 38 67 79 39 77 45 78 48 82 51 80 52 81 46 49 47 84 50 85 90 91 86 53 87 88 89 92 95 94 96 93 98 99 97 100 134 109 105 101 103 102 131 104 132 106 133 107 108 113 117 121 114 118 204 115 169 120 124 119 122 116 163 171 125 123 162 205 203 161 130 126 128 127 129 135 144 147 149 152 140 138 151 136 158 159 141 148 145 139 153 142 143 146 150 154 155 174 137 160 170 184 156 179 172 164 173 157 165 175 166 176 167 168 177 188 186 187 185 189 178 190 180 191 183 192 181 193 182 195 196 194 197 202 199 200 198 1 20 19 25 21 22 2 23 201 24 3 26 6 28 27 29 30 32 31 33 34 35 4 5 7 8 13 9 10 11 12 14 15 16 17 18 36 75 111 69 41 83 42 40 54 55 70 59 43 56 62 112 61 44 110 57 71 37 60 72 73 74 38 39 58 76 63 64 68 65 77 82 45 78 51 48 79 53 46 49 47 50 66 52 67 80 81 84 85 90 88 91 86 89 87 92 95 94 96 93 98 99 97 100 134 109 105 101 103 102 131 104 132 107 133 106 108 113 117 116 124 122 120 125 205 115 169 123 114 118 171 130 162 121 163 204 174 161 119 126 128 127 129 135 144 147 149 152 148 153 136 203 154 151 145 139 146 138 142 137 150 140 141 158 159 155 143 160 170 184 156 172 164 173 179 175 157 165 176 178 166 180 167 168 177 188 186 187 185 183 189 195 193 196 191 190 181 182 192 194 197 202 198 199 200 1 20 19 25 21 22 2 23 24 201 28 3 26 34 29 30 32 31 33 6 27 35 4 5 7 8 9 10 11 12 13 14 15 16 17 18 36 75 62 69 63 64 68 72 111 112 70 71 37 38 73 39 74 110 76 42 78 83 77 65 79 40 54 55 82 61 56 66 41 43 57 58 59 60 44 67 80 45 53 46 48 49 50 81 47 84 85 90 88 91 86 89 51 87 52 92 95 94 96 93 98 99 97 100 134 109 105 101 103 102 131 104 132 107 133 106 108 113 123 115 162 119 203 130 117 120 114 124 161 121 174 171 118 125 116 169 204 122 205 163 126 128 127 129 135 144 147 136 158 159 141 138 153 149 152 150 137 140 148 145 139 146 142 143 151 154 160 170 184 155 178 156 172 173 157 175 164 176 165 166 167 168 177 188 186 194 195 187 185 189 196 193 197 199 200 198 190 179 180 191 183 192 181 202 182 1 20 19 25 21 22 2 23 24 3 26 34 6 27 28 29 30 32 31 33 35 4 5 7 8 13 14 15 16 17 9 10 11 12 18 36 75 41 110 69 37 38 70 71 111 83 40 42 54 55 59 43 61 112 62 60 63 64 68 65 72 73 39 74 66 76 56 77 67 57 82 78 44 58 79 45 80 51 81 53 84 52 85 90 91 86 48 49 46 47 88 201 50 89 87 92 95 94 96 93 98 99 97 100 134 130 101 103 102 131 104 132 109 105 133 106 107 108 113 124 203 169 123 121 114 118 125 119 163 115 122 204 117 120 171 205 161 174 116 126 128 127 129 135 144 147 149 152 153 150 162 140 138 141 158 159 137 148 145 139 146 142 143 151 136 160 170 184 154 179 155 178 156 172 164 173 157 165 175 166 176 180 167 168 177 188 186 194 187 185 189 195 191 183 192 196 193 181 197 202 199 182 200 198 190

ตารางที่ ข.116 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	20	19	25	21	22	201	6	23	24	2	26	34	28	3	29	30	32	31	33
	27	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	40	41
	110	111	112	62	69	63	64	68	65	42	54	55	59	37	60	43	61	38	83	70
	71	56	66	72	73	39	74	57	44	58	45	48	46	67	49	47	51	76	50	79
	53	77	78	80	52	81	84	85	90	88	91	86	89	87	82	92	95	94	96	93
	99	98	97	100	134	109	105	101	103	102	131	104	132	106	133	107	108	113	117	120
	124	204	115	130	161	121	205	123	122	119	114	118	125	162	126	128	127	129	135	144
	147	136	116	149	152	140	171	151	203	174	139	153	148	145	137	169	154	141	146	158
	159	150	163	142	143	155	138	160	170	184	156	172	157	173	179	175	164	176	165	166
	178	167	168	177	188	187	185	180	194	195	183	196	186	189	181	191	190	182	192	197
	202	198	199	193	200															
	1	20	19	25	21	22	2	23	24	201	27	3	26	6	28	29	34	30	32	31
	33	35	4	5	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	36	75	111	62
	37	112	40	41	110	63	64	68	65	72	83	38	39	42	54	55	59	43	56	66
	61	60	69	67	70	71	57	73	44	74	58	76	45	78	51	48	77	52	82	49
	46	47	79	53	80	81	50	84	85	90	88	91	86	89	87	92	95	94	96	93
	98	99	97	100	134	105	101	103	102	131	104	132	106	133	109	107	108	113	123	122
	121	130	203	120	114	118	116	124	117	161	163	119	174	115	169	204	205	171	125	162
	126	128	127	129	135	144	147	149	152	151	148	145	139	146	141	142	150	136	140	153
	143	137	138	160	170	184	154	164	158	159	178	172	155	173	165	175	166	176	179	156
	180	157	167	168	177	188	186	194	195	187	185	189	196	191	190	183	192	197	202	193
	181	199	182	200	198															
	1	20	19	25	21	22	201	23	24	2	28	29	34	30	26	6	27	3	33	32
	31	35	4	5	13	14	15	16	17	7	8	9	10	11	12	18	36	75	62	37
	72	110	111	40	63	64	112	41	83	42	54	55	59	38	60	43	56	68	65	61
	44	66	57	58	67	69	70	71	39	73	74	76	45	78	48	77	51	52	82	46
	49	47	50	53	79	80	81	84	85	90	88	91	86	89	87	92	95	94	96	93
	97	99	98	100	134	109	105	101	103	102	131	104	132	107	133	106	108	113	124	174
	171	125	162	121	115	204	120	114	205	117	161	116	122	119	163	169	123	130	203	118
	126	128	127	129	135	144	138	152	140	137	150	145	147	149	151	136	158	159	141	146
	153	148	142	154	143	155	139	160	170	184	156	172	157	173	164	175	179	176	165	178
	180	166	183	167	168	177	188	186	194	187	185	189	181	191	190	182	192	193	195	196
	197	202	199	200	198															
	1	20	19	25	21	6	201	22	2	23	34	24	3	26	4	5	7	8	13	9
	10	28	29	33	27	30	32	31	35	14	15	16	17	18	11	12	36	75	110	111
	69	62	112	70	71	41	72	73	63	64	68	65	83	74	76	66	78	40	79	42
	54	55	59	43	77	67	80	60	81	61	84	56	44	82	37	57	58	38	85	90
	88	91	39	89	45	46	48	86	53	87	51	47	52	49	50	92	95	94	96	93
	98	97	99	100	134	130	101	103	102	131	104	132	105	107	133	106	108	109	113	117
	174	122	203	121	123	205	204	124	161	119	163	171	120	114	118	125	169	116	126	128
	127	129	135	144	147	149	153	136	138	140	148	145	139	137	158	159	146	151	141	154
	142	143	162	152	115	155	150	160	170	184	156	179	178	157	172	164	165	166	180	181
	167	168	182	183	173	175	176	177	188	186	194	195	187	185	189	196	193	190	197	191
	199	192	198	200	202															

ตารางที่ ข.117 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2
	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	4	1	1	1	4	1	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4
	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	6	3	5	6	5	5	5	5
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6
	5	
	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6
	5	6	5	5	5	6	6	5	6	7	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7
	8	8	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8
	8	8	7	8	8															
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	2	2	2	2	4	1	4	1	4	1	1	1	1	4	1	4
	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	6	5	6	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6
	5	5	6	5	5	6	7	7	8	7	8	7	7	7	7	8	7	8	7	7
	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8	8	8	8	8	8	8	7	8
	7	8	7	7	8															
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	4	1	1
	4	1	1	1	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4
	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	6
	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	8	7	7	7
	7	7	8	8	8	7	7	7	7	7	8	7	7	8	7	8	8	7	8	7
	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7
	8	7	8	8	8															
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	4	4	1	1	4	1
	1	1	1	1	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3
	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	6
	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6
	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	7	8	7	8	7	8
	8	7	7	8	8	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	7	8	8	7	8
	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	8	8	7	7	7	7	8
	8	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.117 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	
	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	4	1	3	
	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	5	
	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	
	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	8	7	
	8	7	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8	8	
	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	8	8	8	8	8	8	7	7	7	8	
	7	7	7	7	7																
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	4	1	4	1	1	1	1	
	1	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	
	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	5	4	6	5	5	6	5	5	5	5	5	
	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	
	5	6	6	5	6	5	8	5	5	8	8	5	5	7	8	8	7	8	7	8	
	7	7	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	
	7	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8	7	8	7	
	8	7	8	8	7																
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	
	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	1	4	1	4	1	1	1	
	1	4	1	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	
	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	5	
	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	
	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	8	7	8	7	8	7	7	8	
	8	8	8	7	7	8	8	8	7	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8	8	
	8	8	8	7	7	8	7	7	8	7	7	8	8	8	7	8	7	7	7	8	
	7	8	8	8	8																
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	
	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	4	1	4	1	
	4	4	1	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	
	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	5	5	
	5	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	7	8	7	7	7	8	7	7	7	
	7	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	8	
	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	8	8	7	7	8	8	7	8	
	7	8	7	8	8																

ตารางที่ ข.117 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1
	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	4	1	4	1	4	1	1	4
	1	1	4	4	1	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3
	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	5	4	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	7	7	6	8	7	8	8	7	7
	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	8	7	7	7	8	8
	7	8	7	8	8	7	7	8	8	8	7	8	7	8	7	7	7	8	7	8
	8	7	8	8	8															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1
	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	4	1	1	3	3	3	4	3
	4	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4
	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	5	4	6	5	5	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5
	6	6	5	6	5	8	5	5	5	5	8	7	8	7	8	8	7	8	7	8
	7	7	8	7	8	8	8	7	7	7	8	7	7	8	7	8	8	8	7	7
	8	8	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	7	8	8	8	7	8	8
	8	7	8	8	7															

4.1.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.118 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

ลำดับขั้นงาน	1	25	20	21	201	22	23	34	24	2	28	3	29	30	33	32	31	27	19	26
	6	35	4	5	13	7	8	9	14	15	16	17	18	10	11	12	36	75	41	83
	110	69	72	40	112	111	70	62	42	71	54	55	56	59	61	60	57	37	38	73
	43	74	76	44	78	63	64	68	79	39	77	45	65	58	48	82	53	49	46	66
	50	67	80	51	81	47	84	52	85	90	91	88	86	89	87	92	95	94	98	93
	99	96	97	100	103	134	104	101	102	105	131	132	106	133	107	108	130	109	113	203
	161	205	124	163	115	169	114	204	171	121	120	125	162	123	118	119	117	174	122	116
	126	129	128	127	135	144	138	158	159	140	151	152	148	149	147	150	142	141	139	143
	137	136	145	146	153	160	154	184	170	155	178	156	172	157	164	165	166	167	168	173
	175	176	179	177	186	185	180	194	187	188	189	191	183	193	181	182	190	192	195	196
	197	198	199	200	202															

ตารางที่ ข.118 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	19	21	201	25	20	22	23	34	24	2	28	3	26	6	29	30	33	32	27
	31	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	62	112
	63	64	40	41	72	69	70	65	83	68	37	111	71	73	74	42	54	55	56	59
	61	66	43	76	79	38	60	77	57	44	78	110	39	82	58	67	45	80	48	49
	53	81	46	50	84	47	85	90	88	91	51	89	52	86	87	92	95	99	96	93
	98	97	100	103	134	130	109	104	101	102	105	131	132	106	133	107	108	113	114	163
	117	162	124	120	161	205	121	122	116	204	171	123	94	174	118	125	115	169	203	119
	126	129	127	128	135	144	152	147	139	150	138	142	151	145	149	146	158	159	136	140
	137	141	143	148	153	160	184	170	172	173	154	175	155	176	179	156	178	180	181	182
	183	157	164	165	166	167	168	177	195	194	196	185	187	188	197	202	186	199	200	189
	191	190	192	198	193															
	1	21	201	25	20	22	23	19	24	2	28	3	29	30	33	32	6	27	34	31
	26	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	37	110
	111	38	62	112	63	69	70	64	68	41	83	72	65	42	71	73	39	74	76	66
	77	40	79	54	78	43	82	44	67	80	55	56	59	61	57	81	60	84	45	58
	85	90	91	88	89	86	46	87	47	48	49	53	50	51	52	92	95	94	96	99
	93	98	97	100	103	134	104	101	102	105	107	131	132	106	133	108	130	109	113	117
	203	123	204	115	124	171	174	122	163	114	120	162	205	161	169	119	118	125	116	121
	126	129	127	128	135	144	138	149	147	136	140	152	148	153	145	154	141	146	158	159
	151	150	142	143	139	155	137	160	184	170	156	172	157	173	175	164	179	176	178	165
	166	167	168	177	195	194	187	186	185	180	196	197	183	202	181	182	198	199	200	188
	189	191	192	193	190															
	1	21	201	25	20	22	23	34	24	2	28	3	26	6	29	30	33	32	31	27
	19	35	4	5	13	14	7	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	75	62	72
	111	41	110	69	70	112	63	83	64	68	40	42	54	55	56	59	65	66	43	71
	37	67	61	38	60	57	44	73	74	76	39	79	45	77	48	82	53	78	51	80
	52	81	49	84	58	50	85	90	91	88	46	86	87	47	89	92	95	94	96	97
	98	93	99	100	103	134	104	105	107	131	132	106	133	108	130	101	102	109	113	204
	171	123	114	119	116	122	115	169	161	117	203	205	121	162	124	120	125	174	118	126
	129	127	128	135	144	138	149	163	147	150	151	152	148	153	139	140	154	136	158	159
	141	155	145	137	142	146	156	143	160	184	170	157	164	179	172	173	165	166	167	168
	175	176	178	177	186	185	180	187	194	183	188	189	191	190	192	181	193	182	195	196
	197	202	198	199	200															
	1	21	201	25	20	22	23	19	24	2	28	3	29	6	27	34	30	33	32	26
	31	35	4	5	13	7	14	8	9	10	11	12	15	16	17	18	36	75	62	112
	72	83	110	41	42	40	54	55	56	59	61	43	60	57	37	111	58	63	38	44
	64	68	69	70	71	73	39	74	76	79	77	45	53	82	46	78	51	52	65	48
	49	47	50	66	67	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	95	94	96	97
	93	99	98	100	103	134	104	101	102	105	107	131	132	106	133	108	130	109	113	205
	123	114	163	162	121	124	171	116	204	115	120	161	122	203	119	174	118	125	126	129
	127	128	135	144	148	136	137	158	159	140	152	147	149	139	153	145	154	141	146	155
	150	156	117	169	142	143	157	151	138	160	184	170	172	178	173	175	164	179	176	165
	166	167	168	177	195	194	187	186	185	180	188	189	193	183	196	197	191	190	192	198
	202	181	182	199	200															

ตารางที่ ข.118 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	201	25	20	22	23	34	19	24	2	28	3	29	30	33	32	26	6	27
	31	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	37	111
	42	38	62	112	63	69	70	41	71	64	68	65	83	110	66	39	67	72	73	74
	76	40	54	79	55	56	59	61	57	43	60	77	44	78	58	80	45	82	53	81
	48	84	46	85	90	91	88	47	86	87	49	50	51	89	52	92	95	94	96	97
	93	98	99	100	103	134	130	109	104	101	105	107	131	132	106	133	108	102	113	114
	120	169	203	163	174	204	115	124	125	116	162	205	117	123	121	122	171	118	161	119
	126	129	127	128	135	144	138	149	139	137	150	147	153	145	152	148	140	151	146	142
	154	141	155	136	158	159	143	156	160	184	170	157	178	172	179	173	175	164	176	165
	166	167	168	177	194	187	186	185	180	188	189	191	190	192	181	182	183	193	195	196
	197	202	198	199	200															
	1	21	201	25	20	22	23	19	24	2	28	3	29	30	33	32	27	34	31	26
	6	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	75	62	112
	63	69	70	71	64	68	37	111	41	110	83	40	72	73	74	38	76	39	79	42
	54	78	55	56	59	61	43	57	44	58	65	60	66	77	45	82	53	67	48	49
	80	51	81	52	84	46	85	90	50	91	88	89	86	47	87	92	95	94	96	97
	93	99	98	100	103	134	104	101	102	105	107	131	132	106	133	108	130	109	113	115
	122	174	114	119	124	120	117	203	161	163	162	121	169	118	125	116	204	171	123	126
	129	127	128	135	144	137	150	136	140	152	148	153	145	154	142	146	155	141	156	205
	151	158	159	147	139	143	157	149	138	160	184	170	164	179	172	165	173	175	176	178
	166	167	168	177	195	194	187	186	185	180	196	183	188	189	191	190	192	197	202	199
	181	200	182	198	193															
	1	19	20	21	22	23	34	2	24	3	26	6	201	4	5	13	14	7	27	25
	28	8	29	9	10	11	12	15	16	17	18	33	30	32	31	35	36	83	110	69
	70	41	112	71	111	42	40	37	62	72	73	63	64	74	75	65	43	76	66	77
	54	82	68	55	61	59	60	56	79	44	78	57	58	38	39	67	80	81	45	84
	46	48	47	85	90	91	86	49	53	87	50	88	51	89	52	92	95	94	93	96
	97	99	98	100	103	134	104	101	102	105	106	130	109	107	131	132	108	113	204	122
	118	163	161	162	124	117	121	174	115	205	123	125	114	133	119	171	203	116	169	120
	126	128	127	129	135	153	139	148	151	150	158	140	144	137	141	149	145	154	159	146
	155	138	136	152	156	142	157	147	143	160	179	170	172	164	165	178	173	184	166	167
	168	180	181	182	175	176	183	177	195	194	196	197	199	185	200	187	202	186	188	189
	193	191	190	192	198															

ตารางที่ ข.119 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	4	4	4	1	1	1
	1	1	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	4
	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	3	4	4
	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	6	3	6	5	5	6	5	5	5
	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	6	5
	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	7	8	7	8	8	8	8	8	8	7
	7	7	7	7	8	7	7	8	8	7	8	8	7	8	7	7	7	8	7	8
	8	8	8	8	7															
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	4
	4	1	1	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	6	3	6	5	5	5	5	6
	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5
	6	5	5	6	5	6	5	5	5	7	6	7	8	7	7	8	7	7	7	7
	7	8	8	8	8	8	8	7	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	8	8
	8	7	7	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	3	4
	3	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4
	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	6	5	6	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	8	5	7	8	7	7	8	8
	8	8	7	7	8	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	8	7	7	8	8
	8	8	8	7	7	8	8	8	7	7	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7
	8	8	7	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	4	1	1	1	1
	1	1	4	1	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4
	3	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3
	3	4	3	3	3	4	4	3	3	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6
	5	6	6	5	6	5	8	8	5	8	5	5	8	5	7	7	7	7	8	8
	7	8	7	8	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	7	8	8	8	8
	7	7	8	7	8	7	7	8	8	7	7	8	8	7	7	7	8	7	7	8
	8	7	8	8	8															

ตารางที่ ข.119 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 1888 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1
	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2
	1	1	2	1	1	1	2	2	2	4	4	1	4	4	1	1	4	1	1	1
	1	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3
	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	6	5	6	5	5	5
	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	8	5	5	7	8	7	7	8
	8	8	7	7	7	7	8	8	7	8	7	7	7	8	7	7	8	7	7	8
	8	8	8	7	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7	8	8	8	7	7	8
	7	7	7	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	4	3
	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	3	3	5	6	5	6	5	5	5	5
	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	7	7	8	7	8	7	7
	8	7	8	7	8	8	7	8	8	7	7	8	8	7	7	7	7	8	7	8
	8	8	8	7	8	8	8	7	7	7	8	8	7	7	7	7	7	8	7	8
	8	7	8	8	8															
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	3	3	4	3
	4	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3
	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3
	4	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	5	6	5	6	5	6	5	5	5
	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6
	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	7	6	7	7	8	7	8	8
	7	8	8	7	8	7	8	8	7	7	7	7	8	7	7	8	7	7	7	8
	8	8	8	7	7	8	8	8	7	7	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8
	7	8	7	8	8															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	4	1	1	3	3	3
	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3
	3	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4
	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	3	6	5	5	5	6	5	5	5	5
	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	7	8	7	8	8	8	8	7
	8	7	7	7	8	7	7	7	7	8	7	7	7	8	8	8	7	7	8	8
	8	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	8	8	7	8	8	7	8	7	8
	8	8	7	7	8															

4.2 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

4.2.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.120 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	2	3	21	19	20	22	6	25	4	201	23	34	24	28	26	27	1	29	5	33
	30	32	31	35	13	14	15	16	7	8	17	18	9	10	11	12	36	72	41	112
	42	62	63	40	54	64	75	69	70	68	71	111	110	73	74	55	43	56	76	78
	59	77	79	60	82	44	83	57	58	61	37	65	38	66	39	45	53	46	51	67
	52	47	48	80	81	84	49	85	86	50	90	91	87	88	89	92	97	96	94	95
	93	99	98	100	134	103	109	131	130	104	132	101	102	133	105	107	106	108	113	203
	171	124	116	204	114	120	123	122	163	125	119	117	121	174	118	161	205	115	169	162
	126	129	128	127	135	140	145	138	158	150	151	153	144	137	147	154	136	152	141	159
	142	143	139	155	156	149	146	148	157	160	179	178	170	184	172	180	183	164	165	166
	167	168	173	181	182	175	176	177	187	185	194	188	186	195	196	197	198	202	189	191
	193	192	190	199	200															
	6	1	2	21	19	20	201	4	3	25	5	22	7	8	9	10	13	14	15	16
	11	17	23	34	12	24	27	26	18	28	29	33	30	31	32	35	36	83	69	75
	110	111	70	40	72	41	62	71	37	42	43	112	63	44	54	55	64	68	65	66
	59	73	38	56	67	60	39	57	58	74	61	45	51	46	52	53	48	47	76	77
	82	78	49	50	79	80	81	84	85	86	88	87	89	90	91	92	98	99	94	96
	97	95	93	100	134	101	103	109	131	104	132	133	130	102	105	107	106	108	113	118
	119	162	122	161	115	116	123	124	117	120	171	205	203	121	174	204	169	114	163	125
	126	128	127	129	135	142	138	152	153	150	158	141	144	137	136	151	149	148	139	145
	146	147	159	154	155	140	143	160	170	184	156	172	157	164	178	173	175	176	165	179
	166	167	168	177	187	188	194	195	196	180	197	183	199	198	200	185	186	189	181	190
	193	202	182	191	192															

ตารางที่ ข.121 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2
	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	1	1	3	2
	3	3	3	2	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	4
	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6
	5	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6
	6	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6
	6	5	6	6	6															

ตารางที่ ข.121 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1
	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1
	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	3	3	2	4
	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3
	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	3	6	5	5	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6
	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5
	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6
	6	5	5	6	5															

4.2.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.122 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	6	21	20	25	1	22	23	34	24	26	27	28	29	33	30	32	31	35	19	2
	4	3	5	13	14	15	7	8	9	10	11	12	16	17	18	36	110	69	72	41
	112	62	63	75	70	71	73	74	76	77	82	42	111	83	79	64	68	65	66	67
	40	54	55	61	56	59	60	37	38	39	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86
	87	43	44	45	46	51	52	48	49	50	47	53	57	58	92	99	95	97	96	94
	93	98	100	105	134	131	106	103	104	130	107	108	101	102	132	133	109	113	204	205
	171	169	117	203	116	161	174	123	122	118	163	162	119	124	125	120	121	126	127	129
	128	135	144	141	137	158	159	153	152	150	138	149	148	139	145	146	140	154	155	142
	143	151	147	115	156	157	114	136	160	170	178	184	164	165	166	167	168	172	173	175
	176	177	195	186	194	188	187	179	180	183	181	182	185	189	193	190	191	192	196	197
	199	200	198	201	202															
	19	2	3	20	1	201	4	25	21	22	23	34	24	28	29	33	30	32	31	27
	26	35	6	5	13	7	8	14	15	16	17	9	10	11	12	18	36	110	69	72
	40	112	62	63	37	41	75	70	71	73	74	76	77	82	38	111	83	79	42	43
	44	54	55	61	56	64	68	65	66	67	59	60	78	80	81	84	85	90	91	88
	89	86	87	57	58	39	45	48	49	50	46	47	53	51	52	92	99	95	97	96
	94	93	98	100	105	134	131	106	103	104	130	107	108	101	102	132	133	109	113	171
	169	117	116	161	174	123	122	118	163	203	162	119	205	124	125	120	204	121	126	127
	129	128	135	144	141	137	158	159	153	152	150	138	149	148	139	145	146	140	154	155
	142	143	151	147	115	156	157	114	136	160	170	178	184	164	165	166	167	168	172	173
	175	176	177	194	186	187	188	195	196	197	199	200	198	202	179	180	183	181	182	185
	189	191	192	190	193															

ตารางที่ ข.122 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	1	201	21	19	20	22	23	24	26	28	29	30	33	27	34	31	32	35	6	
	2	4	3	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	62	83	110	
	111	72	40	63	75	42	54	43	69	70	71	73	74	76	77	82	79	78	112	55	
	59	60	56	57	61	58	41	64	65	68	66	67	80	81	37	38	39	84	85	88	
	86	89	90	91	87	44	45	46	51	47	53	52	48	49	50	92	97	99	93	95	
	98	100	101	105	130	134	106	102	107	108	109	94	103	104	96	113	205	203	204	116	
	118	174	169	163	162	161	171	123	124	125	122	120	117	114	119	121	126	128	129	115	
	131	132	133	127	135	147	149	148	138	150	144	142	141	140	137	145	139	143	152	153	
	154	155	156	157	151	158	159	136	146	160	179	178	170	164	165	166	184	172	173	175	
	176	180	183	167	168	177	185	195	187	196	188	194	186	189	191	192	193	190	197	199	
	202	198	200	181	182																
	21	6	201	1	2	4	25	20	22	23	34	24	26	28	29	30	32	31	3	33	
	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	19	27	35	36	37	110	41	
	42	111	112	83	75	72	69	62	40	54	55	61	59	60	43	44	38	39	45	46	
	51	52	47	53	70	71	73	74	76	79	78	77	63	64	68	65	66	67	80	81	
	84	85	88	90	86	87	82	48	49	50	56	57	58	91	89	92	99	96	95	93	
	97	94	98	100	101	105	134	130	106	107	108	102	109	103	104	113	205	203	116	163	
	118	161	171	169	174	123	124	125	122	120	117	162	114	119	204	121	126	128	129	115	
	131	132	133	127	135	152	153	154	155	151	150	149	142	141	139	136	145	146	140	143	
	144	137	147	158	159	156	157	148	138	160	170	172	164	165	184	173	175	176	178	179	
	180	181	182	183	166	167	168	177	185	186	187	195	196	194	197	202	199	198	200	188	
	189	190	191	193	192																

ตารางที่ ข.123 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	
	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	
	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	4	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	5	
	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	
	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	
	5	6	5	5	5																

ตารางที่ ข.123 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	
	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	
	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	4	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	5	
	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	
	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	
	5	6	5	5	5																
	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	
	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	
	1	2	2	2	2	4	4	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	
	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	4	6	5	6	5	6	5	6	
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	
	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	
	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	
	6	6	6	5	5																
	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	
	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	4	4	1	1	1	1	3	4	4	3	
	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	
	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	
	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	6	5	6	6	5	
	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	
	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	
	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	
	6	6	5	6	6																
	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	
	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	
	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	
	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	
	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	
	6	6	6	3	3	3	6	6	3	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	5	
	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	
	5	6	6	5	5																

ตารางที่ ข.123 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	
	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	
	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4	
	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	4	
	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	
	6	6	6	3	3	3	3	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	
	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	
	5	5	6	6	5																
	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	
	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	
	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	4	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	5	
	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	
	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	
	5	6	5	5	5																
	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	1	
	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	
	1	2	2	2	2	4	4	1	1	1	1	1	1	1	3	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	
	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	3	
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	4	6	5	6	5	6	5	6	
	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	
	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	
	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	
	6	6	6	5	5																
	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	
	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	
	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	4	4	1	1	1	1	3	4	4	3	
	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	
	4	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	
	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	6	5	6	6	5	
	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	
	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	
	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	
	6	6	5	6	6																

ตารางที่ ข.123 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2
	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2
	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4
	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3
	6	6	6	3	3	3	6	6	3	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	5
	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6
	5	6	6	5	5															
	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1
	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4
	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	4
	3	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3
	6	6	6	3	3	3	3	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5
	5	5	6	6	5															

4.2.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.124 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	19	21	1	20	22	23	6	24	25	34	2	201	26	27	4	28	29	3	5	30
	31	7	33	13	14	32	15	35	8	16	17	18	9	10	11	12	36	83	110	72
	42	41	69	40	75	54	43	37	111	62	63	55	59	56	57	60	70	58	112	71
	44	61	38	73	64	74	68	65	76	66	67	39	78	77	82	45	48	53	51	52
	79	46	80	47	49	50	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	96	99	98	95
	97	100	103	101	104	130	94	93	102	109	131	134	105	132	107	106	133	108	113	119
	162	203	115	117	118	124	174	161	121	120	204	171	205	123	114	163	122	116	169	125
	126	128	127	129	135	138	152	136	140	148	151	141	137	158	142	143	150	144	159	139
	147	153	149	154	145	146	155	160	170	172	178	173	164	179	175	165	176	166	167	180
	181	168	183	182	156	177	187	157	186	195	194	185	188	189	191	190	184	193	196	197
	198	199	200	202	192															

ตารางที่ ข.124 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	21	1	20	22	25	6	23	201	24	2	28	34	29	27	4	33	3	26	30
	32	5	31	13	14	35	7	15	16	8	17	9	18	10	11	12	36	112	62	110
	42	72	69	70	111	41	40	75	54	71	55	43	59	56	57	58	60	44	73	37
	74	61	63	76	79	78	77	82	38	39	45	48	46	83	49	50	47	51	52	53
	64	68	65	66	67	80	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	96	99	97	94
	93	95	98	100	103	109	130	101	104	134	131	105	132	102	133	107	106	108	113	117
	119	122	121	123	203	204	171	163	174	116	161	120	205	169	114	162	115	118	124	125
	126	128	129	127	135	153	144	136	158	154	140	150	138	149	147	151	148	152	139	155
	145	159	146	137	156	141	157	142	143	160	170	184	178	172	173	164	175	165	176	179
	180	181	166	167	182	168	177	183	188	187	186	195	194	196	197	198	185	202	199	189
	191	190	192	193	200															
	19	2	25	1	4	3	201	5	13	20	14	6	15	16	17	21	22	23	24	34
	27	28	29	30	31	26	33	32	7	35	8	9	18	10	11	12	36	83	111	42
	41	72	75	69	70	110	112	62	63	37	40	71	73	43	38	54	39	74	44	45
	46	48	53	47	49	50	76	79	78	77	82	51	52	55	59	56	57	64	58	60
	61	65	68	66	67	80	81	84	85	90	88	86	89	91	87	92	96	99	95	97
	94	93	98	100	103	101	104	134	131	132	102	133	105	106	107	130	109	108	113	169
	114	163	204	119	162	161	123	203	171	121	174	115	122	120	118	124	205	116	125	126
	117	129	127	128	135	152	144	138	151	145	146	150	136	153	137	158	142	140	149	148
	159	139	147	154	155	141	143	160	170	172	173	178	175	164	179	156	176	180	181	157
	183	165	182	184	166	167	168	177	187	186	195	194	188	185	189	191	190	192	196	197
	193	198	199	200	202															
	19	21	1	20	25	22	23	201	6	24	2	28	27	4	29	30	33	34	31	26
	3	32	5	35	7	8	9	13	14	15	16	10	11	12	17	18	36	111	41	69
	70	72	42	62	71	63	37	75	38	39	40	73	112	43	83	54	110	55	74	61
	56	57	76	58	78	77	82	59	44	60	79	45	46	53	47	64	68	65	66	67
	48	80	51	52	81	84	49	50	85	88	90	91	89	86	87	92	96	99	98	95
	97	100	103	101	104	130	109	131	93	132	102	133	94	134	105	106	107	108	113	203
	118	124	171	120	163	169	123	122	116	125	162	115	117	161	174	114	119	205	121	126
	204	127	129	128	135	144	153	137	151	141	154	148	149	145	158	142	146	136	155	156
	147	139	157	159	152	150	140	138	143	160	170	172	164	178	173	179	175	165	166	176
	180	167	183	168	177	181	194	187	186	195	188	196	182	197	198	185	184	202	189	191
	190	192	199	200	193															
	19	21	1	20	22	25	23	201	24	2	28	26	3	6	4	29	5	30	34	27
	13	14	32	7	15	31	8	16	33	17	18	9	35	10	11	12	36	83	111	41
	40	62	63	110	64	37	69	68	65	112	70	71	42	54	55	66	59	67	75	38
	60	56	61	72	57	43	73	58	74	44	76	78	77	82	39	79	80	45	48	49
	50	51	52	81	84	85	88	86	89	46	53	87	90	91	47	92	95	96	98	94
	93	99	97	100	103	109	104	134	131	130	105	132	101	133	102	107	106	108	113	120
	123	114	115	122	203	161	116	117	171	118	163	119	162	205	121	174	124	125	204	126
	169	129	127	128	135	140	150	147	139	153	148	144	138	151	141	154	155	145	156	158
	142	143	157	137	146	136	152	149	160	170	179	184	159	164	178	172	173	180	181	175
	165	176	166	167	183	168	177	194	187	186	195	185	188	196	197	198	202	199	182	189
	190	191	192	193	200															

ตารางที่ ข.124 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	2	3	6	21	1	20	22	201	4	23	25	24	5	28	34	29	7	26	30
	31	8	13	14	27	15	16	32	9	17	18	10	11	12	33	35	36	72	40	69
	70	83	111	62	63	37	75	112	110	64	41	42	65	71	66	38	67	73	54	74
	55	39	61	59	56	60	43	76	68	78	77	82	57	44	45	48	79	46	49	50
	53	58	47	51	52	80	81	84	85	86	90	91	87	88	89	92	96	99	97	94
	93	95	98	100	103	109	104	134	131	132	101	133	130	105	106	102	107	108	113	123
	203	161	204	121	174	163	114	115	122	116	119	120	162	117	124	205	118	125	171	126
	128	127	169	129	135	142	151	136	153	137	154	158	141	139	148	149	138	140	150	144
	155	145	152	143	146	156	147	159	157	160	170	172	184	178	173	164	165	175	166	167
	168	176	179	180	181	183	177	188	182	186	195	194	187	196	197	202	199	198	185	189
	191	190	192	200	193															
	19	21	1	20	2	6	25	22	4	23	3	34	201	24	28	26	5	27	13	14
	29	15	16	30	33	7	17	31	8	9	18	10	11	12	32	35	36	69	112	62
	63	72	37	40	75	70	83	111	42	41	43	54	110	64	44	68	65	38	39	71
	55	45	66	67	73	51	52	46	53	47	48	74	59	76	61	77	82	56	79	78
	57	49	50	80	58	60	81	84	85	90	88	86	87	91	89	92	97	94	93	98
	95	99	100	103	101	104	105	109	102	96	107	106	130	131	134	132	133	108	113	162
	115	204	120	123	205	118	174	116	169	114	124	171	121	161	163	117	119	122	203	125
	126	128	129	127	135	153	149	141	152	158	145	136	154	147	155	144	138	140	156	142
	143	146	148	159	157	150	139	137	151	160	170	172	173	178	175	184	176	179	180	181
	164	182	165	166	183	167	168	177	186	195	194	187	188	196	197	198	185	199	200	202
	189	191	190	193	192															
	1	201	19	21	25	2	20	22	4	23	3	34	5	13	14	24	28	6	29	7
	8	30	26	33	15	16	27	17	9	31	10	32	35	11	12	18	36	83	111	62
	75	112	69	40	63	110	70	64	41	68	42	71	37	54	72	65	73	74	66	55
	76	43	79	67	38	39	61	77	82	78	56	57	59	58	80	81	60	84	44	85
	45	53	88	86	89	46	90	51	48	91	47	49	52	87	50	92	94	93	95	96
	99	98	97	100	103	134	101	104	130	102	105	106	107	108	109	113	131	161	121	169
	204	124	122	117	123	203	118	163	125	114	162	116	119	171	205	120	115	132	174	126
	127	129	133	128	135	158	141	150	148	137	151	147	149	144	152	136	140	145	159	139
	153	146	154	138	142	155	156	143	160	179	184	157	170	172	178	173	164	175	165	176
	166	167	168	177	180	194	187	186	195	183	181	182	188	196	197	198	199	200	185	202
	189	191	190	192	193															
	19	21	1	20	22	201	25	6	23	24	2	28	4	34	29	3	26	5	33	7
	30	13	14	32	15	16	8	31	17	9	18	10	11	12	27	35	36	83	111	41
	69	70	62	63	110	40	75	37	64	42	72	54	112	38	65	66	71	55	56	57
	67	39	58	43	59	68	60	44	45	46	53	51	52	61	73	47	74	76	48	78
	77	79	82	49	50	80	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	96	99	97	94
	93	95	98	100	103	109	104	134	131	105	132	107	106	133	108	101	102	113	121	203
	171	204	123	122	118	205	124	174	163	125	162	114	115	117	161	130	119	120	126	116
	127	129	169	128	135	140	150	158	152	136	149	141	139	137	147	153	144	159	148	138
	151	142	143	154	155	145	156	146	157	160	170	172	164	184	179	173	178	175	165	176
	180	181	166	167	183	168	177	187	186	195	194	196	197	188	198	185	202	199	182	189
	191	190	192	200	193															

ตารางที่ ข.124 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	21	1	20	22	25	23	201	24	2	34	28	26	4	29	6	27	3	30	5
	33	7	31	8	32	9	35	10	11	12	13	14	15	16	17	18	36	83	111	41
	69	37	62	63	38	112	40	75	110	42	54	55	43	70	59	56	39	57	71	64
	68	65	44	45	53	58	48	51	49	52	46	66	60	67	61	72	47	50	73	74
	76	79	78	77	82	80	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	96	98	95	97
	94	93	99	100	103	101	104	134	131	130	109	132	105	133	107	106	108	102	113	121
	123	174	203	118	169	162	119	117	171	116	114	124	204	125	120	161	163	115	205	122
	126	128	129	127	135	152	139	141	147	153	137	151	145	158	142	138	149	136	154	140
	150	143	155	148	144	159	156	146	157	160	170	172	173	178	175	164	176	165	179	184
	166	180	181	182	167	183	168	177	188	195	194	196	197	187	186	198	185	199	202	189
	191	190	192	200	193															

ตารางที่ ข.125 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2
	2	2	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	1
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1
	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	3	3
	2	3	2	3	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3
	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	3
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5
	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5
	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	6
	6	6	6	5	5															
	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2
	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	3
	2	2	2	2	2	2	4	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6
	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5
	5	5	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	5	6	5
	6	5	5	6	6															

ตารางที่ ข.125 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	
	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	4	4	4	1	4	4	
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	
	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3	5	6	6	6	
	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	
	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	
	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	
	6	6	6	6	5																
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	
	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	
	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	
	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	3	4	
	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4	
	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	4	3	3	3	6	3	6	3	3	6	3	3	3	3	3	6	
	3	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	
	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5	
	5	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	
	5	5	6	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	
	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	
	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	4	3	3	4	4	3	3	3	
	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	
	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	5	6	5	6	6	
	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	
	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	
	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	
	5	6	5	6	6																
	1	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	
	2	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	
	2	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
	2	1	2	2	2	4	1	1	1	1	1	1	4	3	3	3	4	3	3	3	
	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	4	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	6	3	3	6	
	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	
	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	
	6	5	5	6	6																

ตารางที่ ข.125 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	1	1
	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	1	1	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	3	4	4	4	3
	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3
	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	3	4
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5
	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5
	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5
	5	6	5	6	5															
	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2
	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2
	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	4	4	1	1	4	1	3	3
	3	3	3	3	4	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3
	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4	3	6
	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5
	5	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	6	6	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5
	6	6	5	5	6															
	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2
	2	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2
	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2
	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	3	3	3
	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	5	6	6	6	6	5	6	6	6
	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5
	5	5	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5
	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5
	6	5	5	6	6															
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1
	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	4
	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	6	5	5	6	6	6	5	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5
	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	5	5
	6	5	5	6	6															

4.2.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.126 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	1	21	20	22	201	23	2	24	25	4	28	3	26	6	27	19	5	7	13	29
	34	33	8	30	14	31	9	32	15	16	17	35	10	18	11	12	36	72	40	111
	69	70	42	41	75	110	112	37	62	54	55	71	56	73	63	64	57	74	59	61
	76	65	60	43	58	77	78	38	79	68	66	39	82	67	80	83	81	44	84	85
	90	88	91	86	89	87	45	53	48	46	49	50	47	51	52	92	96	99	95	93
	94	97	98	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	105	102	107	106	108	113	119
	161	121	174	124	114	171	117	118	205	120	162	116	203	125	115	204	169	122	163	123
	126	127	129	128	135	153	150	140	137	154	152	149	138	141	155	145	156	146	157	142
	143	148	144	139	158	151	147	159	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	165	136
	166	167	180	181	182	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	202	183	199
	191	190	200	193	192															
	1	21	20	22	201	23	2	24	3	26	6	34	19	27	4	25	5	7	28	29
	13	33	14	15	16	17	18	30	8	31	32	9	35	10	11	12	36	83	69	70
	62	72	42	41	75	40	111	54	55	71	37	59	61	73	60	63	43	112	110	74
	56	76	57	64	65	78	38	79	77	68	58	82	39	66	67	80	44	81	45	84
	85	90	88	91	86	51	89	87	46	53	48	47	49	50	52	92	94	97	98	93
	96	99	95	100	103	130	104	109	131	134	132	105	133	106	107	108	101	102	113	169
	118	203	119	174	120	117	122	115	123	124	205	116	171	114	162	163	121	161	125	126
	128	129	204	127	135	153	152	158	151	148	149	159	147	150	140	137	154	142	155	144
	139	141	156	145	157	136	143	138	146	160	184	170	172	179	173	164	175	178	176	180
	183	165	181	182	166	167	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	199	191
	190	200	193	202	192															
	1	21	20	6	25	2	22	201	23	19	4	3	5	24	13	26	14	7	34	8
	15	16	9	10	11	12	17	18	28	27	29	33	30	32	31	35	36	75	40	111
	41	83	69	42	54	55	70	110	59	61	71	56	112	60	37	62	57	72	63	58
	43	73	38	44	74	39	76	79	78	64	68	65	77	66	82	67	80	81	84	45
	53	48	46	49	85	90	88	91	86	89	87	50	47	51	52	92	96	98	93	94
	97	99	95	100	103	130	104	109	131	134	132	105	133	106	107	108	101	102	113	114
	174	115	121	124	116	120	205	204	119	162	122	118	203	125	171	123	126	163	129	161
	128	127	135	153	150	140	151	152	137	147	149	154	142	155	144	156	145	157	146	141
	143	138	148	169	136	117	139	158	159	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	183	166	167	181	182	168	177	194	187	188	195	186	196	185	197	198	189	191	190
	199	192	202	193	200															
	1	21	20	22	19	25	6	23	201	34	2	24	3	26	4	28	29	5	7	30
	13	33	8	32	31	9	27	10	35	11	12	14	15	16	17	18	36	83	69	42
	41	75	72	111	40	62	110	63	54	55	70	56	71	57	37	59	61	73	60	74
	58	43	112	64	68	65	76	66	44	67	79	77	82	78	80	38	39	81	45	53
	48	46	49	50	47	84	85	90	88	89	86	91	87	51	52	92	94	97	98	93
	96	99	95	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	105	107	102	106	108	113	124
	205	203	119	174	120	204	169	123	125	115	118	114	161	121	122	163	126	116	127	129
	162	117	171	128	135	153	152	137	154	142	155	145	156	140	151	144	138	157	136	158
	147	150	149	159	141	139	148	143	146	160	184	170	172	179	164	173	178	175	165	176
	180	166	183	167	181	182	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	191	190
	199	192	202	193	200															

ตารางที่ ข.126 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	20	22	201	23	2	24	3	26	6	34	19	25	27	4	28	5	7	29
	13	33	14	15	16	8	30	32	9	31	10	11	12	17	18	35	36	83	69	70
	40	42	54	55	110	71	56	112	37	61	62	72	59	73	63	60	43	41	75	74
	76	79	77	78	44	82	111	57	64	68	58	65	66	67	80	38	39	45	53	48
	46	49	50	47	81	51	84	85	90	88	91	86	89	87	52	92	96	99	95	93
	94	97	98	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	105	102	106	107	108	113	118
	205	161	169	123	203	119	120	204	162	124	171	163	115	122	125	114	121	117	126	116
	128	127	129	135	151	144	148	136	140	174	137	147	150	149	139	153	152	154	142	155
	145	156	146	157	158	138	159	141	143	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	181	166	183	167	182	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	202	193
	199	191	190	200	192															
	1	21	20	22	201	23	2	24	25	27	3	26	6	34	19	28	4	29	5	13
	33	7	30	31	8	32	14	15	16	9	35	10	11	17	18	12	36	83	69	111
	42	41	72	70	112	110	71	75	62	40	43	73	63	64	68	65	74	76	79	78
	44	54	55	66	59	61	77	67	80	82	81	84	85	90	88	91	86	89	87	37
	60	38	39	56	45	48	46	49	50	47	53	57	58	51	52	92	96	99	95	93
	94	98	97	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	102	105	106	107	108	113	119
	117	118	204	120	161	205	121	122	163	171	124	123	114	162	174	125	126	116	128	129
	169	115	203	127	135	153	137	154	142	155	144	138	141	158	140	159	149	136	143	147
	148	152	156	151	157	145	139	150	146	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	181	182	166	183	167	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	191	190
	192	199	193	202	200															
	1	21	20	22	201	23	2	24	3	26	6	34	19	27	4	25	5	7	28	13
	29	14	33	15	16	17	18	30	8	31	9	32	35	10	11	12	36	72	111	41
	75	40	62	110	112	37	63	64	69	42	54	55	70	61	71	56	73	57	38	39
	65	66	74	68	59	76	79	78	58	77	67	80	82	81	84	83	85	90	88	91
	86	89	87	60	43	44	45	53	48	46	49	50	47	51	52	92	96	99	95	93
	94	97	98	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	102	105	106	107	108	113	124
	161	174	125	118	203	119	120	204	123	114	121	122	115	126	163	127	171	128	116	129
	135	153	149	140	139	137	154	152	162	117	138	147	150	151	144	158	205	169	159	141
	155	145	156	146	157	142	143	148	136	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	183	166	167	181	182	168	177	194	187	195	186	196	185	197	198	188	189	191	190
	199	192	202	193	200															
	1	21	20	22	201	19	2	25	6	23	34	4	24	3	26	27	5	7	28	13
	29	30	14	33	15	16	17	18	32	31	8	9	10	35	11	12	36	83	69	70
	112	110	71	72	40	62	63	64	37	75	42	54	55	73	111	74	41	61	38	39
	56	68	57	76	65	77	78	58	66	82	67	79	59	80	60	43	81	44	84	85
	90	88	91	86	89	87	45	53	48	46	49	47	50	51	52	92	94	97	98	93
	96	99	95	100	103	130	104	109	131	134	132	101	133	102	105	106	107	108	113	124
	120	162	174	115	121	123	125	203	119	122	118	161	204	126	114	171	129	163	127	169
	205	128	135	153	150	149	154	136	155	145	156	146	157	142	116	151	152	137	141	158
	147	159	148	139	138	117	140	143	144	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	165
	180	166	167	181	182	168	183	177	194	187	195	186	196	185	197	198	188	189	191	190
	193	202	192	199	200															

ตารางที่ ข.126 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	19	20	22	201	23	2	3	34	4	24	5	27	7	6	25	26	28	29
	13	33	14	15	16	17	18	30	8	31	32	9	35	10	11	12	36	83	69	70
	62	71	112	110	42	40	75	37	54	55	38	61	59	56	72	41	57	43	60	39
	73	63	44	58	74	76	79	77	78	45	53	48	82	64	68	51	111	49	46	52
	47	50	65	66	67	80	81	84	85	90	86	91	88	89	87	92	94	97	98	93
	96	99	95	100	103	130	104	105	101	107	109	131	134	132	106	108	102	113	122	174
	171	118	119	163	120	162	123	114	203	205	161	121	169	117	115	204	124	125	126	116
	128	129	133	127	135	153	141	154	152	155	144	150	142	158	151	137	148	140	159	139
	138	156	145	157	143	147	149	136	146	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	166	167	181	182	168	177	183	194	186	195	185	196	188	197	199	187	189	191	190
	193	202	198	192	200															
	1	21	20	22	19	23	2	24	3	26	6	27	4	25	5	28	29	13	33	14
	7	30	8	31	9	32	15	16	17	18	201	34	35	10	11	12	36	83	69	42
	41	75	37	72	38	112	110	40	62	54	55	70	59	61	43	111	44	60	56	71
	57	73	63	64	58	65	68	74	76	79	78	66	67	77	39	82	80	45	53	48
	46	81	47	84	49	50	85	90	88	86	89	87	51	52	91	92	94	97	98	93
	96	99	95	100	134	105	107	106	108	101	103	130	104	109	131	102	113	171	114	123
	118	204	203	121	116	122	115	117	169	161	162	174	124	205	119	120	163	125	126	128
	127	129	132	135	153	149	154	136	155	145	156	139	148	152	137	141	150	147	142	157
	146	138	133	144	158	159	140	143	151	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	181	182	166	183	167	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	198	189	202	193
	199	191	190	200	192															
	1	21	20	22	201	23	25	24	19	34	2	4	27	3	28	6	5	29	7	30
	8	32	9	31	10	11	33	26	35	12	13	14	15	16	17	18	36	72	111	42
	41	75	69	70	112	110	62	71	63	40	73	83	37	54	55	56	38	59	43	60
	39	74	61	57	76	58	77	78	44	79	64	68	82	45	53	48	46	49	47	50
	51	65	52	66	67	80	81	84	85	90	88	91	86	89	87	92	96	99	95	93
	94	97	98	100	103	130	104	105	106	101	107	108	102	134	131	109	113	204	203	205
	119	162	117	114	124	171	120	123	118	174	115	121	169	161	125	163	122	116	126	132
	128	129	133	127	135	152	139	150	137	138	149	153	141	158	148	159	147	142	154	136
	140	143	155	145	156	146	157	151	144	160	184	170	172	164	173	178	175	179	176	180
	165	166	183	167	168	177	194	187	188	195	181	185	196	186	197	198	189	191	190	193
	202	182	192	199	200															
	1	21	20	22	201	23	2	24	3	26	6	34	19	27	4	25	5	13	14	7
	28	15	16	17	18	8	29	30	31	9	32	33	35	10	11	12	36	83	69	42
	41	75	62	70	71	112	110	111	63	40	43	72	54	55	59	56	64	57	65	61
	66	44	60	37	73	38	58	68	39	67	45	53	74	46	47	76	79	78	51	77
	52	80	81	84	82	85	90	88	91	86	48	89	87	49	50	92	94	98	93	96
	99	95	97	100	103	130	104	109	134	105	106	101	107	108	102	113	169	122	115	123
	114	162	117	118	204	161	174	121	203	131	116	119	120	124	171	205	132	125	126	133
	127	129	163	128	135	152	158	151	150	137	141	140	159	147	148	149	142	139	138	144
	153	136	143	145	154	146	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180	165	181	182
	166	183	167	168	177	188	194	187	195	186	196	185	197	155	198	156	199	157	200	189
	191	190	193	202	192															

ตารางที่ ข.126 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 65 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	19	25	2	20	22	201	23	4	3	34	6	5	24	7	8	27	26	28
	9	29	10	11	12	30	13	33	14	31	32	15	16	35	17	18	36	83	69	112
	111	40	41	70	62	110	71	72	42	75	54	55	59	61	73	63	60	56	64	57
	43	58	65	74	44	37	76	66	67	77	38	78	68	82	39	79	45	53	80	51
	52	81	84	46	47	85	90	86	91	88	87	89	48	49	50	92	94	97	99	93
	96	98	100	103	130	104	109	131	134	132	105	133	106	95	107	108	101	102	113	119
	169	118	163	174	115	123	124	121	117	125	171	161	205	204	162	203	122	116	120	126
	114	127	128	129	135	153	152	158	138	141	154	136	155	144	147	148	142	159	139	156
	151	140	137	145	157	143	146	150	149	160	184	170	172	179	173	178	175	164	176	180
	165	166	183	167	181	182	168	177	187	188	194	186	195	185	189	191	190	193	192	196
	197	198	202	199	200															

ตารางที่ ข.127 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2
	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	2
	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	4	1	1	1	3
	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	3	3	3	6	3
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5
	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	6	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6
	6	5	6	6	5															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	2	1
	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	3	4	3	4
	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	6	3	6	3	6
	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6
	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	5	6	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6
	5	6	6	5	5															

ตารางที่ ข.127 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2
	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	3	4	3
	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	6	6	5	6
	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5
	5	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	5	6	6															
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2
	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	4	1	1	3	3	3
	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	6	6	5	5
	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6
	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	5	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2
	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	3	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	6	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	3	3	3	3	3	3	6	6
	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6
	5	6	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6
	6	6	5	6	5															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1
	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1
	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1
	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	3	4	3	4	3	4	3	3
	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	6	6	5	5
	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5
	5	6	6	5	6															

ตารางที่ ข.127 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1
	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	3	2	4	4	4
	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	5	5	6	6	5
	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5
	6	5	5	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1
	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1
	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	4	1	4	1	1	1	3	3
	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	3	5	6	6	5
	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6
	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6
	5	6	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5
	6	5	5	6	6															
	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1
	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	6	6
	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	5
	6	5	6	5	6															
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1
	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	1
	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	3	3	4	3	3	3	3
	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3	4	5
	6	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6
	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6
	6	6	5	6	5															

ตารางที่ ข.127 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	3	4	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4
	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	4	4	4	6
	3	3	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	5
	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5
	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6
	5	5	5	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2
	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	3	4
	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	4	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	4	4	3
	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	6	6
	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6
	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5
	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	5	6	5
	6	5	6	5	5															
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2
	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2
	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	3	2	4	3	4	3	3	3	3
	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	4
	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	5	6	6	5	6	6	5	6
	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5
	6	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6
	6	6	5	6	6															

4.2.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.128 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	6	1	2	3	4	5	13	14	15	16	17	18	201	19	25	7	8	9	10	21
	11	12	20	22	23	34	24	27	28	26	29	33	30	31	32	35	36	62	83	75
	69	40	112	72	41	110	70	71	73	74	42	54	43	55	56	59	57	61	76	79
	78	111	60	63	64	68	65	66	67	37	38	39	58	44	45	46	48	47	51	52
	49	50	53	77	80	81	82	84	85	86	88	89	87	90	91	92	94	99	93	97
	96	95	98	100	101	131	130	109	103	104	134	105	106	132	133	107	108	102	113	122
	120	123	171	162	163	161	169	121	205	119	174	204	124	125	116	203	114	115	117	118
	126	129	128	127	135	150	147	140	139	158	159	149	152	151	141	148	144	137	138	153
	142	143	145	146	160	164	165	166	167	168	178	184	179	180	183	170	172	173	175	176
	181	182	136	154	155	156	157	177	195	187	196	194	186	197	198	199	200	185	202	188
	189	193	191	192	190															
	1	201	6	21	25	19	20	22	2	4	3	5	13	14	7	8	15	16	17	18
	9	23	24	26	28	27	34	29	30	32	33	31	35	10	11	12	36	72	40	37
	42	43	41	54	55	61	59	56	57	38	39	58	112	110	62	69	70	71	73	74
	76	77	79	82	78	83	111	60	44	45	53	51	48	49	50	52	46	47	63	64
	65	68	66	67	75	80	81	84	85	88	86	90	91	89	87	92	93	94	96	95
	98	99	97	100	134	130	103	109	101	104	105	106	107	108	102	131	132	133	113	162
	123	174	121	124	203	115	122	125	204	163	119	114	116	169	117	171	120	205	118	126
	128	129	127	135	150	151	147	138	136	149	139	137	153	142	141	152	140	143	145	146
	154	155	156	157	148	158	159	144	160	170	164	165	166	179	172	173	175	176	184	161
	167	168	177	187	185	194	186	188	189	193	191	190	195	196	197	199	202	198	200	192
	178	180	183	181	182															
	6	1	2	4	3	201	25	20	19	21	22	23	24	26	27	28	29	33	30	31
	32	34	35	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	83	69	111
	70	110	112	41	40	37	38	39	62	63	64	68	71	65	66	42	43	44	45	46
	48	47	53	49	50	75	54	55	61	56	59	60	57	58	51	52	72	73	74	76
	77	82	78	67	79	80	81	84	85	86	90	91	88	89	87	92	99	98	94	97
	93	96	95	100	105	130	101	109	102	107	134	131	103	106	108	104	132	133	113	171
	169	114	124	161	163	115	118	162	204	122	123	125	120	116	203	174	119	205	117	121
	126	127	129	128	135	138	158	159	137	150	147	153	145	146	152	144	149	139	142	136
	140	151	154	155	156	157	148	141	143	160	179	184	164	165	170	172	173	175	176	178
	166	167	168	177	186	195	188	196	194	197	199	200	202	198	185	180	183	181	182	187
	189	193	190	191	192															
	2	20	19	201	6	3	1	4	25	21	22	23	34	24	28	27	29	30	32	33
	31	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	26	35	36	69	75	41
	83	110	112	37	38	39	70	71	62	63	64	42	72	40	54	55	59	56	61	60
	57	58	68	111	73	74	76	78	77	79	82	65	66	67	80	81	84	85	88	86
	90	91	87	89	43	44	45	51	53	48	49	50	52	46	47	92	93	95	94	98
	96	97	99	100	131	103	104	109	105	106	107	130	134	132	133	108	101	102	113	171
	161	123	174	114	205	122	121	203	118	204	163	115	116	124	125	162	119	120	117	169
	126	127	129	128	135	147	137	158	142	153	139	141	152	136	144	148	150	159	138	145
	140	143	146	151	149	160	170	178	172	184	173	164	165	166	167	168	179	180	183	181
	182	154	155	175	176	177	187	194	188	185	186	195	196	197	199	198	202	200	156	157
	189	193	191	190	192															

ตารางที่ ข.128 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	2	4	6	25	21	20	19	201	1	22	23	24	26	28	29	30	32	33	31	34
	27	35	3	5	13	14	7	15	16	17	18	8	9	10	11	12	36	40	42	72
	69	110	111	70	75	37	38	39	83	71	73	74	43	44	45	51	52	46	47	76
	77	82	79	78	62	48	49	50	54	55	59	61	56	60	41	53	63	64	65	68
	66	67	80	81	112	57	58	84	85	90	91	86	87	88	89	92	95	99	98	94
	93	96	97	100	109	134	130	101	102	105	106	103	104	107	108	113	116	174	171	161
	122	204	121	119	124	125	115	203	205	118	114	123	162	163	120	126	128	127	129	135
	149	153	158	150	141	159	140	147	136	139	144	138	152	142	145	146	148	169	131	132
	133	151	154	155	156	157	143	137	117	160	179	178	164	165	166	167	180	183	170	172
	173	175	184	176	168	177	188	187	186	194	195	196	197	202	198	199	200	185	189	190
	191	192	193	181	182															
	201	20	21	22	23	1	34	19	24	26	27	25	28	29	33	30	32	2	3	4
	5	13	14	15	16	17	7	8	9	10	11	12	6	18	31	35	36	111	41	72
	62	63	83	110	37	38	64	68	40	65	66	67	75	39	42	54	43	44	55	61
	59	60	56	57	58	45	51	46	47	48	53	52	49	50	69	70	71	73	74	76
	79	77	82	78	80	81	84	85	86	88	90	87	91	89	92	96	93	99	94	95
	98	112	97	100	105	103	104	131	132	106	109	101	102	133	107	108	113	169	171	121
	116	118	204	205	114	122	124	162	203	125	119	117	161	120	123	126	127	128	129	135
	158	149	151	139	159	153	154	155	144	152	138	156	142	150	141	140	143	137	130	163
	145	146	174	134	147	157	115	136	148	160	178	184	179	164	165	166	167	168	170	172
	173	175	176	180	181	182	183	177	195	186	188	194	187	196	197	199	198	202	185	189
	193	191	192	200	190															
	1	20	25	21	22	23	34	19	6	24	26	201	27	2	4	28	29	30	31	33
	32	35	3	5	7	13	14	8	9	10	11	12	15	16	17	18	36	83	69	40
	42	72	41	54	75	43	55	61	59	112	37	38	39	110	70	71	111	60	73	56
	57	58	62	63	64	68	65	66	67	44	45	46	48	53	47	49	50	51	52	74
	76	79	77	82	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	98	99	94	93
	97	100	103	130	134	101	102	131	132	133	105	107	106	108	96	109	95	104	113	204
	205	123	114	122	120	117	163	118	169	124	203	174	162	125	115	161	171	116	119	121
	126	128	127	129	135	153	152	136	139	145	158	142	154	138	137	146	148	155	156	150
	159	140	151	157	147	149	144	141	143	160	164	179	170	172	173	175	176	178	180	183
	181	182	165	166	167	168	177	187	195	196	186	188	185	194	197	198	199	202	189	190
	193	184	191	192	200															

ตารางที่ ข.129 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	
	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	
	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	
	3	3	3	6	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	5	
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	
	5	5	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	
	5	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	
	5	6	6	5	6																
	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	
	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	
	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	
	2	2	2	2	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	4	4	
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	6	
	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	
	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	
	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	
	5	5	5	5	5																
	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	
	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	
	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	
	3	3	3	4	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	5	6	5	6	6	
	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	
	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	
	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	
	6	6	5	6	5																
	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	3	4	3	
	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	
	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	3	
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	6	3	3	6	3	3	3	5	
	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5	5	
	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	
	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	
	5	6	6	5	5																

ตารางที่ ข.129 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	
	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	
	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	
	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	4	4	4	4	1	1	1	1	3	3	
	3	3	3	3	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	4	3	4	3	
	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	3	4	
	3	4	3	4	3	4	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	
	4	3	4	4	3	4	3	3	3	4	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	
	6	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	
	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	
	6	5	6	5	5																
	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	
	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	
	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	
	4	3	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	
	4	4	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	
	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	6	5	6	5	5	
	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	
	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	
	5	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	6	6	6	5	5	5	
	6	6	5	6	6																
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	
	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	
	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	
	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	
	2	2	4	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
	3	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	
	3	4	3	4	4	4	4	3	3	4	5	5	4	4	4	4	5	6	6	6	
	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	
	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	
	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	
	6	5	6	5	6																

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.130 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	1	21	20	22	25	23	201	24	19	26	27	2	28	4	34	3	5	13	29	14
	33	7	30	15	8	32	16	31	9	17	10	35	11	12	18	6	36	75	62	41
	83	111	40	42	110	54	69	70	72	37	112	63	55	64	59	65	60	38	56	68
	57	66	58	39	67	43	61	71	44	45	53	48	49	50	46	47	73	51	52	74
	76	79	78	77	80	81	84	82	85	90	91	86	88	89	87	92	94	97	99	93
	96	98	95	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	105	102	107	106	108	113	118
	123	162	204	115	161	174	122	117	171	121	116	119	205	169	203	163	114	124	120	125
	126	129	128	127	135	153	144	137	150	136	145	154	142	155	146	138	149	147	156	151
	139	152	157	141	148	158	159	140	143	160	170	172	164	173	165	166	167	168	175	184
	178	176	179	177	195	194	187	185	196	180	197	183	202	181	198	188	186	199	182	200
	189	191	190	193	192															
	1	21	20	22	2	23	25	34	3	19	201	24	6	26	27	4	28	5	13	29
	14	15	30	7	32	16	31	8	33	17	9	35	10	18	11	12	36	75	62	40
	110	63	112	42	54	72	37	55	64	61	43	56	83	59	68	57	38	69	60	44
	58	39	111	70	41	65	71	73	45	66	51	67	52	46	48	53	49	50	74	47
	76	79	78	77	80	81	84	82	85	90	88	91	86	89	87	92	94	98	95	93
	96	97	99	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	105	102	107	106	108	113	119
	123	124	120	174	122	114	205	125	204	161	171	121	115	203	118	163	117	126	116	129
	128	162	127	135	149	138	144	169	148	139	158	153	141	154	150	136	140	147	159	151
	142	155	145	156	152	143	137	146	157	160	170	172	164	173	175	179	165	176	166	167
	168	177	186	195	194	187	185	196	184	178	188	180	197	181	198	182	199	200	189	191
	190	192	193	202	183															
	1	21	25	19	2	6	4	3	5	13	14	15	201	16	17	7	18	8	20	22
	9	10	11	12	23	34	24	28	29	33	27	26	30	32	31	35	36	75	41	83
	42	110	37	38	39	69	70	62	63	112	71	40	54	55	111	59	43	56	64	68
	57	72	61	73	60	74	65	76	79	78	66	77	67	44	58	80	45	53	46	47
	48	49	50	81	84	85	90	88	86	91	89	87	51	52	82	92	94	98	95	93
	96	99	97	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	105	102	107	106	108	113	203
	118	123	162	171	205	121	169	119	114	116	161	174	124	120	125	163	117	122	126	204
	115	128	127	129	135	153	144	147	154	142	155	152	149	138	158	150	148	139	141	151
	140	143	159	136	156	145	157	146	137	160	170	172	164	173	175	179	176	178	165	184
	166	167	168	177	186	195	194	187	185	196	180	197	181	199	182	198	188	183	202	189
	191	190	192	200	193															
	1	21	20	22	2	23	6	34	201	24	3	26	27	4	25	28	5	19	13	29
	14	33	7	30	15	8	32	16	31	17	9	35	10	18	11	12	36	75	62	63
	112	42	64	41	40	110	72	37	111	38	54	69	70	65	83	39	66	67	68	55
	71	61	73	59	74	56	76	79	78	57	58	77	80	60	82	81	84	43	85	90
	91	88	89	86	87	44	45	53	48	49	50	46	47	51	52	92	94	98	95	93
	96	99	97	100	103	130	109	131	104	134	132	105	133	101	106	107	102	108	113	114
	122	117	205	121	120	204	119	115	203	161	174	116	123	162	171	169	118	163	124	125
	126	127	129	128	135	153	144	151	140	152	154	142	155	145	156	137	147	157	146	148
	136	139	141	143	150	149	138	158	160	170	159	178	184	179	180	181	183	182	164	165
	166	167	168	172	173	175	176	177	186	195	194	187	185	196	197	198	188	199	189	191
	190	192	193	200	202															

ตารางที่ ข.130 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1 21 20 22 2 25 19 4 23 6 34 201 24 3 26 27 5 13 7 14 15 28 8 29 16 17 30 32 18 9 33 31 10 35 11 12 36 75 110 72 83 42 62 63 112 40 111 43 54 55 41 64 59 68 61 56 60 44 57 65 66 67 37 69 70 38 39 45 53 46 47 48 49 50 58 71 51 52 73 74 76 79 78 77 80 82 81 84 85 90 91 88 86 87 89 92 94 98 95 99 97 100 103 130 109 131 104 134 132 101 96 133 105 102 107 93 106 108 113 169 122 124 119 123 117 171 114 115 116 205 120 203 161 121 204 118 125 126 163 127 162 174 128 129 135 152 137 139 153 144 147 154 142 155 145 158 156 146 138 159 149 151 136 148 141 150 140 143 160 170 178 179 184 164 180 183 181 157 172 173 175 176 165 166 167 168 177 195 194 187 185 196 186 188 197 198 202 189 191 190 192 182 199 200 193
	1 21 20 22 2 23 201 24 6 4 27 25 28 19 26 34 29 30 31 3 33 5 13 32 14 7 35 8 9 10 11 12 15 16 17 18 36 75 62 112 42 110 72 37 111 69 70 40 54 38 55 71 56 41 57 43 58 63 64 59 73 60 74 61 65 76 79 78 66 77 67 82 39 44 68 45 53 46 47 83 51 80 52 81 84 85 90 91 88 86 89 87 48 49 50 92 94 99 97 98 95 93 96 100 103 130 109 131 104 134 132 105 133 106 101 107 108 102 113 169 123 119 161 174 203 204 115 117 114 171 124 120 125 163 205 122 162 118 116 121 126 128 127 129 135 153 144 137 158 147 149 138 148 139 142 151 140 136 152 150 159 154 155 145 156 146 157 141 143 160 170 172 164 173 175 178 165 176 179 166 184 167 168 177 186 195 194 187 185 196 180 197 183 202 188 198 181 199 182 189 191 190 192 200 193
	1 21 20 22 2 4 23 6 34 25 19 3 5 7 8 13 14 201 24 28 29 30 15 16 26 27 33 17 9 10 11 12 18 31 32 35 36 75 69 70 40 111 71 110 72 83 42 54 55 73 59 74 43 61 76 56 62 63 60 64 41 65 44 68 66 79 78 57 77 67 82 58 80 112 81 84 85 90 88 91 89 37 86 38 87 39 45 48 53 46 47 49 50 51 52 92 93 96 99 98 95 94 97 100 103 130 109 131 104 134 132 101 133 105 107 106 108 102 113 174 124 204 161 169 123 122 120 121 115 117 119 116 205 171 114 125 163 203 118 162 126 127 129 128 135 153 148 154 151 147 149 144 136 137 150 138 140 155 145 156 142 157 141 146 139 158 159 143 152 160 170 172 164 173 175 184 176 178 165 179 166 167 168 177 195 194 187 196 180 188 197 181 199 182 198 185 183 202 200 186 189 191 190 192 193
	1 21 20 22 2 23 201 24 6 34 3 19 26 27 25 28 4 29 5 13 33 7 30 14 31 8 32 35 9 15 16 10 17 11 12 18 36 75 62 41 83 42 110 63 111 72 40 112 43 54 69 70 44 64 65 68 55 71 56 73 59 74 57 76 79 78 66 67 60 77 80 81 82 58 37 61 38 84 39 45 53 46 47 85 90 88 86 91 89 87 51 52 48 49 50 92 94 97 99 98 95 93 96 100 103 130 109 131 104 134 132 101 133 102 105 107 106 108 113 203 205 124 115 163 123 120 119 114 117 171 174 122 121 169 118 204 161 162 125 126 127 129 128 116 135 153 147 154 142 155 141 144 137 152 149 148 150 138 158 159 136 156 140 143 139 157 151 145 146 160 170 172 164 173 175 179 176 184 165 166 167 168 177 186 195 194 187 185 178 196 188 189 191 190 192 197 180 198 193 199 200 183 202 181 182

ตารางที่ ข.130 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	20	22	2	23	6	34	201	24	25	28	19	29	33	27	3	26	4	5
	13	14	30	7	32	8	31	9	35	10	15	11	12	16	17	18	36	75	69	70
	110	37	38	39	42	72	83	62	41	111	40	54	55	71	63	73	112	56	64	57
	68	61	65	43	58	74	76	79	78	66	77	67	59	82	44	80	81	45	53	46
	48	84	60	85	90	49	88	89	47	91	86	87	50	51	52	92	94	98	95	93
	96	99	97	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	102	105	106	107	108	113	169
	163	120	123	205	203	174	122	121	161	119	114	116	115	204	171	162	124	125	117	118
	126	128	129	127	135	153	141	149	140	136	148	145	137	138	151	147	154	152	142	155
	146	139	150	158	144	159	143	160	170	172	164	173	178	184	165	175	179	176	180	183
	181	166	167	168	177	195	182	188	196	186	194	187	185	197	198	199	156	200	202	157
	189	191	190	192	193															
	1	21	20	22	2	23	201	24	19	34	4	26	27	3	6	5	13	7	25	28
	8	14	29	15	30	16	31	17	9	33	10	18	11	12	32	35	36	75	42	110
	72	40	54	69	70	55	112	37	111	59	43	61	71	62	41	56	38	39	57	63
	83	58	44	60	64	73	45	53	46	47	48	49	50	74	65	76	79	78	66	77
	67	82	51	52	68	80	81	84	85	90	88	89	86	91	87	92	94	99	97	93
	96	98	100	103	130	109	131	104	134	132	105	133	106	101	102	107	108	95	113	203
	118	171	123	115	205	161	169	124	117	120	125	174	119	163	114	121	204	122	126	116
	129	128	162	127	135	153	158	144	151	138	159	139	141	154	152	150	137	140	155	145
	156	142	143	136	148	149	157	146	147	160	170	172	164	173	175	165	176	179	166	167
	168	177	186	195	194	187	185	196	184	178	197	180	198	183	199	181	202	182	188	200
	189	191	190	192	193															
	19	21	20	22	25	23	6	1	34	24	27	201	28	29	30	33	31	2	32	26
	3	35	4	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	36	69	70	110
	40	42	43	111	83	62	71	41	75	37	72	44	54	63	64	68	38	112	39	65
	45	53	48	55	49	50	59	56	60	61	57	51	66	73	46	67	52	74	76	58
	77	47	79	78	80	82	81	84	85	90	88	86	91	87	89	92	94	98	97	95
	93	96	99	100	103	130	109	101	102	105	134	107	104	106	108	113	203	124	204	121
	131	122	117	115	114	125	120	118	169	123	119	171	174	126	161	163	116	127	128	132
	129	205	162	135	133	150	148	153	149	152	154	147	138	145	158	142	136	159	140	155
	139	137	151	144	146	156	141	143	160	184	170	172	173	175	176	179	178	157	164	165
	180	183	181	182	166	167	168	177	195	194	187	185	186	188	189	193	190	191	196	192
	197	202	198	199	200															
	1	21	20	22	2	23	201	24	6	34	4	26	27	3	19	5	13	14	7	15
	8	25	28	16	9	17	10	18	11	12	29	33	30	31	32	35	36	75	62	41
	83	42	110	72	40	54	112	55	69	70	56	71	111	57	37	63	64	58	43	61
	38	39	59	65	60	66	44	67	73	45	53	74	76	79	78	51	77	48	49	50
	82	68	80	52	81	84	85	90	88	86	89	87	46	47	91	92	95	93	96	97
	99	94	98	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	102	105	107	106	108	113	114
	124	116	161	205	119	115	171	204	118	122	162	117	121	120	163	125	174	203	169	123
	126	129	128	127	135	153	148	150	149	137	139	141	154	142	155	145	156	146	157	152
	138	136	147	151	140	158	159	143	144	160	170	172	164	173	175	179	176	178	165	166
	184	167	168	177	195	194	187	185	196	186	180	188	183	189	191	190	192	197	181	199
	182	198	200	202	193															

ตารางที่ ข.130 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1	21	20	22	25	23	201	24	6	27	19	26	28	2	4	34	3	5	7	8
	29	13	33	9	10	11	12	14	30	15	32	16	31	17	35	18	36	75	111	83
	42	62	63	112	40	54	41	69	43	55	72	44	59	37	60	64	61	38	65	56
	110	57	39	58	70	71	45	53	68	73	48	49	50	74	46	47	51	52	66	76
	79	78	77	67	82	80	81	84	85	90	88	91	89	86	87	92	94	97	96	99
	98	95	93	100	103	130	109	131	104	134	132	101	133	105	102	107	106	108	113	169
	203	118	123	122	119	114	115	121	120	205	124	204	116	174	117	171	162	163	125	126
	127	128	161	129	135	158	153	139	159	140	147	154	142	155	145	156	146	149	136	157
	141	137	150	138	148	143	151	152	144	160	170	172	164	173	175	184	165	176	179	166
	167	168	177	195	194	187	186	185	178	196	180	197	181	198	183	202	188	199	182	189
	191	190	192	200	193															

ตารางที่ ข.131 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1
	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	1
	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1
	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	2	2	1	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5
	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	6	6	5	5
	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6
	6	6	5	6	5															
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1
	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
	2	2	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	6	6	5
	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6
	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6
	5	5	6	5	5															

ตารางที่ ข.131 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	
	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	1	1	
	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	
	3	3	3	4	4	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	3	6	3	3	6	3	
	3	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	
	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	
	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	
	6	5	5	6	6																
	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	
	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	
	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	1	1	1	4	4	
	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	6	3	3	3	6	5	5	
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	
	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	
	6	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	5	6	
	5	5	6	6	5																
	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	
	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	
	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	
	1	4	3	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4	
	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	6	3	3	3	3	6	6	5	
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	
	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	
	5	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	
	5	5	6	6	6																
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	
	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	
	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	
	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	4	
	3	3	3	4	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	4	
	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	5	6	6	
	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5	6	
	6	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	
	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	
	6	5	5	6	6																

ตารางที่ ข.131 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2
	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	2
	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1
	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	4	1	1	3	4	3	4
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	4	3
	4	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5	6
	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5
	6	6	6	5	5	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6
	6	6	5	5	6															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	2
	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1
	2	1	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	4	4	1	4	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	6	6	6	6
	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	6
	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	6
	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	6
	6	5	5	5	5															
	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1
	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	2
	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2
	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	4	1	1	1	1	3	3	3
	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	6	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	3	3	3	6	3	3	3	5
	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6
	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5
	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5
	6	6	5	5	6															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	2	2
	2	1	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1
	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	1	3	4
	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	4
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3
	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6
	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6
	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6
	5	6	5	5	6															

ตารางที่ ข.131 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2
	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	4	4
	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4
	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3
	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	6
	3	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6	5	5
	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6
	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	5	5	6	5	6	6	5
	6	5	6	6	6															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	1
	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	2	2	2	1	1	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2
	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	3	4	3	3	3
	4	4	4	3	3	4	3	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	3	3
	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	4	4	3	3	4	3	4	5	4	4	4	6	6	6	6	5	5	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	6	5
	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6
	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6
	5	6	6	5	6															
	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2
	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2
	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2
	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	3	2	4
	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4
	3	4	4	3	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	5	4	6	5	6	5	6	6	6	6
	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5
	5	6	6	6	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6
	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5
	6	5	5	6	6															

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.2.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.132 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

ลำดับขั้นงาน	6	25	1	20	21	22	201	19	23	24	28	26	2	29	27	30	4	33	3	34
	32	31	35	5	13	14	15	16	7	17	8	18	9	10	11	12	36	75	62	63
	111	41	42	40	54	72	110	64	68	55	69	61	70	59	65	112	56	37	57	71
	66	58	67	60	43	73	44	74	76	78	79	77	80	82	81	83	84	85	90	91
	86	87	38	88	89	39	45	46	47	53	51	48	52	49	50	92	96	95	98	93
	99	94	97	100	103	131	104	134	132	101	133	109	105	130	106	102	107	108	113	162
	118	124	115	125	169	116	174	114	171	120	121	163	123	204	122	161	203	205	119	126
	127	117	128	129	135	151	136	153	144	150	139	137	140	148	154	147	155	145	156	146
	141	157	142	138	143	158	159	149	152	160	170	172	184	173	179	178	175	164	176	165
	166	167	168	177	187	185	180	194	183	186	181	182	188	189	191	190	195	193	196	192
	197	199	200	202	198															
	6	25	1	20	21	22	201	23	24	28	2	29	27	30	3	31	26	19	32	4
	33	34	35	5	13	7	14	15	8	9	10	11	12	16	17	18	36	75	62	63
	40	42	43	110	64	37	44	83	112	69	72	38	54	39	55	70	61	65	59	71
	60	66	68	41	56	111	67	57	73	74	76	78	79	77	58	82	45	46	48	49
	50	53	51	80	52	47	81	84	85	90	91	86	87	88	89	92	96	95	98	93
	99	94	97	100	103	131	104	134	132	101	133	109	105	130	106	102	107	108	113	169
	205	119	161	124	117	125	171	120	174	115	123	121	162	203	163	118	122	204	126	116
	129	127	128	114	135	153	149	138	151	150	141	154	152	155	145	156	146	140	144	139
	148	142	157	143	147	136	137	160	170	172	184	173	164	175	178	176	165	166	179	167
	168	177	187	188	185	180	195	158	194	181	186	183	159	189	191	190	196	192	197	202
	199	198	182	200	193															
	6	25	1	20	21	22	2	23	24	28	26	3	34	29	201	33	4	30	5	32
	7	19	8	31	27	13	14	15	16	35	17	9	18	10	11	12	36	75	62	63
	111	42	83	112	64	41	68	40	54	69	55	70	56	65	57	71	66	61	72	110
	73	58	74	76	78	79	77	37	82	38	67	59	80	60	39	81	84	85	90	91
	88	89	43	86	87	44	45	46	48	49	50	53	51	47	52	92	96	95	98	93
	99	94	97	100	103	131	104	134	132	101	133	109	105	130	107	102	106	108	113	204
	121	171	124	161	205	114	119	125	163	123	118	122	115	174	120	126	116	128	162	129
	127	135	153	144	158	149	142	159	147	139	154	137	148	169	117	151	150	141	155	145
	156	146	138	136	157	140	143	203	152	160	170	172	184	173	164	175	165	176	166	178
	167	168	177	187	188	185	179	195	194	180	181	186	183	189	191	190	196	192	197	182
	198	202	199	200	193															
	6	25	1	20	19	21	22	201	23	24	28	2	29	27	30	34	32	31	4	33
	26	3	35	5	13	14	15	7	8	9	10	11	12	16	17	18	36	75	110	112
	40	42	54	69	55	43	62	63	111	61	70	59	56	37	64	68	83	44	60	71
	57	41	58	38	72	65	66	73	67	74	76	78	79	77	80	82	81	39	45	46
	47	48	49	50	53	51	84	52	85	90	91	86	87	88	89	92	96	95	98	93
	99	94	97	100	103	131	104	134	132	101	133	130	102	105	106	107	109	108	113	121
	117	119	161	204	122	174	114	162	124	203	163	120	118	125	205	123	126	116	128	127
	129	169	115	135	153	144	158	149	159	147	139	154	152	151	136	138	141	137	150	140
	155	145	156	146	142	157	148	171	143	160	170	172	184	173	164	175	178	176	165	166
	179	167	168	177	187	188	185	180	194	183	186	181	189	191	190	195	193	196	192	197
	182	202	198	199	200															

ตารางที่ ข.132 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	6 25 1 20 19 21 22 201 23 34 24 28 26 2 29 3 33 4 30 5 13 14 31 7 15 32 27 16 35 17 8 18 9 10 11 12 36 75 62 111 63 40 42 54 110 64 55 68 72 41 59 69 60 70 61 112 83 43 56 65 57 71 66 73 67 74 58 76 78 79 77 80 82 81 44 37 84 85 90 91 86 87 88 89 38 39 45 46 47 48 49 50 53 51 52 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 131 104 134 132 101 133 109 105 130 107 102 106 108 113 121 115 204 122 161 162 120 117 119 203 163 171 169 123 124 174 114 125 205 118 126 116 128 127 129 135 148 137 152 138 151 136 149 153 150 147 140 144 139 154 142 155 145 156 146 141 158 157 159 143 160 170 172 184 173 164 175 178 176 165 166 179 167 168 177 187 188 185 180 194 181 186 183 189 191 190 195 193 196 192 197 182 198 202 199 200
	6 25 1 20 21 22 19 23 24 28 34 29 201 30 2 27 31 26 3 33 4 32 35 5 13 14 15 7 16 17 18 8 9 10 11 12 36 75 112 83 40 41 42 111 62 63 69 72 110 43 37 64 70 44 38 54 65 39 45 46 55 66 61 71 67 59 68 60 53 51 47 48 49 56 50 73 52 74 57 76 79 77 78 58 82 80 81 84 85 90 91 86 87 88 89 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 131 104 134 132 101 133 109 105 130 107 102 106 108 113 121 115 174 204 203 122 161 205 171 120 117 119 123 163 162 118 114 169 124 125 126 116 129 127 128 135 153 144 138 148 140 139 154 152 155 145 156 146 142 157 151 150 141 158 137 136 149 159 147 143 160 170 172 184 173 164 175 178 176 165 166 179 167 168 177 187 188 185 180 194 181 186 183 189 191 190 195 193 196 192 197 182 198 199 200 202
	6 25 1 20 21 22 201 23 24 28 19 26 2 34 29 27 3 33 4 30 5 32 7 8 13 14 15 16 9 10 11 12 17 31 35 18 36 75 72 41 42 83 40 112 54 62 111 55 43 37 63 56 38 57 39 110 64 59 68 60 65 61 66 69 58 70 44 67 45 46 48 49 50 53 51 52 47 71 73 74 76 78 79 77 80 82 81 84 85 90 91 86 87 88 89 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 131 104 134 132 101 133 109 105 130 106 102 107 108 113 169 114 119 123 121 124 203 204 125 205 174 117 161 171 116 122 115 118 162 120 126 163 129 128 127 135 153 144 150 137 147 139 154 152 155 145 156 146 140 149 136 157 141 158 151 138 159 148 142 143 160 170 172 184 173 164 175 178 176 165 166 179 167 168 177 187 188 185 180 194 183 186 189 191 190 195 193 196 192 197 181 202 182 198 199 200
	6 25 1 20 201 19 21 22 2 23 24 28 26 3 34 29 27 30 4 32 5 13 33 14 15 7 16 31 17 8 9 35 10 11 12 18 36 75 62 111 41 42 83 112 69 40 54 43 44 37 63 110 55 38 59 56 70 60 39 57 71 58 64 68 61 65 45 46 48 49 66 50 53 51 67 47 72 73 52 74 76 78 79 77 80 82 81 84 85 90 91 86 87 88 89 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 131 104 134 132 133 109 105 130 107 101 102 106 108 113 123 174 122 203 204 121 115 161 169 114 119 205 120 116 162 117 163 171 124 118 125 126 128 129 127 135 151 136 149 153 144 138 137 147 152 148 140 139 141 154 150 142 143 158 159 155 145 156 146 157 160 170 172 184 173 164 175 165 176 166 179 167 168 177 187 188 185 178 186 194 180 189 191 192 195 193 196 197 183 199 181 202 182 198 190 200

ตารางที่ ข.132 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	6 25 1 20 21 22 19 23 24 28 201 29 2 26 30 3 31 4 32 27 33 34 35 5 13 14 15 7 16 17 8 18 9 10 11 12 36 75 62 37 63 40 41 42 54 111 55 64 110 59 60 69 112 38 56 65 39 61 70 57 68 72 58 66 67 83 43 71 73 74 76 78 79 77 80 82 81 44 84 45 85 90 91 86 87 88 53 51 52 46 48 49 50 89 47 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 131 104 134 132 101 133 109 105 130 106 102 107 108 113 169 205 123 163 120 117 119 161 171 203 204 122 115 174 114 118 162 124 121 125 116 126 128 127 129 135 138 151 136 141 150 137 153 144 139 148 140 154 152 155 145 156 146 142 157 143 149 147 160 170 172 184 173 164 175 165 176 166 179 167 168 177 187 188 185 178 158 194 180 159 195 196 183 197 181 186 182 202 199 198 200 189 191 190 192 193 6 25 1 20 21 22 23 24 28 26 2 27 29 201 33 34 30 19 31 3 32 35 4 5 7 13 8 14 15 16 9 10 11 12 17 18 36 75 110 37 62 112 69 63 40 41 83 72 42 54 43 64 68 55 44 59 56 38 57 65 39 58 70 61 71 66 73 67 60 74 76 78 45 53 51 52 48 49 111 79 77 80 82 81 84 50 85 90 91 86 88 46 47 89 87 92 96 95 94 97 99 98 93 100 103 131 104 134 105 130 106 101 102 107 108 109 113 204 122 115 203 119 161 118 162 114 163 120 169 123 124 125 205 174 171 121 117 126 116 128 127 129 132 133 135 137 136 149 139 152 148 142 158 138 144 140 159 147 141 143 151 150 153 154 155 145 156 146 160 170 172 184 173 164 175 165 176 166 167 168 177 187 188 179 194 185 186 157 178 189 191 190 195 180 183 196 192 197 193 199 181 182 198 200 202 6 25 1 20 19 21 22 201 23 24 28 26 2 29 27 30 4 33 3 34 31 5 32 7 13 14 15 8 16 35 17 9 10 18 11 12 36 75 110 37 41 42 72 38 111 62 63 40 54 69 112 64 55 43 56 65 59 68 57 70 61 66 71 58 83 67 60 73 74 76 44 39 78 79 77 80 82 81 84 45 46 53 51 47 48 49 50 85 90 91 52 88 89 86 87 92 96 94 97 99 93 95 98 100 105 130 106 107 108 101 102 103 131 104 134 132 133 109 113 121 117 115 174 114 116 169 120 118 122 205 123 124 161 204 163 162 203 171 125 119 126 127 128 129 135 153 144 138 141 154 152 155 145 156 146 142 136 150 137 157 147 148 140 139 151 143 158 149 159 160 170 172 184 173 164 179 165 166 178 175 176 167 168 177 187 188 185 180 194 181 186 182 189 191 190 195 193 196 192 197 183 199 198 200 202 6 25 1 20 201 19 21 22 2 4 23 24 28 26 3 34 29 27 30 5 32 13 33 7 8 31 9 35 10 11 14 15 16 17 12 18 36 75 112 41 83 72 110 69 111 70 40 37 62 63 64 42 54 38 65 71 66 55 61 39 67 56 43 57 73 74 76 78 79 77 58 44 68 80 45 46 48 53 51 47 81 82 49 50 59 84 52 85 90 91 86 87 88 89 60 92 96 95 98 93 99 94 97 100 103 130 101 102 105 107 106 108 109 134 131 104 113 121 115 171 169 123 163 174 114 203 205 120 118 117 119 161 162 122 204 124 125 126 116 128 127 132 133 129 135 144 151 141 142 136 158 159 147 149 140 152 138 153 137 145 154 146 143 155 150 148 139 156 157 160 170 172 164 173 179 175 178 176 180 183 165 166 167 168 177 187 188 185 186 194 189 191 190 195 193 196 192 197 181 198 182 202 199 184 200

ตารางที่ ข.133 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	
	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	
	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	4	1	3	4	4	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	
	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	6	3	3	3	6	3	3	3	6	
	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	
	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	
	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	6	5	
	6	6	6	5	6																
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	
	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	3	2	4	3	3	3	3	
	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	3	3	6	6	
	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	
	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	
	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	6	5	6	6	6	5	
	6	6	5	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	4	1	4	1	1	1	3	4	4	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	6	6	5	6	5	
	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	
	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	
	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	6	6	6	5	6	5	
	6	5	6	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	
	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	
	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	
	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	3	4	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	3	3	3	3	6	3	3	6	3	3	3	3	3	6	6	5	5	
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	5	
	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	
	5	5	6	6	6																

ตารางที่ ข.133 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	
	1	1	2	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	
	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	3	3	3	4	4	4	4	
	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	6	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	
	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	
	6	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	
	5	6	5	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	
	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	
	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	
	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	3	
	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	6	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	6	6	3	3	3	5	6	6	
	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	
	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	
	5	6	6	6	5																
	1	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	
	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	
	2	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	6	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	6	3	3	5	6	6	6	
	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	
	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	5	
	5	5	6	6	6																
	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	2	
	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	
	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	6	6	3	6	3	3	5	6	
	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	
	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	
	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	6	5	
	5	5	6	5	6																

ตารางที่ ข.133 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2266 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	2	
	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	
	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	4	3	3	3	4	3	
	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	6	3	3	3	3	3	3	
	3	3	6	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	6	5	6	5	6	
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	
	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	
	6	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	6	
	5	6	5	5	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	
	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	
	1	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	3	3	3	3	3	2	
	4	4	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	
	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	
	3	4	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	4	4	6	5	
	5	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	
	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	
	6	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	
	5	5	6	6	5																
	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	2	1	
	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	
	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	4	3	4	4	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	
	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	
	3	3	3	3	4	3	3	3	3	5	4	6	6	5	6	6	5	5	6	5	
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	
	5	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	
	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	
	5	6	6	6	5																
	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	1	
	2	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	
	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	1	
	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	3	3	3	
	2	4	3	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4	4	3	
	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	4	4	6	5	
	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	
	6	5	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	
	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	
	5	5	6	5	6																

4.1 เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

4.3.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.134 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	2	21	20	22	4	25	3	5	23	34	24	26	201	7	13	14	27	19	6	28
	1	15	29	8	33	30	32	9	31	35	10	16	11	12	17	18	36	72	69	41
	83	112	111	62	70	40	42	63	110	64	54	37	75	55	61	43	65	38	66	68
	71	39	73	67	74	56	44	45	51	59	60	52	57	46	53	58	76	48	78	79
	47	49	50	77	80	82	81	84	85	88	90	89	86	87	91	92	96	94	97	95
	93	99	98	100	134	105	103	104	109	131	132	133	107	101	106	130	108	102	113	117
	122	123	171	204	163	205	116	120	124	125	161	119	169	118	114	203	162	174	115	121
	126	129	127	128	135	150	139	147	153	144	145	146	148	138	151	140	141	158	136	154
	137	152	155	159	149	156	142	143	160	178	164	157	179	184	170	180	165	166	183	167
	172	168	173	181	175	176	182	177	194	195	196	187	197	188	199	185	202	198	200	186
	189	193	191	190	192															
	6	19	2	20	25	3	1	201	4	5	13	21	14	15	7	22	16	23	17	8
	34	24	9	28	29	27	33	10	11	12	26	18	30	31	32	35	36	75	72	41
	69	70	83	40	112	42	37	62	71	38	111	39	54	73	55	56	43	74	76	110
	79	63	59	77	78	60	61	64	65	68	82	66	44	67	57	80	45	51	81	46
	52	48	49	53	50	84	47	85	86	88	89	87	90	58	91	92	96	99	95	94
	98	97	93	100	103	101	131	102	134	132	130	109	133	105	104	106	107	108	113	124
	125	161	174	122	162	119	120	114	115	123	169	171	163	117	116	121	205	203	204	118
	126	129	128	127	135	137	138	139	148	136	147	153	151	149	145	154	155	140	158	152
	146	159	142	150	144	141	143	160	164	178	179	156	184	180	183	157	165	166	170	181
	182	172	173	167	168	175	176	177	185	194	188	186	187	195	196	189	193	197	190	198
	191	199	202	200	192															
	20	21	201	19	25	1	22	2	23	4	34	3	5	13	6	14	15	24	26	27
	7	8	16	17	9	18	28	10	11	29	33	12	30	31	32	35	36	69	111	70
	40	110	41	83	75	62	71	42	37	63	54	43	72	112	64	73	74	68	65	55
	61	44	56	59	76	66	79	67	78	77	38	80	57	82	60	58	81	84	39	45
	51	46	85	48	53	47	88	89	90	91	86	87	49	50	52	92	94	93	96	95
	99	97	98	100	130	105	134	131	132	106	109	101	102	103	107	133	104	108	113	121
	162	174	117	118	119	163	120	204	203	116	123	205	122	169	115	124	161	125	171	126
	129	128	127	135	149	142	136	144	148	147	114	152	158	139	159	141	153	140	145	138
	154	137	150	155	151	156	143	146	157	160	164	178	170	179	184	165	180	181	172	173
	175	182	176	183	166	167	168	177	188	187	195	186	185	189	191	190	193	192	194	196
	197	199	200	198	202															

ตารางที่ ข.134 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	2	201	1	6	25	20	21	22	3	4	23	19	5	13	7	34	8	24	14	27
	28	9	10	29	26	30	11	31	15	12	32	16	33	35	17	18	36	72	112	40
	75	83	62	111	37	69	70	41	38	63	71	39	64	65	42	73	110	43	66	68
	67	44	74	76	78	45	79	54	55	61	59	46	48	53	56	49	60	50	77	51
	52	82	80	57	58	81	47	84	85	90	86	87	88	89	91	92	93	96	98	94
	99	95	97	100	105	130	107	109	106	103	108	131	101	104	134	102	113	132	133	171
	120	205	123	119	122	118	124	174	163	117	121	116	115	203	162	169	125	161	126	129
	128	127	135	114	141	145	149	146	142	138	137	147	140	139	148	150	151	143	158	204
	153	152	154	136	155	159	144	156	160	178	179	164	184	170	180	165	172	183	166	173
	175	181	182	167	157	168	176	177	194	195	185	188	196	197	199	186	200	187	198	202
	189	191	193	190	192															
	21	201	1	25	2	3	19	4	5	7	8	6	9	10	11	20	12	22	23	34
	13	14	15	24	16	27	26	28	29	17	33	30	32	18	31	35	36	72	110	112
	40	69	111	42	75	54	43	37	83	62	41	63	70	64	65	44	71	38	55	56
	73	68	74	76	79	66	77	59	57	82	78	60	67	39	58	61	45	80	51	81
	48	84	85	88	46	86	87	89	49	50	52	47	90	53	91	92	95	99	98	93
	94	96	97	100	131	105	132	101	134	102	130	107	106	103	133	108	104	109	113	118
	122	117	124	123	163	116	162	204	161	120	169	174	205	125	121	203	115	171	119	126
	127	129	114	128	135	137	138	144	152	147	141	142	139	153	145	151	136	148	140	143
	149	154	146	150	160	164	179	184	170	165	158	172	155	159	156	157	178	166	173	175
	167	180	181	183	182	168	176	177	187	185	186	194	195	196	188	197	189	199	193	200
	191	190	202	192	198															
	25	21	2	201	6	1	19	20	4	22	23	24	26	3	28	34	5	7	8	27
	29	9	33	30	32	13	10	31	11	14	35	15	16	17	12	18	36	37	112	110
	72	75	42	38	62	63	69	111	70	41	71	39	64	73	68	74	40	43	54	65
	55	59	61	76	77	66	79	67	60	56	83	82	44	78	80	81	84	45	51	57
	53	58	48	52	49	46	50	85	90	88	86	87	89	47	91	92	93	98	96	97
	94	99	100	95	101	134	131	105	102	106	109	107	130	132	133	108	103	104	113	169
	119	115	163	124	161	125	116	174	171	117	121	118	122	123	203	120	114	204	162	126
	128	127	129	205	135	139	144	153	158	147	152	150	141	136	159	145	142	149	146	148
	140	154	155	143	151	156	137	157	138	160	178	179	184	164	170	165	166	180	167	172
	168	183	173	175	176	177	194	181	185	188	186	182	187	195	196	197	189	199	193	191
	198	192	190	202	200															

ตารางที่ ข.135 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	
	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2	
	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	
	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	1	3	2	
	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	
	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	
	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3	
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	6	5	6	
	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	
	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6	6	6	
	5	6	6	5	5																
	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	2	1	2	
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	
	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	1	2	
	2	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	3	2	3	
	3	3	3	3	3	2	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	
	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3	
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	
	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	
	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	
	6	6	5	6	5																
	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	
	2	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	2	
	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	3	
	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	
	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	
	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	6	
	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	6	6	
	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	
	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	
	6	6	6	6	5																
	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	
	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	
	1	2	2	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	
	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	4	1	1	3	
	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	
	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	4	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	6	3	3	6	6	5	
	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	5	6	6	
	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	
	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	6	6	6	6	6	6	5	
	5	6	6	5	5																

ตารางที่ ข.135 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1
	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2
	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2
	1	2	2	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	4	4	1	1	3	4
	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4
	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	4
	3	3	3	4	4	4	4	3	4	3	3	3	6	3	3	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5
	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6
	6	5	5	5	6															
	2	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2
	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2
	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	2
	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	4	3	4	3	3	4
	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	4
	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3
	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	6	3	3	3	3	5	5	6	6
	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6
	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6
	6	5	5	5	6															

4.3.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.136 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	2	201	3	19	6	1	25	21	20	22	23	34	24	28	27	29	30	32	31	33
	26	35	4	5	13	14	15	7	8	9	10	11	12	16	17	18	36	83	111	62
	63	41	110	37	75	72	64	68	42	40	43	44	38	39	45	48	49	53	46	51
	52	50	47	69	70	71	73	74	76	77	78	82	79	54	55	59	61	60	56	57
	58	112	65	66	67	80	81	84	85	90	88	89	86	91	87	92	95	94	98	97
	93	99	100	131	132	133	103	104	101	102	96	134	105	107	106	108	130	109	113	205
	174	162	204	114	123	124	125	121	120	119	118	117	116	115	161	203	171	169	163	122
	126	129	128	127	135	149	139	145	158	159	147	150	142	140	148	153	154	155	146	144
	152	138	151	136	156	157	137	141	143	160	179	170	172	164	165	166	167	168	184	173
	175	176	177	195	185	196	187	186	188	189	193	190	191	192	194	197	202	198	199	200
	178	180	181	182	183															

ตารางที่ ข.136 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	2	1	3	25	19	21	20	22	23	34	24	28	29	30	31	26	33	32	27	35
	201	6	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	12	36	42	40	43
	69	62	111	110	83	37	44	70	71	72	73	74	63	64	65	68	41	38	39	45
	53	46	51	52	48	49	50	47	112	76	77	79	78	82	75	66	67	80	81	84
	85	88	90	91	86	87	89	54	55	61	59	60	56	57	58	92	98	96	93	99
	95	97	100	134	131	109	101	105	102	106	130	103	104	94	132	133	107	108	113	205
	117	171	174	162	204	169	124	125	163	122	121	119	116	115	161	114	203	118	123	120
	126	127	128	129	135	158	159	153	154	150	145	147	146	144	142	138	140	136	139	149
	151	155	156	157	137	141	143	152	148	160	179	178	170	184	180	181	182	183	172	173
	175	176	164	165	166	167	168	177	195	194	187	185	188	196	197	202	199	198	186	189
	193	191	190	192	200															
	2	1	3	25	19	21	20	22	23	24	28	29	30	31	33	26	34	27	32	35
	201	6	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	12	36	37	42	72
	40	43	44	54	111	83	62	75	69	70	71	73	112	110	41	38	39	45	48	53
	51	52	46	47	55	61	59	60	56	57	58	49	50	74	76	78	77	82	79	63
	64	68	65	66	67	80	81	84	85	90	91	86	87	88	89	92	95	99	98	96
	94	97	100	130	134	105	109	107	103	104	101	131	132	133	106	108	93	102	113	205
	120	124	125	171	121	174	162	204	169	122	119	117	163	116	114	123	161	115	203	118
	126	129	128	127	135	158	159	153	154	150	145	147	146	144	142	138	140	136	139	149
	151	155	156	157	137	141	143	152	148	160	179	178	170	184	180	181	182	183	172	173
	175	176	164	165	166	167	168	177	195	194	187	185	188	196	197	202	199	198	186	189
	193	191	190	192	200															
	2	1	3	25	19	21	20	22	23	24	28	29	30	31	33	26	34	27	32	35
	201	6	4	5	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	12	36	37	110	62
	40	63	72	111	75	112	64	68	65	66	67	83	42	54	55	59	60	61	56	38
	39	41	57	58	69	70	71	73	74	76	78	79	77	82	80	81	84	85	90	88
	89	86	87	91	43	44	45	48	49	50	46	47	51	52	53	92	98	99	94	93
	95	97	100	103	109	101	104	102	105	106	107	108	130	131	132	133	96	113	205	163
	171	174	162	161	204	169	115	124	123	121	117	116	122	120	119	125	118	126	127	129
	128	135	138	150	153	148	147	145	146	144	142	141	140	143	139	154	149	152	151	203
	114	158	159	137	160	179	178	170	184	164	165	166	167	168	180	181	182	183	172	173
	175	176	177	195	194	187	185	188	196	197	202	199	198	186	200	155	156	157	136	134
	189	193	191	190	192															
	201	21	20	22	19	25	23	24	34	28	29	30	32	31	33	26	27	35	6	2
	4	3	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	1	36	110	37	62
	40	63	72	111	75	112	64	68	65	66	67	83	42	54	55	59	60	61	56	38
	39	41	57	58	69	70	71	73	74	76	78	79	77	82	80	81	84	85	90	88
	89	86	87	91	43	44	45	48	49	50	46	47	51	52	53	92	98	99	94	93
	95	97	100	103	109	101	104	102	105	106	107	108	130	131	132	133	96	113	203	204
	205	163	162	171	169	161	115	124	123	121	117	116	122	120	119	174	125	118	126	127
	129	128	135	138	150	153	148	147	145	146	144	142	141	140	143	139	154	149	152	151
	114	158	159	137	160	184	179	170	172	173	175	176	164	178	180	181	182	183	165	166
	167	168	177	195	186	196	188	185	187	194	197	202	199	200	198	155	156	157	136	134
	189	191	192	190	193															

ตารางที่ ข.136 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	201	25	21	20	22	19	23	34	24	27	26	28	29	30	33	32	31	35	6	2
	4	3	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	1	36	110	37	62
	40	63	72	111	75	112	64	68	65	66	67	83	42	54	55	59	60	61	56	38
	39	41	57	58	69	70	71	73	74	76	78	79	77	82	80	81	84	85	90	88
	89	86	87	91	43	44	45	48	49	50	46	47	51	52	53	92	98	99	94	93
	95	97	100	103	109	101	104	102	105	106	107	108	130	131	132	133	96	113	203	205
	163	162	171	169	161	115	124	123	121	117	116	122	120	119	174	125	118	126	127	129
	128	135	138	150	153	148	147	145	146	144	142	141	140	143	139	154	149	152	151	114
	158	159	137	160	184	179	170	172	173	175	176	164	178	180	183	181	182	165	166	167
	168	177	194	188	186	195	196	197	199	198	202	187	204	155	156	157	200	185	136	134
	189	191	193	190	192															
	201	25	21	20	22	19	23	34	24	27	26	28	29	30	33	32	31	35	6	2
	4	3	5	13	14	15	16	17	18	7	8	9	10	11	12	1	36	42	72	75
	112	111	62	63	64	68	83	65	66	67	41	37	38	39	110	69	70	71	40	54
	55	56	61	59	60	57	58	43	44	45	51	52	53	48	49	50	46	47	73	74
	76	77	82	78	79	80	81	84	85	88	90	91	89	86	87	92	95	97	99	98
	100	134	131	132	133	130	101	94	93	102	109	96	103	104	105	107	106	108	113	203
	205	118	120	114	169	161	121	117	116	122	119	174	171	162	115	123	204	124	125	126
	127	129	128	135	147	151	150	138	153	158	154	155	152	149	145	156	141	140	137	148
	146	159	136	144	142	143	157	163	139	160	184	170	172	164	165	173	175	176	179	166
	167	168	178	180	183	181	182	177	194	188	186	195	196	197	199	198	202	187	200	185
	189	191	193	190	192															
	21	201	2	4	6	25	19	1	20	22	23	24	34	28	29	30	33	32	27	26
	3	5	13	7	14	15	16	8	17	18	31	35	9	10	11	12	36	111	40	110
	83	75	72	69	70	71	73	74	76	79	78	77	82	62	42	54	55	61	56	57
	58	43	44	41	37	38	39	45	53	51	52	48	49	50	46	47	59	60	112	63
	64	68	65	66	67	80	81	84	85	90	88	91	86	87	89	92	95	98	97	93
	94	96	99	100	109	130	131	134	105	107	106	108	103	104	101	102	113	204	171	169
	162	161	163	123	122	117	116	115	114	119	174	118	124	125	121	120	126	129	127	128
	135	144	147	139	153	154	151	148	152	141	142	155	149	150	137	136	140	143	156	157
	205	158	159	203	145	146	132	133	138	160	178	164	165	166	167	168	170	172	173	175
	176	177	194	187	186	185	195	196	197	199	198	202	200	179	180	181	183	184	188	189
	190	191	192	193	182															
	21	6	201	25	1	20	22	19	2	4	3	5	7	13	14	15	16	17	18	8
	9	10	11	12	23	34	24	28	29	30	33	32	31	27	26	35	36	75	40	72
	112	111	62	63	83	64	68	110	41	42	43	44	54	55	59	60	56	57	58	37
	38	39	45	51	52	48	46	47	53	49	50	65	66	67	61	69	70	71	73	74
	76	77	79	82	78	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	92	95	98	97	96
	93	99	100	130	134	131	132	133	105	106	103	104	109	107	108	101	102	113	205	204
	203	163	174	171	114	115	122	169	124	161	121	116	162	117	125	123	120	118	94	119
	126	129	127	128	135	138	153	158	159	150	147	142	141	139	137	136	154	155	145	144
	149	152	148	146	151	156	157	140	143	160	184	178	170	179	180	181	182	164	165	166
	167	183	172	173	175	176	168	177	188	186	194	187	195	196	197	199	200	198	202	185
	189	193	191	192	190															

ตารางที่ ข.136 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	201	25	19	21	20	22	23	34	24	26	28	29	33	30	31	32	27	35	6	2
	3	4	5	7	13	14	15	16	17	18	8	9	10	11	12	1	36	72	41	40
	75	112	111	83	110	62	42	43	44	69	70	71	37	38	39	45	53	51	52	48
	49	50	46	47	54	55	61	59	60	56	57	58	63	73	74	76	77	82	78	79
	64	68	65	66	67	80	81	84	85	88	90	91	89	86	87	92	95	97	99	98
	100	134	131	130	132	101	94	93	102	109	96	133	103	104	105	107	106	108	113	118
	203	120	114	174	171	163	162	121	117	116	122	119	204	123	124	115	161	125	126	129
	128	127	135	151	137	152	145	158	159	153	154	150	149	148	144	139	136	146	147	141
	140	142	155	156	157	143	169	205	138	160	184	179	178	164	170	172	173	175	176	165
	166	167	168	177	195	186	187	188	194	196	197	198	202	199	200	185	189	191	190	192
	193	180	181	183	182															

ตารางที่ ข.137 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2
	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	4	4
	4	4	1	1	1	1	1	1	1	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4
	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3
	3	4	3	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	4	3
	6	5	6	5	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	6
	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5
	5	5	6	5	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6
	5	5	5	5	5															
	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	2	2	1
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1
	2	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	1	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	4	1	1	3	3	3
	3	3	4	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3
	4	3	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3
	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	6	3	3
	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5
	6	6	5	5	6															

ตารางที่ ข.137 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	4	1
	1	1	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3
	4	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3	3	4	4	3	3	4	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	6
	6	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6
	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5
	5	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5
	6	6	5	5	6															
	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1
	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	4
	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	6	5	6
	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	5	6	6	6	6	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5
	5	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	6
	5	6	6	5	5															
	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1
	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3
	3	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	6	5
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6
	5	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6
	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	6
	5	6	5	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1
	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	3	4	3	4	4	3
	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	3	3	3
	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	6	5	6
	5	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6
	6	6	6	5	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6
	5	6	6	5	5															

ตารางที่ ข.137 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1
	2	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4
	3	4	3	3	4	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	4	3	3	4
	3	4	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3
	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	5	5	5	4	6	6	6	6	5	6
	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6
	5	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6
	6	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	6	6	6	5	6	6	5
	5	6	6	5	5															
	1	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1
	2	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2
	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	3	3	2	2	4	3
	3	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4
	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3
	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4
	5	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5
	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5
	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	6
	5	6	5	6	5															
	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2
	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	2
	2	1	2	2	1	2	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	1	2	1	4
	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3
	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3
	3	4	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	6	3	3	3	3	5	6	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	6
	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5
	5	6	6	5	6															
	1	2	2	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2
	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1
	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	4	3	3	4
	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	4
	3	4	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	3	3	3	4	3
	3	4	3	5	5	4	4	4	4	4	4	4	6	6	6	5	6	5	6	5
	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	5
	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6
	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5
	6	5	5	5	5															

4.3.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.138 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	19	25	6	21	1	20	201	22	23	34	24	28	26	27	2	29	30	3	31	4
	32	33	35	5	7	13	14	15	16	8	9	10	11	12	17	18	36	75	69	37
	62	63	112	38	111	42	40	41	110	70	43	44	64	68	65	66	72	39	67	45
	53	51	48	49	71	54	46	47	55	50	52	73	74	76	79	78	77	82	80	83
	59	61	56	60	57	58	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	94	93	99	98
	95	96	97	100	103	101	104	131	132	102	109	133	130	134	105	107	106	108	113	115
	121	117	203	119	124	161	120	114	205	123	171	122	204	169	163	162	116	125	118	126
	128	129	174	127	135	153	139	136	149	158	141	154	142	144	138	140	151	147	155	145
	156	159	143	150	148	152	137	157	146	160	170	184	164	172	179	173	165	166	175	176
	178	180	167	183	168	177	186	188	187	195	196	185	194	181	182	197	198	189	199	193
	202	191	190	192	200															
	19	1	21	201	25	6	20	22	23	2	4	34	24	28	29	30	3	33	26	32
	27	31	35	5	7	13	14	15	16	8	17	18	9	10	11	12	36	75	37	41
	38	111	42	112	83	39	62	72	69	70	40	43	44	54	45	71	51	48	46	47
	73	74	76	79	77	82	78	63	53	110	52	64	68	65	66	49	55	61	56	57
	58	59	60	67	50	80	81	84	85	88	86	89	87	90	91	92	94	96	97	98
	95	93	99	100	103	109	104	131	132	130	134	105	133	101	102	106	107	108	113	204
	169	120	161	117	114	174	119	115	123	122	171	162	124	125	205	121	163	203	118	126
	129	128	127	135	139	150	140	153	149	158	154	152	147	142	155	145	156	159	137	157
	146	144	151	138	136	148	116	141	143	160	170	179	172	184	178	164	173	165	166	175
	167	168	176	180	181	177	183	182	187	186	188	194	195	196	185	197	198	189	202	193
	199	190	200	191	192															
	19	1	20	201	25	6	21	22	23	34	24	26	28	29	30	2	31	27	3	32
	33	4	5	7	13	14	15	35	8	16	9	10	11	12	17	18	36	75	37	62
	40	41	38	69	39	112	111	63	64	68	65	66	42	72	67	54	83	43	110	70
	44	45	53	71	51	48	49	46	47	73	74	76	79	78	77	82	52	80	81	55
	50	59	60	61	56	57	58	84	85	88	86	89	87	90	91	92	94	96	97	98
	95	93	99	100	103	109	104	131	132	134	105	133	101	130	106	102	107	108	113	115
	122	174	120	116	121	123	205	169	117	203	162	161	124	125	119	204	114	118	126	127
	163	128	171	129	135	153	136	149	154	142	155	145	156	147	157	146	140	139	150	148
	158	141	143	152	138	159	151	144	137	160	170	184	178	164	179	172	173	165	175	166
	176	180	183	167	168	181	177	185	195	187	186	182	194	188	196	197	198	189	202	191
	190	192	199	193	200															
	25	21	19	1	20	22	23	34	24	28	29	30	27	32	6	31	26	201	33	2
	3	35	4	5	13	14	15	16	7	8	9	10	11	17	18	12	36	75	40	41
	83	110	42	111	43	37	62	112	38	54	63	39	72	64	68	65	66	69	44	70
	45	53	46	47	48	49	71	50	51	73	67	74	76	79	78	77	82	80	81	84
	85	88	86	89	87	90	91	55	56	52	57	58	59	61	60	92	94	96	97	98
	95	93	99	100	103	109	104	131	132	134	105	133	101	107	130	106	108	102	113	114
	204	120	205	123	122	124	125	203	163	169	119	115	121	118	126	129	128	171	174	161
	127	117	135	153	137	154	138	141	155	145	156	139	116	136	140	151	147	142	143	157
	148	152	158	159	144	149	146	150	160	170	184	178	164	172	179	173	180	181	162	165
	183	166	182	167	168	175	176	177	186	188	194	195	187	196	185	197	198	189	199	193
	202	191	190	192	200															

ตารางที่ ข.138 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	1	201	25	6	20	21	22	23	34	24	26	28	29	30	2	32	3	4	5
	7	13	14	15	16	31	17	33	18	8	27	35	9	10	11	12	36	75	37	41
	110	112	111	72	42	40	43	69	38	62	83	54	70	44	71	39	63	64	68	65
	66	45	53	46	73	47	67	74	76	79	78	77	82	80	81	84	85	88	86	89
	87	90	55	61	56	91	57	58	59	60	51	48	49	52	50	92	94	99	93	96
	97	98	95	100	103	109	104	131	132	134	130	105	133	101	102	106	107	108	113	204
	169	120	114	162	205	121	161	123	124	203	174	117	125	118	116	122	119	126	127	171
	129	163	128	135	153	136	149	115	141	152	147	140	139	150	151	148	145	154	138	142
	155	144	156	137	157	146	158	159	143	160	170	184	178	164	172	179	173	175	180	165
	183	166	176	181	167	168	182	177	186	188	194	195	187	196	185	197	198	189	202	190
	193	199	191	200	192															
	19	1	201	25	6	20	21	22	23	34	24	26	28	29	30	2	32	27	3	4
	5	7	13	14	15	16	31	33	35	17	8	18	9	10	11	12	36	75	37	41
	62	42	40	43	54	112	44	69	38	83	39	63	64	72	45	46	47	70	51	48
	49	52	71	68	65	66	110	67	50	53	73	74	76	79	78	77	82	55	111	80
	61	56	57	81	84	85	88	86	89	87	90	91	59	60	58	92	94	96	97	98
	95	93	99	100	103	109	104	131	132	134	105	133	130	107	101	102	106	108	113	114
	117	123	122	119	161	116	174	120	115	124	205	169	125	118	171	204	203	162	163	121
	126	128	127	129	135	153	144	151	137	147	154	152	149	141	155	145	156	136	138	158
	159	157	140	146	150	148	142	143	139	160	170	179	172	178	164	180	165	183	166	184
	173	175	176	181	167	182	168	177	186	195	187	185	194	188	196	197	198	189	202	191
	190	192	199	193	200															
	25	20	201	1	21	22	23	34	24	28	6	27	2	19	4	3	5	7	13	29
	30	8	9	32	33	10	11	14	15	16	26	31	35	12	17	18	36	75	40	42
	37	41	110	38	39	72	111	43	112	44	62	63	45	46	47	64	68	65	48	49
	69	50	54	53	51	66	52	67	70	71	73	74	76	79	77	82	78	83	80	81
	84	85	88	86	89	87	55	61	90	59	60	91	56	57	58	92	94	96	97	98
	95	93	99	100	103	109	104	131	132	134	105	133	106	107	108	101	102	113	162	116
	121	114	124	125	174	171	123	130	169	119	204	117	161	120	115	122	205	203	163	118
	126	129	128	127	135	153	148	154	141	155	145	156	147	142	157	146	140	150	143	136
	152	158	144	138	159	137	139	151	149	160	170	179	172	184	173	164	165	175	166	176
	167	168	177	186	188	194	195	187	178	180	181	196	185	197	182	199	189	202	183	193
	200	191	190	192	198															

ตารางที่ ข.139 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	
	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	
	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	2	
	4	4	4	4	4	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	3	4	4	4	
	4	3	4	4	4	4	4	3	4	3	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	6	
	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	
	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	5	
	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	
	5	6	5	5	6																
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	
	2	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	1	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	
	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	
	2	4	4	1	1	1	1	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	4	6	
	5	6	5	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	
	5	6	5	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	
	6	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	
	6	5	6	6	5																
	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	
	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	
	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	
	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	2	
	1	4	4	4	4	4	4	1	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	4	6	5	
	6	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	
	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	6	5	6	
	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	
	5	5	6	6	6																
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	1	
	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1	
	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	1	2	1	2	1	
	4	3	4	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	6	6	5	6	5	5	6	
	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	
	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	
	5	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	
	5	6	5	5	6																

ตารางที่ ข.139 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	1	1
	2	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	2	1	2
	1	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	4	3	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	4	3	3	3	4	3	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	5	6	6	6	6	5	5
	6	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5
	6	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6
	5	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5
	6	6	6	6	5															
	1	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	2	2	2	1
	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1
	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	4	1	3
	4	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	4	5	6	6	6
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6
	6	5	5	5	6	6	5	5	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5
	5	5	5	5	6	5	6	6	6	5	6	6	5	5	6	6	6	5	5	6
	5	5	6	6	6															
	2	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2
	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	1	1
	1	1	2	1	1	2	1	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	3	2	2
	4	4	4	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4
	4	4	3	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	6
	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	5	5	6	5
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5
	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5
	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6
	6	6	5	6	6															

4.3.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.140 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	1 21 201 19 6 20 22 25 23 2 34 4 24 3 5 26 7 28 8 29 9 30 10 33 11 32 12 13 31 27 35 14 15 16 17 18 36 75 62 42 41 72 40 83 43 37 38 44 39 45 46 69 51 52 111 47 70 48 71 49 63 64 65 66 50 73 74 76 78 79 53 54 110 112 55 56 61 57 59 60 68 58 67 77 80 81 82 84 85 86 88 89 87 90 91 92 94 96 97 95 98 99 93 100 103 109 104 131 132 133 105 134 107 101 130 102 106 108 113 162 123 115 161 120 116 171 203 124 174 205 117 121 122 125 119 204 114 169 118 126 163 128 127 129 135 144 150 148 149 153 139 140 137 158 151 138 147 154 141 155 145 146 136 159 142 156 152 157 143 160 170 178 184 172 179 173 175 180 176 183 181 182 164 165 166 167 168 177 186 187 195 194 196 185 197 198 202 188 189 193 199 191 190 192 200
	1 21 25 19 6 20 22 2 23 201 34 4 24 3 5 26 7 28 8 29 9 30 10 33 11 31 27 32 12 13 35 14 15 16 17 18 36 75 41 72 40 83 37 38 42 43 39 44 45 46 48 69 49 54 53 62 63 51 52 70 47 50 71 73 74 76 78 79 77 82 111 110 112 64 68 65 66 67 55 56 61 57 58 59 80 81 60 84 85 86 88 89 87 90 91 92 94 96 97 95 98 99 93 100 103 109 104 131 132 133 105 101 102 106 134 107 130 108 113 114 124 121 161 125 116 123 169 204 115 205 120 162 117 203 118 174 122 163 119 126 127 171 129 128 135 144 150 136 142 137 158 149 153 139 154 141 155 145 156 138 147 148 146 157 152 151 159 140 143 160 184 170 178 179 172 164 173 165 166 175 180 176 167 168 177 187 195 194 186 196 185 197 198 199 183 181 200 188 189 191 190 202 192 182 193
	1 21 201 19 6 25 20 22 2 23 4 34 24 3 5 26 7 28 8 29 9 30 10 33 11 32 12 13 31 27 35 14 15 16 17 18 36 75 41 72 111 83 62 63 64 65 110 37 68 66 40 67 42 43 38 44 39 45 46 69 47 48 51 70 52 54 53 71 49 50 73 74 76 77 82 78 79 80 112 81 55 61 56 57 58 59 84 85 86 88 89 87 90 60 91 92 94 96 97 95 98 99 93 100 103 109 104 131 132 133 105 134 107 130 106 108 101 102 113 123 120 162 114 205 174 117 169 203 121 122 204 171 118 115 116 161 119 124 125 163 126 128 129 127 135 144 150 139 149 153 152 154 138 147 155 145 142 146 136 151 148 137 158 140 156 141 157 159 143 160 170 178 164 172 179 173 165 175 166 167 176 180 181 168 177 187 195 194 196 185 197 198 202 188 184 186 182 189 191 190 199 193 200 192 183
	1 21 25 19 6 20 22 2 23 201 24 3 4 34 27 28 29 26 33 5 7 8 9 30 10 13 32 11 31 35 14 12 15 16 17 18 36 75 62 63 64 68 65 83 40 112 66 67 111 42 43 37 38 44 39 45 46 47 53 54 48 41 72 51 52 69 49 70 50 71 73 74 76 78 79 77 82 110 80 81 55 56 61 84 59 85 86 88 89 87 90 91 60 57 58 92 94 96 97 95 98 99 93 100 103 109 104 131 132 133 105 134 107 101 130 102 106 108 113 122 163 119 117 120 114 123 115 161 116 121 205 171 169 204 203 162 174 118 124 125 126 128 127 129 135 144 150 136 140 142 152 149 147 153 137 148 154 141 155 138 139 143 158 151 159 156 145 157 146 160 170 178 164 172 179 173 184 175 180 176 183 165 181 182 166 167 168 177 188 186 187 195 194 196 185 197 198 199 189 191 190 202 192 193 200

ตารางที่ ข.141 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	
	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1	
	2	2	2	2	1	2	2	2	1	2	1	2	2	2	4	4	4	4	4	4	
	1	4	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	4	
	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	
	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	
	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	
	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	
	6	6	5	5	6																
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	
	1	1	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	4	1	1	1	1	1	4	4	
	4	4	4	4	1	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	3	3	4	3	4	3	3	3	
	3	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	6	3	3	5	5	6	6	6	6	
	5	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	
	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	6	6	5	
	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	5	6	
	5	5	6	5	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	
	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	2	1	4	1	
	4	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	4	6	6	6	6	5	6	
	6	5	6	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	6	
	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	
	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	
	6	6	6	5	5																
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1	
	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	
	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	2	1	2	4	1	1	
	4	4	4	1	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3	
	4	3	3	3	3	3	3	4	6	3	3	3	3	3	3	6	3	5	6	5	
	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	5	6	5	
	5	5	6	6	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	5	5	
	5	6	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	
	5	5	5	6	6																

4.3.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.142 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	25	20	201	1	19	2	3	4	21	22	23	24	26	28	29	30	31	32	33	6
	34	5	13	14	7	8	9	15	16	17	18	27	35	10	11	12	36	72	69	42
	40	112	75	83	110	70	62	111	41	54	55	61	56	57	58	59	60	71	73	74
	43	44	76	79	78	77	82	63	64	68	65	66	67	80	81	84	85	86	88	89
	87	90	91	37	38	39	45	53	51	48	49	52	46	47	50	92	96	93	98	95
	97	94	99	100	103	105	104	107	109	130	131	132	133	134	106	108	101	102	113	123
	169	117	118	124	171	161	174	203	162	120	116	114	125	205	115	163	204	119	122	121
	126	128	129	127	135	136	150	145	152	138	151	141	148	139	142	137	144	149	153	154
	155	156	158	159	157	146	147	140	143	160	179	184	164	165	170	172	173	175	176	178
	180	183	181	182	166	167	168	177	186	194	187	188	195	185	189	193	190	196	197	198
	199	200	191	192	202															
	19	20	2	4	1	21	201	25	3	5	13	7	8	9	10	11	12	14	15	16
	17	18	22	6	23	34	24	28	27	26	29	33	30	31	32	35	36	75	41	111
	40	83	62	110	42	54	43	55	61	112	56	57	58	63	37	59	38	44	60	39
	45	48	49	50	53	51	52	64	65	66	67	68	69	70	72	46	47	71	73	74
	76	78	79	77	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	82	92	95	97	96	93
	94	99	98	100	130	101	102	109	103	104	131	132	105	106	134	133	107	108	113	119
	122	116	114	161	162	115	117	174	121	204	169	163	123	171	203	120	124	125	118	205
	126	128	127	129	135	147	144	141	137	142	139	152	136	140	158	150	148	153	154	138
	145	146	151	159	149	143	160	184	164	165	166	167	168	178	170	172	173	175	176	177
	187	195	188	185	196	179	180	181	183	182	194	197	198	199	200	155	156	157	202	186
	189	190	191	192	193															
	201	19	2	3	4	5	7	8	9	10	6	20	21	22	13	14	1	15	23	34
	24	26	27	25	28	11	12	16	17	18	29	30	33	31	32	35	36	41	40	111
	37	38	39	83	42	54	43	44	45	48	110	75	49	50	69	70	71	51	52	62
	63	64	65	68	53	72	73	74	76	79	78	77	82	112	55	61	56	57	58	66
	67	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	46	47	59	60	92	96	97	94	95
	98	99	93	100	109	134	101	102	103	104	105	107	106	108	131	132	133	130	113	123
	117	169	203	124	125	122	161	205	118	114	204	171	174	116	115	119	121	120	126	127
	128	129	135	140	153	154	142	152	144	155	136	148	137	139	145	146	156	157	158	151
	159	138	141	143	147	149	163	150	160	164	184	179	170	172	173	175	176	178	180	181
	182	162	165	166	167	168	177	194	186	195	196	188	187	197	202	199	198	200	185	189
	193	191	190	192	183															
	2	4	19	6	21	201	3	5	7	8	1	9	10	11	13	14	20	22	23	34
	24	26	12	15	16	17	18	27	25	28	29	33	30	31	32	35	36	75	111	72
	69	62	63	41	40	70	71	73	74	76	77	82	78	42	54	43	44	83	110	79
	55	61	59	37	38	39	45	53	46	47	48	49	51	52	50	60	112	64	68	65
	66	67	80	81	84	85	86	88	87	89	90	91	56	57	58	92	98	93	97	96
	95	99	100	103	104	130	131	101	132	133	102	109	134	105	106	107	108	113	205	204
	169	119	171	174	124	125	116	122	123	163	117	121	161	114	118	203	162	120	126	127
	128	115	129	94	135	150	140	142	158	159	149	153	147	152	138	141	143	144	154	137
	148	145	146	139	151	160	170	178	179	180	183	181	182	172	184	173	164	175	176	165
	166	167	168	177	188	187	195	196	185	186	194	155	156	136	157	189	193	190	191	192
	197	199	200	198	202															

ตารางที่ ข.142 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	19	6	21	201	25	1	20	22	23	24	28	29	33	30	32	26	31	27	34	35
	2	3	4	5	13	7	8	14	9	10	11	12	15	16	17	18	36	75	111	110
	62	63	64	68	112	65	37	38	39	72	41	69	66	67	40	42	43	54	55	61
	44	56	57	58	45	46	47	48	49	50	53	70	71	73	74	76	79	78	77	80
	82	81	84	85	90	86	87	88	89	51	52	83	91	59	60	92	96	97	99	95
	98	94	93	100	105	103	104	101	102	131	132	133	109	106	130	134	107	108	113	118
	124	174	205	119	161	163	125	116	162	117	169	122	123	120	121	203	114	115	204	126
	127	129	128	135	149	147	153	151	148	152	139	158	137	141	140	136	154	155	156	138
	144	150	159	145	146	142	143	160	170	179	178	180	181	164	165	166	167	168	182	183
	157	171	172	173	175	176	177	186	195	185	188	196	194	197	199	187	189	191	190	192
	200	198	202	193	184															
	201	25	21	20	22	23	2	3	4	5	7	13	14	15	34	8	9	10	11	1
	19	6	24	28	26	27	12	29	33	30	31	32	35	16	17	18	36	75	72	62
	83	40	41	110	63	64	65	66	42	43	44	69	70	68	37	38	39	45	53	48
	49	50	46	51	52	47	67	54	71	73	74	76	78	79	77	82	80	81	84	85
	90	86	87	91	55	56	59	60	61	57	58	112	88	89	92	99	97	95	93	94
	98	100	101	103	134	109	104	105	130	131	132	133	106	102	107	108	96	111	113	123
	204	163	117	122	114	119	203	120	162	118	171	174	116	124	125	161	169	205	115	121
	126	129	127	128	135	144	136	149	148	138	158	145	146	159	152	151	142	153	137	147
	150	141	139	140	143	160	170	172	179	164	165	166	184	167	173	175	176	178	180	181
	182	183	168	177	186	185	188	195	196	187	194	197	198	202	199	200	154	155	156	157
	189	190	193	191	192															
	19	21	25	6	1	20	22	23	34	24	28	26	27	29	30	31	32	33	35	201
	2	3	4	5	13	14	15	7	8	9	10	11	12	16	17	18	36	37	38	40
	110	42	39	41	112	83	69	70	71	72	73	74	76	78	77	82	79	75	54	55
	61	56	57	58	43	44	45	46	47	51	52	48	111	49	50	53	59	60	62	63
	64	65	68	66	67	80	81	84	85	86	87	88	89	90	91	92	94	95	97	96
	98	99	100	134	101	131	130	105	132	133	103	104	109	106	107	108	93	102	113	169
	123	119	122	204	116	162	115	171	124	125	205	203	114	161	121	163	174	118	117	120
	126	128	127	129	135	140	145	153	139	148	154	142	155	151	147	156	138	137	157	150
	158	146	152	149	141	143	136	159	144	160	164	165	166	167	168	170	172	173	175	176
	177	186	194	187	185	178	179	180	183	195	196	197	198	202	184	188	189	190	193	191
	192	199	200	181	182															
	6	25	20	201	2	21	22	3	19	1	4	23	34	5	7	8	13	14	15	16
	17	18	9	10	11	12	24	26	27	28	29	30	31	32	33	35	36	83	110	40
	69	70	71	41	75	72	73	112	62	63	64	68	65	66	67	111	37	38	39	74
	76	78	77	82	79	80	81	84	85	90	91	88	89	86	87	42	43	44	45	51
	52	53	48	49	50	46	47	54	55	61	56	57	58	59	60	92	94	97	96	99
	95	93	98	100	131	132	133	105	106	107	108	101	102	103	104	130	109	113	117	120
	114	122	121	203	169	124	125	162	174	119	161	205	118	116	115	123	126	127	129	128
	135	148	141	158	153	136	139	137	140	147	151	152	149	150	138	145	146	142	143	144
	160	170	179	184	178	180	183	181	182	163	164	165	166	167	168	159	134	171	172	173
	175	204	176	177	185	194	187	186	188	195	196	197	202	199	200	198	154	155	156	157
	189	191	192	190	193															

ตารางที่ ข.143 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	
	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	
	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	4	3	4	4	
	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	3	4	4	4
	3	3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3	
	6	5	6	5	5	5	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	
	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	
	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6	
	6	6	6	5	5																
	1	2	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	
	1	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	
	2	2	2	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	2	1	
	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	4	
	3	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	4	3	4	4	3	3	4	
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	
	3	6	3	6	6	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	3	3	3	3	3	
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	5	
	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	6	
	6	5	5	6	6	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	6	
	6	5	6	5	6																
	1	2	2	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	
	1	1	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	
	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	2	
	2	2	2	2	1	2	2	1	2	2	1	1	2	4	4	4	4	4	4	1	
	1	1	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	4	
	3	3	4	3	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	
	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	4	5	5	6	6	5	6	6	6	5	
	6	5	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	
	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	
	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	
	6	6	5	5	5																
	1	1	2	2	2	1	2	1	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	
	2	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	
	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	2	2	2	
	2	2	4	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	1	
	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	3	3	
	4	4	3	4	4	4	3	4	4	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	4	3	4	3	6	5	
	6	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	
	6	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	
	6	6	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	5	
	6	6	6	6	5																

ตารางที่ ข.143 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	1	2	2	1	1	
	2	2	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	
	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	
	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	
	1	1	2	3	4	3	3	4	3	3	3	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	4	4	3	3	4	4	3	3	3	3	
	3	3	3	3	4	4	3	6	6	3	3	3	3	3	3	5	5	6	5	6	
	5	6	5	5	6	5	5	6	6	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	
	5	6	6	6	5	5	5	6	5	5	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	
	5	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	
	6	6	5	6	5																
	1	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	1	1	1	1	2	2	2	2	1	
	2	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	2	1	2	
	4	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	3	
	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	
	3	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	6	3	3	6	5	5	6	6	
	6	5	6	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	6	5	
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	
	5	5	6	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	5	5	5	6	
	5	6	6	6	5																
	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	
	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	
	2	1	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	2	2	2	2	
	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	4	4	1	1	
	1	1	1	3	3	3	3	3	4	3	4	3	4	4	4	4	3	4	4	4	
	3	4	3	4	3	3	4	3	4	4	3	4	3	3	3	3	4	3	3	3	
	3	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	5	4	4	4	5	6	5	5	
	6	5	6	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	6	5	5	5	6	
	6	5	5	6	5	5	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	5	
	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	5	6	6	
	5	6	6	5	5																
	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	
	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	2	
	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	2	
	1	1	2	1	2	2	1	2	1	2	4	1	1	3	4	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	
	4	4	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	
	3	4	4	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	3	3	6	5	6	5	
	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	5	5	6	
	6	5	5	5	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	6	5	5	5	
	5	5	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	
	5	6	5	6	6																

4.3.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.144 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	1	20	25	19	201	6	21	22	23	2	24	4	34	27	3	26	5	7	28	8
	29	9	33	30	31	32	35	10	11	12	13	14	15	16	17	18	36	42	40	83
	75	43	44	41	110	112	62	63	64	68	65	66	67	72	37	38	39	45	46	47
	53	69	70	51	48	49	50	71	52	73	74	76	78	79	77	80	81	82	84	85
	111	54	90	91	55	86	61	56	57	58	88	59	60	87	89	92	93	96	98	94
	99	95	97	100	103	101	105	106	107	108	102	130	104	131	132	134	133	109	113	117
	161	114	118	203	171	119	174	162	205	121	116	120	123	169	122	163	115	124	125	204
	126	128	127	129	135	144	153	150	138	139	141	136	142	151	149	147	158	154	152	155
	145	156	146	157	140	159	143	137	148	160	170	184	172	178	173	164	175	165	176	179
	180	183	166	167	181	182	168	177	187	195	194	196	185	197	186	198	202	188	189	193
	190	191	199	192	200															
	1	20	25	19	201	6	21	22	23	2	24	3	26	4	5	7	28	8	29	9
	13	33	14	34	27	30	10	32	11	31	35	12	15	16	17	18	36	42	40	83
	75	43	44	41	37	38	39	45	54	53	62	63	64	68	65	72	51	48	52	46
	69	47	70	49	112	111	66	67	110	50	71	73	74	76	78	79	77	80	81	82
	84	55	85	59	86	61	60	88	56	90	57	89	58	87	91	92	93	96	97	98
	94	99	95	100	103	101	102	130	104	131	132	134	133	109	105	106	107	108	113	117
	122	119	115	205	121	204	123	169	124	171	118	120	114	116	163	203	161	125	162	174
	126	128	127	129	135	144	153	148	137	149	158	154	152	155	145	156	146	157	140	138
	150	136	147	142	139	141	143	151	159	160	170	184	172	178	173	164	175	179	176	180
	165	166	167	181	182	168	177	187	195	194	196	185	197	186	198	188	189	183	199	191
	190	192	200	193	202															
	1	20	25	19	201	6	21	22	23	2	24	3	26	4	5	7	28	8	29	9
	13	34	10	33	30	14	32	31	11	12	15	27	35	16	17	18	36	42	40	83
	75	43	112	111	44	62	72	41	110	63	64	68	65	66	37	38	39	45	67	53
	69	51	70	52	71	48	49	46	50	73	74	76	78	79	77	80	81	82	84	54
	85	55	90	56	91	57	88	59	86	61	87	58	47	60	89	92	93	96	97	99
	95	94	98	100	103	101	102	130	104	131	132	134	133	109	105	106	107	108	113	117
	120	121	204	119	203	161	124	125	205	123	122	115	162	174	169	118	126	127	163	129
	171	128	135	144	153	138	154	152	155	151	142	156	137	149	145	158	150	136	157	146
	141	140	143	114	159	147	148	116	139	160	179	170	184	172	178	173	164	175	165	176
	180	166	167	181	182	168	177	187	195	194	196	185	197	186	198	202	188	189	183	199
	191	190	192	200	193															
	1	20	25	19	201	6	21	22	23	2	24	3	26	34	27	28	29	33	30	32
	31	35	4	5	7	8	9	13	14	15	10	11	12	16	17	18	36	42	40	83
	75	43	110	44	41	37	38	72	112	111	62	63	64	68	65	66	67	54	39	45
	69	51	53	46	70	48	47	52	71	49	50	73	74	76	78	79	77	80	81	82
	84	55	61	56	59	60	85	88	86	89	87	57	58	90	91	92	93	96	97	98
	94	99	95	100	103	101	104	131	132	134	102	130	133	109	105	106	107	108	113	169
	162	121	204	115	122	114	116	161	123	124	125	205	117	120	119	203	118	126	127	171
	128	174	129	163	135	144	153	138	154	136	141	142	139	145	155	140	137	149	158	143
	151	159	147	148	146	150	156	152	157	160	170	178	172	179	180	173	164	175	165	176
	184	166	167	183	181	182	168	177	187	195	194	196	185	197	186	198	188	189	193	190
	202	191	199	192	200															

ตารางที่ ข.144 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1 20 25 19 201 6 21 22 23 2 24 3 26 4 5 7 28 8 29 9 30 31 32 33 34 27 35 10 11 13 14 12 15 16 17 18 36 42 40 43 44 72 112 111 62 63 64 68 65 66 67 37 38 39 45 46 69 51 48 47 53 70 52 71 49 73 74 76 78 79 77 80 83 75 41 110 81 82 84 54 50 85 55 90 56 86 87 59 60 91 57 88 58 61 89 92 93 96 97 98 94 99 95 100 103 101 104 131 132 134 133 109 105 102 130 106 107 108 113 115 174 162 205 116 161 114 118 163 203 204 119 124 125 123 122 117 120 169 121 171 126 128 127 129 135 144 153 150 154 152 155 145 156 137 149 146 147 158 159 141 157 140 138 151 142 139 148 136 143 160 170 184 172 178 173 164 175 165 176 179 180 166 167 168 177 187 195 194 196 185 197 186 198 202 188 189 193 190 191 183 181 182 192 199 200 1 20 25 19 201 6 21 22 23 2 24 3 26 4 5 7 28 8 29 9 13 34 27 30 10 32 31 11 14 33 15 35 16 17 18 12 36 42 40 83 75 43 44 62 63 64 68 65 110 66 67 54 37 38 39 45 46 72 41 53 69 51 70 52 71 48 47 73 74 76 78 79 77 80 55 49 56 50 81 84 82 85 59 90 57 88 91 58 86 61 87 60 89 111 112 92 93 96 97 98 94 99 95 100 103 101 104 131 132 134 133 109 105 106 107 108 102 130 113 117 162 171 118 203 161 120 121 204 119 122 115 205 123 124 125 174 169 126 127 116 163 129 114 128 135 144 153 150 136 138 151 147 158 159 141 137 148 142 154 152 155 145 156 139 157 146 140 143 149 160 179 170 184 172 178 173 164 175 165 176 180 166 167 181 182 168 177 187 195 194 196 185 197 186 198 202 188 189 183 199 191 190 192 200 193 1 20 25 19 201 6 21 22 23 2 24 3 26 4 5 7 27 13 14 34 15 8 28 9 29 33 30 10 11 31 32 35 16 17 18 12 36 42 40 83 75 43 111 62 63 64 68 65 66 67 44 69 37 38 39 45 70 51 48 52 71 49 53 112 110 50 46 47 54 72 41 73 74 76 78 79 77 80 81 82 84 85 55 90 56 91 59 60 86 87 57 58 88 89 61 92 93 96 97 98 94 99 95 100 103 101 102 130 104 131 132 134 133 109 105 106 107 108 113 117 162 121 204 115 203 124 125 171 205 116 120 114 174 169 163 118 161 123 122 119 126 128 127 129 135 144 136 137 148 141 158 159 140 138 151 149 145 153 150 147 154 152 155 142 156 139 157 146 143 160 179 170 184 172 178 173 164 175 165 166 167 168 180 181 176 182 177 187 195 194 196 185 197 186 198 199 200 188 189 193 190 202 191 183 192 1 20 25 19 201 6 21 22 23 2 24 3 26 4 5 7 28 8 27 13 34 29 9 33 30 10 11 12 32 31 35 14 15 16 17 18 36 42 41 110 112 111 62 63 64 68 65 66 37 75 69 72 40 43 44 83 67 54 38 39 45 46 47 48 53 70 51 71 49 50 73 74 76 78 79 77 80 81 82 84 85 55 90 56 57 58 91 61 52 88 59 60 86 89 87 92 93 96 98 94 99 95 97 100 103 101 102 130 104 131 132 134 133 105 106 107 108 109 113 117 123 122 119 205 115 203 204 162 121 120 118 174 124 171 114 125 116 163 161 126 128 127 169 129 135 144 153 150 138 154 152 155 145 156 146 147 141 157 142 148 137 149 151 140 143 136 139 158 159 160 179 170 184 172 178 173 164 175 180 165 176 183 166 181 182 167 168 177 187 195 194 196 185 197 186 198 202 188 189 193 190 191 199 192 200

ตารางที่ ข.145 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	
	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	
	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	1	2	2	1	2	1	2	3	
	3	2	4	4	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	3	4	4	3	4	3	
	4	4	4	4	4	4	3	3	4	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	3	
	6	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	3	3	3	3	6	3	3	3	3	
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	6	5	5	6	
	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5	
	5	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	
	5	6	6	5	6																
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	
	1	2	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	
	2	1	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	4	3	4	
	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	4	3	4	3	4	4	4	3	4	4	
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	6	6	3	6	3	6	5	
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	
	6	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	
	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	6	
	5	6	6	6	5																
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	
	1	1	2	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	1	2	1	1	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	
	2	1	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	3	4	3	4	
	3	4	4	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	4	3	4	4	3	4	4	
	4	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3	6	6	5	6	6	
	5	6	5	6	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	5	6	5	
	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	
	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6	
	6	5	6	6	6																
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	
	2	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	2	1	1	
	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	
	1	1	1	1	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	3	4	
	3	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	
	4	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	5	5	
	6	5	6	6	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	6	5	
	5	6	5	6	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	
	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	6	5	
	5	6	6	5	6																

ตารางที่ ข.145 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2
	2	2	2	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	1
	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	2	1	1	1
	1	2	1	2	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	1	4	1	1	1	4
	1	3	4	4	4	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3
	3	4	3	6	6	3	3	6	3	3	3	5	5	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	6	5
	6	5	6	6	5	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	5
	5	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6	5	6	5
	5	5	6	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2
	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	2	1
	2	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	2	1	2	1	1	1
	1	4	4	4	4	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	4	3	4	4
	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	3	3
	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	5	6	5	5	6	5	6
	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	5
	6	5	6	5	5	5	5	5	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5
	5	6	6	5	5	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	5	6
	6	5	6	6	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	1	1	1
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	2	2
	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1
	2	1	1	2	2	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	1	4	3	4
	3	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	4	4	4	3	4	4
	3	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	4	3	3	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	5	6	5	6	6	6	6
	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	5	6	5
	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6
	6	6	5	5	5	5	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6
	5	5	6	5	6															
	1	2	2	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2
	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	2	1	2	1	1
	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	4	3	4	3
	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3	4	4	3	3	3	4	4	3	4	3
	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	3	3
	3	3	3	3	3	3	3	4	3	3	3	5	6	5	5	6	6	6	6	6
	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	5	6
	6	6	6	5	5	5	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6
	5	5	6	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	5	5	6
	5	6	6	5	6															

4.3.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.146 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

ลำดับขั้นงาน	1	20	201	19	21	22	25	23	24	6	34	2	26	4	28	3	5	7	8	13
	29	9	30	10	11	32	31	27	12	33	35	14	15	16	17	18	36	75	41	42
	69	37	40	83	112	62	110	38	39	63	64	65	66	67	54	55	72	68	111	61
	59	60	70	71	73	74	76	79	78	77	82	56	57	58	80	43	44	45	48	53
	46	49	47	51	52	81	84	85	86	88	89	87	90	91	50	92	94	96	95	97
	99	98	100	103	131	132	104	133	101	134	105	130	107	93	106	108	109	102	113	122
	117	123	205	115	119	171	169	121	114	120	124	125	118	126	163	162	161	127	129	116
	204	174	128	135	144	158	148	142	139	147	145	150	153	140	136	154	141	155	151	152
	138	143	149	156	146	157	137	159	203	160	170	178	172	164	173	179	165	175	184	176
	180	183	166	167	168	177	195	194	187	186	196	197	188	198	185	202	189	199	190	191
	181	182	192	200	193															
	1	20	201	19	21	22	23	24	6	34	27	2	26	3	4	5	7	8	25	28
	9	29	33	13	14	15	10	11	30	12	32	31	35	16	17	18	36	75	41	69
	62	63	37	38	111	72	42	83	112	39	64	65	66	67	40	68	43	44	45	48
	53	46	51	52	49	47	70	71	50	73	74	76	79	78	77	82	54	110	80	55
	81	61	56	57	58	84	85	86	88	90	59	87	60	91	89	92	94	98	96	95
	97	99	100	103	131	132	104	133	101	109	102	134	105	106	130	107	93	108	113	114
	120	122	115	162	161	203	163	116	169	171	124	125	174	123	204	121	119	117	118	126
	129	205	127	128	135	144	158	138	150	137	136	139	152	148	142	159	149	140	151	153
	147	154	141	155	145	156	146	157	143	160	170	178	184	164	179	165	180	183	166	167
	168	172	173	181	175	176	182	177	195	194	187	186	196	197	188	198	185	202	189	191
	190	192	193	199	200															
	1	20	201	19	21	22	25	23	24	6	34	2	26	3	4	5	7	28	8	13
	29	33	9	30	10	11	32	31	12	27	35	14	15	16	17	18	36	75	41	69
	37	111	72	83	112	62	110	63	64	65	66	67	68	38	39	42	40	43	44	45
	48	53	46	51	52	70	49	54	47	71	50	73	74	76	79	78	77	82	55	80
	59	81	56	57	58	84	85	86	88	89	87	90	61	91	60	92	94	96	95	97
	99	98	100	134	105	130	107	93	106	101	109	102	103	131	132	104	133	108	113	114
	120	116	204	121	203	161	205	171	122	119	124	125	123	174	118	126	163	127	115	162
	169	128	129	135	144	137	150	139	151	153	136	138	148	154	141	155	145	156	146	157
	142	158	159	140	143	147	149	152	117	160	170	178	172	179	180	164	173	184	175	165
	176	183	166	167	168	177	195	194	187	186	196	197	188	198	185	199	189	202	191	200
	190	181	182	192	193															

ตารางที่ ข.146 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	1 20 201 19 21 22 25 23 24 6 34 27 2 26 3 4 5 7 28 8 29 33 9 30 10 11 32 31 12 35 13 14 15 16 17 18 36 75 41 69 111 72 83 112 62 110 63 64 65 66 67 42 37 38 39 68 40 43 44 45 48 53 46 51 52 54 47 70 49 71 50 73 74 76 79 78 77 82 55 80 59 81 61 84 56 57 58 85 86 88 89 87 90 60 91 92 94 96 95 97 99 98 100 134 105 130 107 93 106 101 109 102 103 131 132 104 133 108 113 117 122 162 204 121 114 120 124 125 119 115 161 203 118 163 205 174 116 123 169 171 126 128 127 129 135 144 137 150 139 141 153 147 151 152 149 142 158 138 154 159 140 143 148 136 155 145 156 146 157 160 170 178 172 184 179 180 164 173 175 165 176 181 182 166 167 168 177 195 194 187 186 196 197 188 198 185 199 189 202 190 183 193 200 191 192
	1 20 201 19 21 22 25 23 24 6 34 27 2 26 3 4 5 7 28 8 13 29 33 9 30 10 11 32 31 35 14 12 15 16 17 18 36 75 41 69 111 72 42 37 62 63 64 65 66 67 68 38 39 40 83 112 43 44 45 48 53 46 49 54 47 70 50 71 51 52 73 74 76 79 78 77 82 55 80 59 81 56 57 58 110 60 84 85 86 88 89 87 90 61 91 92 94 96 95 97 99 98 100 103 131 132 104 133 101 109 93 130 102 134 105 106 107 108 113 114 115 203 162 161 205 124 125 123 119 174 116 204 121 169 118 120 122 126 163 127 129 171 128 135 144 158 147 150 139 153 148 152 151 137 154 141 155 145 156 146 157 142 159 140 143 136 138 117 149 160 170 178 172 164 173 179 180 165 166 167 168 175 184 176 183 177 195 194 187 186 196 197 188 198 185 202 189 199 190 191 200 193 192 181 182
	1 20 201 19 21 22 25 23 24 6 27 2 26 4 28 3 5 7 34 29 33 8 13 14 15 30 9 31 10 11 32 12 35 16 17 18 36 75 41 42 111 110 72 83 112 62 63 64 65 68 66 67 40 43 44 69 37 54 38 39 45 48 53 46 51 52 70 71 73 74 76 79 78 77 82 55 80 56 57 58 61 81 59 60 47 49 50 84 85 86 88 89 87 90 91 92 94 96 95 97 99 98 100 134 105 130 107 93 106 108 101 109 102 103 131 132 104 133 113 174 163 204 121 161 115 117 122 120 171 119 114 205 162 203 118 124 125 116 169 123 126 129 128 127 135 144 153 150 142 140 151 137 149 147 138 154 141 155 145 156 146 157 136 148 152 139 143 160 170 178 172 184 164 173 158 165 175 166 176 159 179 167 168 177 195 194 187 186 196 197 180 185 202 188 198 181 182 183 189 199 193 190 191 192 200
	1 20 201 19 21 22 25 23 24 6 26 2 27 3 4 5 7 28 8 13 29 33 9 30 10 11 32 31 12 34 14 35 15 16 17 18 36 75 41 42 111 72 83 112 40 43 44 54 69 37 110 38 39 45 48 70 49 71 51 52 73 74 76 79 53 46 50 55 62 63 64 65 66 68 56 57 58 67 78 77 82 59 80 61 81 84 85 86 88 89 87 90 60 91 47 92 94 96 95 97 99 98 100 134 105 130 107 93 106 101 109 102 103 131 132 104 133 108 113 114 118 123 161 124 125 117 121 203 122 115 174 116 169 119 163 204 205 171 162 120 126 128 129 127 135 144 153 147 152 154 141 155 145 139 137 140 149 156 146 157 142 158 150 138 148 159 143 136 151 160 170 184 164 172 178 173 179 175 176 180 183 165 166 167 168 177 195 194 187 186 196 197 188 198 185 202 189 199 190 191 200 193 192 181 182

ตารางที่ ข.147 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	2	2	1	2	2	1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	2	
	2	2	1	1	1	1	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	6	6	6	6	5	5	6	
	5	5	5	5	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	
	6	5	6	6	5	5	6	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	5	5	
	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	
	5	5	6	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	2	
	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1	1	2	2	4	1	4	
	1	4	4	4	4	1	3	3	3	4	4	3	4	4	3	4	3	4	4	4	
	3	3	3	4	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	4	3	3	3	
	3	3	3	4	6	3	6	6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	5	6	
	5	6	5	5	5	6	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	6	5	5	5	
	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	6	5	5	6	6	
	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	
	5	5	6	6	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	4	4	3	
	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	
	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	6	5	5	6	6	6	5	6	6	
	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	6	5	5	6	5	6	5	5	
	5	6	6	5	5	5	6	5	6	6	5	6	5	5	5	6	5	5	5	6	
	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	6	6	
	5	5	5	5	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	1	2	2	1	2	1	1	4	4	3	
	4	3	4	3	4	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	
	3	4	3	3	3	3	3	3	4	3	4	3	5	4	4	5	6	6	5	5	
	6	5	6	6	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	6	5	6	6	
	5	5	6	5	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	5	6	
	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	
	5	6	6	6	6																

ตารางที่ ข.147 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 2454 (ต่อ)

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	1	2	1	1	2	2	2	
	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	2	2	1	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	
	1	1	1	2	1	2	1	2	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	4	
	1	4	4	4	4	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	
	3	3	4	4	3	3	3	3	3	3	6	3	3	3	5	6	6	6	6	5	
	6	5	6	5	6	6	5	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	6	5	
	6	5	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	
	6	5	5	5	5	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	
	6	6	5	5	5																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	2	2	1	2	1	2	
	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	2	2	1	2	1	1	1	1	2	2	1	2	1	1	2	1	2	1	1	
	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	2	1	1	4	4	3	4	4	4	
	4	3	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	
	4	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	5	6	6	6	5	6	
	6	5	6	5	5	6	5	6	5	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	
	5	6	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	6	5	6	6	5	6	5	6	
	5	6	6	5	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	5	5	5	6	6	
	6	5	6	5	6																
	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	1	2	2	2	1	1	2	2	2	1	
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	
	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	1	2	1	2	1	1	1	2	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2	1	4	
	3	4	3	4	3	3	3	4	3	3	4	4	4	4	3	4	3	4	4	3	
	3	4	3	4	3	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3	3	
	3	3	4	3	4	3	4	3	4	3	5	6	5	6	6	5	5	5	6	6	
	6	5	6	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	5	6	5	6	6	5	5	
	5	6	6	6	6	6	5	5	6	5	5	5	6	5	6	5	5	5	5	5	
	5	6	6	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	
	6	6	5	5	5																

5. การค้นหาคำตอบของปัญหา 182 ขั้นงาน

5.1 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธี COMSOAL

ตารางที่ ข.148 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	25	52	156	170	1	22	4	23	32	5	35	15	12	28	17	37	34	3	24	8
	20	2	26	27	10	42	31	48	129	7	124	45	33	11	21	19	14	41	43	128
	30	49	58	47	135	51	39	126	6	18	13	138	57	44	134	143	16	56	9	36
	155	137	79	29	73	78	53	46	99	55	77	38	84	101	139	114	153	125	115	40
	154	76	100	116	149	127	150	152	151	133	50	72	136	132	71	54	142	74	140	59
	141	60	144	61	148	75	62	145	64	63	146	65	66	67	68	69	83	89	85	86
	87	70	130	90	80	94	93	91	81	147	92	88	96	111	95	82	112	97	98	102
	103	104	118	105	131	106	107	108	117	109	110	163	119	113	120	157	121	160	123	164
	122	165	161	158	166	162	167	168	169	171	159	172	173	174	175	176	179	177	181	180
	178	182	183																	
	1	2	27	35	170	11	33	5	24	26	23	4	51	12	8	20	31	22	34	32
	48	42	135	25	10	52	6	3	129	143	13	15	9	29	138	14	155	17	156	39
	28	55	45	46	18	126	37	7	16	124	56	21	30	49	77	36	57	78	38	58
	47	19	79	44	125	43	53	73	99	50	40	74	71	54	75	76	59	101	100	153
	154	152	72	151	150	84	114	60	115	41	149	134	128	116	132	133	137	141	142	127
	136	139	61	62	140	63	144	145	146	64	65	148	66	67	68	69	80	70	83	85
	89	130	86	147	87	91	98	81	94	82	90	88	96	92	95	111	112	97	93	102
	103	118	104	105	106	119	120	122	131	109	121	108	160	107	164	123	165	110	162	161
	157	113	117	163	166	158	167	159	168	169	171	172	173	174	175	176	177	179	181	178
	180	182	183																	

ตารางที่ ข.149 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COMSOAL ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2
	2	2	1	1	1	2	2	4	4	1	1	1	1	4	3	3	4	3	3	3
	3	4	4	3	4	3	3	3	4	4	4	3	3	4	3	4	6	5	6	5
	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	6	5	6	6	5	5	8	5	8
	8	7	7	8	7	8	8	8	7	8	7	8	7	7	9	10	9	9	9	10
	10	10	10	9	9	9	10	10	10	9	10	10	9	10	11	12	11	12	12	12
	12	11	12	12	11	11	13	13	14	14	13	14	13	13	14	14	13	14	14	14
	14	16	15	16	16	15	16	15	16	18	17	18	17	18	18	17	19	18	18	19
	18	20	19	19	20	20	20	20	21	21	20	22	22	21	24	23	24	24	24	24
	23	23	23																	
	1	2	1	2	2	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	2	1	2	1
	2	2	2	2	1	2	2	1	4	4	4	1	4	4	1	1	3	3	4	3
	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	5	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	6	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	5	7	6	6	6	7
	8	8	8	7	8	7	7	7	7	7	7	7	7	8	9	8	10	10	9	10
	9	10	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	10	9	10	9	12	9	9	12
	11	12	12	12	12	11	12	11	11	14	14	14	13	13	14	15	15	14	14	14
	14	14	14	16	15	16	15	18	18	18	17	17	17	18	17	17	18	18	20	17
	19	20	19	20	19	19	20	20	19	21	21	22	22	21	24	23	24	24	24	23
	24	23	23																	

5.2 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.150 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	4 22 170 27 11 8 31 3 33 7 34 26 25 30 24 47 19 51 48 2 20 52 156 32 10 35 41 128 14 49 57 58 1 23 134 155 42 135 129 6 138 21 5 17 137 16 15 143 37 13 12 39 36 139 126 44 38 125 43 28 73 53 99 124 9 45 100 150 152 151 18 149 56 101 154 29 55 40 153 114 77 79 78 115 50 71 116 132 54 46 84 72 127 142 76 59 74 133 140 136 60 61 75 63 141 64 62 144 65 148 145 66 146 67 68 69 70 83 89 80 147 81 85 130 82 86 90 87 91 92 88 95 93 98 96 94 102 103 118 97 104 111 105 112 131 106 108 117 109 163 107 119 110 120 122 157 123 121 158 159 113 164 160 165 161 166 167 162 168 169 171 172 173 174 175 179 176 177 180 178 182 183 181
	25 4 8 2 52 24 31 1 10 5 14 35 26 51 11 33 34 170 155 20 21 27 23 156 32 42 48 129 15 28 3 37 124 17 135 39 126 138 22 7 19 45 6 18 143 9 36 16 40 30 13 56 44 47 41 78 128 134 38 49 57 79 58 12 43 77 73 137 29 76 46 139 55 50 74 72 53 125 71 75 99 84 100 150 151 114 149 152 101 153 154 115 54 116 132 59 127 142 133 140 141 148 60 136 61 62 144 145 63 146 64 65 66 67 68 69 83 89 147 85 86 80 87 70 130 88 96 90 93 95 91 92 94 98 81 102 103 111 118 104 97 82 105 112 131 106 108 119 109 120 157 123 107 121 158 164 160 122 165 162 110 159 113 166 167 168 161 169 171 117 172 173 174 175 163 176 177 180 179 178 182 183 181
	32 25 3 52 33 4 34 24 1 26 35 22 51 155 156 7 10 170 19 41 5 128 134 137 15 12 8 23 17 27 11 31 21 20 43 37 139 124 30 47 49 14 39 126 2 6 16 42 48 13 129 58 56 44 135 73 28 18 138 77 76 40 143 45 57 9 79 29 46 55 38 36 50 74 53 72 99 114 78 115 132 101 154 153 54 75 100 149 125 152 84 71 59 60 142 116 61 63 151 127 64 62 65 150 133 140 136 141 148 66 67 68 144 145 146 69 70 83 147 85 130 86 90 87 89 93 80 94 81 88 95 91 98 82 96 97 102 103 92 104 111 118 105 112 131 106 109 108 119 120 121 117 164 122 160 107 163 165 157 162 110 158 161 159 113 123 166 167 168 169 171 172 173 174 175 176 179 177 180 181 178 182 183
	170 10 1 3 32 23 34 7 25 24 33 26 35 51 27 22 5 11 52 30 156 15 12 17 47 39 126 2 37 19 41 155 4 21 124 6 128 18 43 40 134 137 28 14 13 9 29 56 79 8 20 36 55 16 53 31 45 42 135 139 129 48 50 54 77 138 72 99 46 101 114 44 73 74 100 151 84 78 75 150 143 71 153 49 154 58 76 149 152 38 125 57 115 132 59 60 61 63 142 62 64 65 66 67 68 69 70 116 127 83 89 80 85 130 133 140 141 144 145 136 148 81 86 90 82 146 147 87 94 93 88 95 91 92 97 96 98 102 103 111 104 118 105 112 131 106 119 108 117 120 163 109 123 122 160 161 121 107 157 158 162 110 113 164 159 165 166 167 168 169 171 172 173 174 175 179 176 177 180 181 178 182 183

ตารางที่ ข.150 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25	34	32	22	26	2	11	35	23	51	24	52	170	1	10	5	21	6	15	156
	37	155	27	18	124	4	13	44	33	9	29	16	46	28	45	17	38	12	39	126
	40	55	14	56	79	3	8	31	7	78	20	43	42	30	19	77	73	47	36	129
	135	143	53	49	50	41	72	74	48	54	75	71	58	138	57	76	59	60	61	63
	99	64	101	134	154	114	137	125	128	139	115	116	62	132	100	149	65	152	153	151
	150	133	142	136	140	141	144	145	66	84	146	148	67	68	69	70	83	89	127	147
	85	86	90	80	87	94	91	130	92	93	81	88	96	98	82	111	102	103	104	105
	95	112	118	97	106	108	119	109	107	131	120	121	117	157	123	160	163	164	162	158
	110	161	113	122	159	165	166	167	168	169	171	172	173	174	175	179	176	177	180	178
	182	183	181																	

ตารางที่ ข.151 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	2	1	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	1	4	1	1	4	4	4	4
	3	3	3	3	4	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	4	4	3	3
	4	5	6	5	6	5	5	6	6	5	8	5	5	5	8	8	7	8	7	8
	7	8	8	7	8	7	8	7	8	8	7	8	10	7	9	10	10	10	9	9
	10	10	9	9	10	10	10	10	10	9	9	9	10	10	11	12	11	11	12	11
	11	11	12	12	11	12	12	14	13	13	14	14	14	14	13	13	14	14	14	14
	14	13	16	15	16	15	16	15	16	15	16	16	17	18	18	17	18	17	19	20
	20	19	19	20	19	20	20	20	19	19	21	22	22	21	24	24	23	24	24	23
	23	23	24																	
	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	2	2	1	2
	1	1	2	2	1	2	4	4	1	1	1	1	1	3	4	3	3	3	4	3
	3	3	4	4	4	4	3	4	4	3	6	5	6	5	5	6	5	5	6	5
	5	5	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	6	8	7	8	8	8	7	7
	7	7	8	8	7	7	7	8	10	9	10	9	10	10	9	9	10	9	10	9
	10	9	10	9	10	10	10	10	9	10	10	9	12	11	12	11	11	12	11	12
	12	11	14	11	14	14	13	14	14	14	13	13	13	14	14	14	14	15	14	16
	15	16	16	15	16	15	18	17	18	17	18	17	18	17	17	19	18	20	20	20
	19	20	20	19	19	19	19	19	21	20	22	22	21	24	23	23	24	24	24	23
	23	23	24																	
	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1
	1	1	1	2	1	3	2	4	3	4	4	4	4	4	3	3	4	3	3	3
	4	3	3	3	4	4	4	4	4	4	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5
	5	6	6	5	5	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	6	5	8	8	7
	7	7	8	7	7	7	8	7	8	10	7	9	9	9	9	10	9	9	9	10
	10	9	9	10	10	11	11	10	11	12	12	12	12	12	12	12	11	11	12	12
	12	12	12	12	11	12	12	11	13	14	14	13	14	13	13	14	14	14	13	14
	15	14	16	15	16	15	16	15	15	16	17	16	17	18	18	18	17	18	18	20
	17	19	19	20	20	20	20	19	20	19	21	22	22	21	24	23	24	24	24	24
	23	23	23																	

ตารางที่ ข.151 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	1	2	2	1
	2	1	1	1	1	1	1	2	1	3	3	3	2	2	3	2	3	4	3	4
	3	4	3	3	4	4	4	3	3	6	6	5	5	6	5	6	5	6	6	6
	6	6	5	5	5	5	6	6	6	6	6	6	6	5	6	7	7	8	7	8
	8	7	7	7	8	8	7	7	8	8	10	9	9	9	9	10	9	9	9	10
	10	10	9	10	9	10	9	10	10	9	11	12	12	12	12	11	12	12	11	11
	11	12	12	12	11	12	12	14	13	14	14	13	13	13	14	13	14	14	14	15
	14	16	16	15	16	15	16	15	15	15	16	18	15	18	17	17	17	18	18	19
	20	20	20	19	20	20	19	20	19	21	21	22	22	21	24	24	23	24	24	24
	23	23	23																	
	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1	1	2	2	1	1	1	1	2	1	2
	1	1	1	2	1	4	4	4	1	4	4	4	4	1	1	1	4	3	3	3
	4	3	3	4	3	3	4	4	3	6	6	3	6	3	5	5	6	5	5	6
	6	6	5	5	6	5	6	5	6	5	5	5	6	7	7	7	8	8	8	7
	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	7	8	7	7	7	9	10	10	9	9
	10	10	9	9	11	10	12	11	12	11	12	11	12	12	11	12	11	12	12	11
	14	14	14	11	14	13	13	14	13	14	14	14	13	14	14	15	14	14	16	16
	15	15	15	15	15	16	15	18	18	18	17	17	18	18	17	17	17	17	18	19
	20	19	20	20	20	20	19	20	19	21	21	22	22	21	24	24	23	24	24	23
	23	23	24																	

5.3 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.152 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	25	32	1	26	51	2	35	24	3	52	155	156	33	11	6	18	13	40	16	38
	125	7	30	47	19	41	134	137	139	128	34	22	27	9	29	46	23	10	21	44
	14	56	79	78	5	12	43	73	15	28	45	84	55	37	124	17	39	126	4	8
	31	50	71	74	72	54	49	76	58	75	36	53	99	101	153	154	114	115	132	116
	133	136	141	140	100	151	149	150	20	42	129	135	143	142	148	138	48	144	145	146
	57	59	60	61	63	62	64	65	152	127	66	67	68	69	83	89	70	80	81	82
	147	77	170	85	130	86	90	87	88	94	91	92	111	112	97	93	96	98	102	103
	118	104	105	131	106	109	108	117	163	107	110	113	119	120	160	157	162	158	159	121
	122	164	165	161	123	166	95	167	168	169	171	172	173	174	175	176	179	177	181	178
	182	180	183																	
	25	32	1	26	51	2	35	24	3	52	155	156	33	11	6	18	13	40	16	38
	125	7	30	47	19	41	128	134	137	139	34	22	27	9	29	46	23	10	21	44
	14	56	79	78	5	12	43	73	15	28	45	84	55	37	124	17	39	126	4	8
	31	50	71	74	72	54	49	76	58	75	36	53	99	101	153	154	114	115	132	116
	127	133	141	136	140	100	151	149	150	20	42	129	135	143	138	142	148	48	144	145
	146	57	59	60	61	63	62	64	65	152	66	67	68	69	83	89	70	80	81	82
	147	77	170	85	130	86	90	87	88	94	91	92	111	97	112	93	96	98	102	103
	118	104	105	131	95	106	109	108	119	107	110	113	117	163	120	121	160	157	123	162
	122	158	159	164	165	166	161	167	168	169	171	172	173	174	175	176	179	177	181	178
	182	180	183																	

ตารางที่ ข.152 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	25 32 1 26 51 2 35 24 3 52 155 156 33 11 6 18 13 40 16 38 125 7 30 47 19 41 128 134 137 139 34 22 27 9 29 46 23 10 21 44 14 56 79 78 5 12 43 73 15 28 45 84 55 37 124 17 39 126 4 8 31 50 71 74 72 54 49 76 58 75 36 53 99 101 153 154 114 115 132 116 133 141 127 136 140 100 151 149 150 20 42 135 138 129 143 142 148 48 144 145 146 57 59 60 61 63 62 64 65 152 66 67 68 69 83 89 70 80 81 82 147 77 170 85 86 90 87 88 94 91 92 111 112 97 93 96 98 102 103 118 104 105 131 106 109 108 117 163 107 110 113 119 120 122 160 157 162 121 158 159 123 164 165 166 161 95 167 168 169 171 172 173 174 175 176 179 177 181 178 182 180 183 130
	25 32 1 26 51 2 35 24 3 52 156 155 33 11 6 18 13 40 16 38 125 7 30 47 19 41 134 137 139 34 22 27 9 29 46 23 128 10 21 44 14 56 79 78 5 12 43 73 15 28 45 84 55 37 124 17 39 126 4 8 31 50 71 74 72 54 49 76 58 75 36 53 99 101 154 114 115 116 127 133 140 136 153 132 141 100 150 152 151 149 20 42 129 135 142 143 144 138 145 146 48 57 59 60 61 63 62 64 65 148 66 67 68 69 83 89 70 80 81 82 147 77 170 85 130 86 90 87 88 94 91 92 111 112 97 93 96 98 102 103 118 104 105 131 106 109 108 117 163 107 110 113 119 95 120 160 157 123 162 158 159 121 164 161 122 165 166 167 168 169 171 172 173 174 175 176 179 177 181 178 182 180 183
	25 32 1 26 51 2 35 24 3 52 155 156 33 11 6 18 13 40 16 38 125 7 30 47 19 41 134 128 137 139 34 22 27 9 29 46 23 10 21 44 14 56 79 78 5 12 43 73 15 28 45 84 55 37 124 17 39 126 4 8 31 50 71 74 72 54 49 76 58 75 36 53 99 101 153 154 114 115 116 127 133 136 140 132 141 100 151 149 150 20 42 129 48 57 59 60 61 63 62 64 65 152 135 143 138 142 148 144 145 146 66 67 68 69 83 89 70 80 81 82 147 77 170 85 130 86 90 87 88 94 91 92 111 112 97 93 96 98 102 103 118 104 105 131 106 109 119 120 160 157 123 162 122 158 159 108 121 164 165 166 107 110 113 161 117 163 95 167 168 169 171 172 173 174 175 176 179 177 181 178 182 180 183
	25 32 1 26 2 35 24 3 52 156 51 155 33 11 6 18 13 40 16 38 125 7 30 47 19 41 128 134 137 139 34 22 27 9 29 46 23 10 21 44 14 56 79 78 77 5 12 43 15 73 28 55 45 84 37 124 17 39 126 4 8 31 50 72 71 49 76 54 36 53 99 101 153 154 114 115 116 133 132 141 127 136 140 100 151 149 150 20 42 129 135 143 138 142 148 48 144 145 146 152 58 74 75 57 59 60 61 64 62 63 65 66 67 68 69 83 80 89 81 82 147 70 170 85 86 90 87 88 94 91 92 111 112 97 93 96 98 102 103 118 104 105 131 106 109 119 120 160 157 123 162 122 158 159 108 121 164 165 166 107 110 113 161 117 163 95 167 168 169 171 172 173 174 175 176 179 177 181 178 182 180 183 130

ตารางที่ ข.152 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	32	170	22	1	25	24	35	2	3	11	33	6	13	18	40	7	19	30	47	41
	128	27	26	9	16	34	51	10	21	44	23	134	137	139	14	56	77	79	78	29
	46	5	12	43	73	15	37	124	17	39	126	28	45	84	55	4	8	36	53	99
	114	115	132	101	154	153	31	49	76	116	133	136	127	48	100	152	151	150	58	57
	149	20	42	135	129	143	142	138	140	50	54	72	71	59	60	61	64	63	62	74
	75	65	66	67	68	69	83	80	89	81	82	85	130	86	87	94	88	91	95	96
	90	93	97	92	111	70	112	98	102	103	118	104	105	131	106	109	108	119	107	110
	113	117	163	120	157	121	164	123	122	165	166	167	168	169	171	160	162	161	172	173
	174	175	176	177	178	181	180	182	183	179	52	156	155	158	159	38	125	141	148	144
	145	146	147																	
	24	35	4	1	34	33	2	8	3	7	19	41	128	11	26	31	20	42	129	135
	143	138	51	48	134	137	139	30	47	27	23	22	25	52	155	156	32	49	58	57
	10	14	21	5	17	39	126	28	15	37	124	45	12	43	6	9	36	53	99	101
	153	154	114	115	132	142	13	44	73	76	56	79	29	55	46	84	100	151	149	150
	18	40	116	133	127	136	140	16	38	125	141	148	144	145	146	50	71	74	72	54
	59	60	61	63	64	65	62	75	152	66	67	68	69	83	89	70	80	81	82	147
	78	77	170	85	86	90	87	88	94	91	92	111	112	97	93	96	98	102	103	118
	104	105	131	106	109	119	120	160	157	123	162	122	158	159	108	121	164	165	166	107
	110	113	161	117	163	95	167	168	169	171	172	173	174	175	176	177	180	178	181	182
	183	179	130																	
	11	27	2	22	3	7	30	47	32	6	13	9	1	5	17	4	8	31	48	36
	39	126	34	35	49	33	57	25	52	156	29	24	170	26	51	155	53	28	50	74
	75	71	55	72	54	59	60	61	64	62	45	23	15	20	42	135	129	143	138	19
	41	134	137	128	139	18	40	16	38	125	12	10	21	44	14	56	78	79	77	63
	65	66	37	124	67	68	69	83	89	80	81	82	43	73	76	58	70	99	100	151
	150	149	152	114	115	116	133	140	136	127	101	153	154	132	142	141	144	145	146	147
	46	85	130	84	148	86	87	91	90	92	93	111	112	94	98	88	102	103	104	97
	96	118	105	106	107	109	119	120	160	161	157	123	162	121	164	108	117	163	122	158
	159	110	131	95	113	165	166	167	168	169	171	172	173	174	175	179	176	177	180	181
	178	182	183																	

ตารางที่ ข.153 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2
	4	1	1	1	1	1	1	4	4	1	4	1	1	4	4	4	4	1	1	4
	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6
	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	7	8
	8	7	8	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8
	7	10	9	10	9	10	10	9	10	10	9	9	9	9	9	12	9	11	11	11
	12	11	12	12	12	12	12	12	14	13	13	13	13	13	14	14	13	14	14	14
	14	14	16	16	15	16	15	15	15	16	16	16	15	17	18	17	18	17	18	19
	20	19	20	19	20	20	19	20	19	19	19	22	22	21	24	23	24	24	24	23
	23	24	23																	

ตารางที่ ข.153 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	1	4	
	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6	
	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	7	8	
	8	8	8	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	
	8	9	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	9	10	9	12	9	11	11	11	
	12	11	12	12	12	12	12	12	14	13	13	13	13	14	13	14	13	14	14	14	
	14	14	16	16	13	15	16	15	15	16	16	16	15	15	17	17	18	18	17	18	
	20	17	20	17	20	19	19	20	20	19	19	22	22	21	24	23	24	24	24	23	
	23	24	23																		
	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	1	4	
	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6	
	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	7	8	
	8	8	8	7	7	8	7	7	8	8	8	8	7	8	8	7	7	8	8	8	
	8	7	10	9	10	9	10	10	9	10	9	9	9	10	9	12	9	11	11	11	
	12	11	12	12	12	12	12	14	11	13	13	13	13	14	14	13	14	14	14	14	
	14	16	16	15	16	15	15	15	16	16	16	15	17	18	17	17	18	17	19	20	
	19	19	20	19	19	20	20	20	21	21	22	22	21	24	23	24	24	24	23	23	
	24	23	24																		
	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	2	2	2	2	2	2	2	
	4	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	1	1	4	
	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6	
	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	6	5	5	6	8	8	
	7	7	7	7	8	7	8	8	7	7	10	10	10	10	9	10	10	9	10	10	
	10	9	10	9	10	9	10	10	9	11	12	11	12	11	11	12	11	11	11	11	
	12	13	12	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	15	14	14	14	
	14	16	16	16	15	16	15	15	17	16	18	18	17	18	17	18	17	18	18	19	
	20	19	19	19	20	20	20	20	20	21	21	22	22	21	24	23	24	24	24	23	
	23	24	23																		
	2	1	1	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	2	2	2	
	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	1	4	
	1	1	3	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6	
	6	6	5	6	6	5	6	5	6	5	6	6	6	5	5	6	6	5	8	8	
	8	7	7	7	8	7	7	7	8	8	8	8	8	7	8	9	10	9	10	10	
	9	10	10	10	9	9	9	10	10	10	10	9	12	11	11	12	11	11	11	11	
	12	11	12	12	12	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	15	14	14	14	
	14	16	16	16	15	16	15	18	17	18	17	18	20	17	20	17	19	19	20	19	
	20	20	20	19	20	19	20	20	20	21	21	22	22	21	24	23	24	24	24	23	
	23	24	23																		

ตารางที่ ข.153 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-NSGA-II ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22 (ต่อ)

สถานีงาน	2	1	1	1	2	2	1	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
	4	1	1	1	1	1	1	1	4	4	4	1	1	4	4	4	4	1	1	4
	1	1	3	4	3	3	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6
	6	6	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	5	6	6	5	6	8	5	8
	8	7	7	8	7	7	8	8	8	8	8	8	7	7	7	8	8	8	8	10
	10	7	9	9	9	9	9	10	9	9	9	10	9	12	11	11	12	11	12	12
	12	11	12	12	14	14	14	14	13	13	13	13	13	14	14	15	14	14	14	14
	16	16	16	15	16	15	18	17	18	17	18	20	17	20	17	19	19	20	19	20
	20	20	19	20	19	20	20	20	21	21	22	22	21	24	23	24	24	24	23	23
	24	23	24																	
	1	2	1	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	2	2	1	1	1	1	1
	1	1	1	2	2	2	1	1	1	2	4	1	4	4	1	1	3	3	4	4
	4	3	3	3	4	3	3	3	3	3	3	5	5	5	6	6	6	5	6	5
	6	5	5	6	6	5	6	5	5	6	6	5	6	6	8	8	7	8	8	7
	7	8	8	8	8	8	7	7	9	8	10	10	9	9	10	9	10	9	9	10
	9	10	9	10	9	10	9	12	11	12	12	12	12	12	12	11	12	11	12	13
	12	14	14	13	13	14	13	14	14	14	14	14	16	16	15	16	15	15	16	16
	16	15	15	17	18	17	17	17	18	18	17	18	19	19	19	20	20	19	20	20
	21	22	21	22	21	22	22	21	23	24	24	24	23	23	24	24	24	24	23	24
	24	24	24																	
	1	2	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1	2	1	2	2	2	2	2
	2	1	1	2	1	2	2	1	1	1	4	1	4	4	3	4	3	3	4	3
	3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	5	5	5	5	4	4	4	6	6	6
	5	6	6	5	5	5	6	6	6	5	6	6	6	5	6	5	6	5	7	6
	6	6	6	8	8	7	7	8	8	8	8	7	8	8	8	8	7	8	8	7
	8	7	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	10	9	12	9	11	11	11	12
	12	11	14	14	14	14	14	14	13	13	13	13	15	14	14	15	14	14	14	14
	16	16	16	15	16	15	18	17	18	17	18	20	17	20	17	19	19	20	19	20
	20	20	19	20	19	20	20	20	21	21	22	22	21	24	23	24	24	23	24	23
	23	24	24																	
	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	2	2	2	1
	1	1	2	2	2	1	1	2	4	4	4	3	4	3	3	3	3	3	3	4
	3	3	4	4	4	3	4	3	4	3	3	6	5	6	6	6	6	6	5	5
	5	5	6	5	6	6	8	8	8	8	5	5	5	8	5	5	8	7	7	7
	7	8	7	7	8	8	7	7	10	9	9	9	9	10	9	10	10	10	9	9
	10	11	12	11	11	12	12	11	11	12	12	11	12	11	11	12	11	12	11	14
	14	14	14	13	13	14	14	13	14	13	14	13	13	13	14	14	14	14	16	15
	15	16	16	15	16	18	15	17	18	17	18	17	18	17	17	18	17	20	20	19
	20	19	20	20	20	20	19	20	19	21	21	22	22	21	24	24	23	24	24	24
	23	23	23																	

5.4 การค้นหาคำตอบโดยใช้อัลกอริทึมการบรรจวบ

ตารางที่ ข.154 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	4	3	7	35	170	24	25	1	26	34	5	2	32	8	31	33	12	30	51	47
	48	17	6	36	15	10	13	9	53	20	11	22	42	14	39	99	27	135	29	37
	56	46	78	21	43	44	52	23	28	114	79	73	45	49	58	84	55	115	50	71
	72	129	143	57	16	100	151	101	138	38	126	124	77	125	153	150	74	54	155	156
	18	19	76	154	59	60	61	152	149	63	40	75	41	134	64	132	65	62	137	139
	128	142	66	67	116	133	136	68	141	140	148	144	127	145	146	69	83	70	85	147
	89	80	81	82	130	86	90	87	93	91	94	92	98	88	111	95	112	102	97	96
	103	118	104	105	131	106	109	108	117	107	119	120	110	113	160	121	157	164	123	161
	122	165	162	166	167	168	169	163	171	158	172	173	159	174	175	179	176	177	180	178
	181	182	183																	
	24	32	10	27	23	14	22	3	33	11	7	1	34	5	17	4	28	45	30	26
	51	35	39	126	8	31	2	15	37	12	21	20	43	6	13	56	25	49	48	44
	42	129	47	52	79	73	77	78	124	36	16	9	53	29	55	170	57	38	46	135
	19	138	143	99	100	152	149	150	84	58	114	156	41	134	101	154	128	153	50	71
	54	72	74	155	18	75	115	151	59	137	132	142	60	61	125	76	63	64	40	65
	139	62	116	127	133	141	140	136	66	144	145	146	148	67	68	69	80	83	70	85
	81	82	86	90	130	89	87	94	93	91	92	98	111	112	88	97	95	96	102	103
	118	104	105	131	106	109	108	117	119	107	110	113	120	121	147	160	123	122	164	157
	163	165	162	161	166	167	168	169	171	158	172	173	174	175	179	176	177	178	159	181
	182	183	180																	
	1	26	2	32	170	6	24	10	22	34	35	14	18	11	3	4	13	25	23	5
	33	52	16	51	17	12	21	9	15	37	155	56	156	40	7	28	27	124	38	79
	44	29	43	8	45	55	78	30	125	19	20	36	39	73	41	128	134	53	77	46
	84	31	48	49	126	42	135	129	58	143	47	138	76	57	99	100	101	152	149	151
	153	50	71	72	54	59	154	60	61	63	114	115	137	62	132	64	65	142	116	127
	133	136	150	139	74	66	75	67	141	140	148	144	68	69	83	145	70	89	80	81
	82	85	146	130	86	90	147	87	94	91	93	88	98	102	97	95	96	92	111	112
	103	118	104	105	131	106	109	108	117	163	119	107	110	120	123	113	122	121	157	164
	160	158	162	165	166	167	168	159	169	171	172	161	173	174	175	179	176	177	180	178
	181	182	183																	

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.155 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี COIN ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	2	1	1	1	2	1	2	1	1	2	1	2	1	2	2	1	1	1	1	1
	2	1	2	2	1	1	2	2	1	4	4	1	4	3	3	3	3	4	4	3
	3	4	4	3	3	4	4	4	3	3	3	4	3	3	4	3	3	3	3	3
	4	4	4	3	6	3	3	5	5	6	5	5	5	6	5	6	6	6	5	6
	6	5	5	6	5	8	7	8	7	7	8	7	7	7	8	7	8	7	10	10
	7	7	9	9	10	10	9	10	10	9	9	10	10	9	9	10	9	10	10	9
	11	10	12	12	12	12	12	12	12	11	11	13	12	12	13	12	13	12	14	13
	14	14	14	14	14	15	16	15	15	16	15	16	15	16	15	17	18	17	17	17
	18	18	18	17	17	17	19	20	19	19	20	20	20	19	22	22	21	22	22	21
	22	21	21																	
	1	2	1	2	2	1	1	1	1	2	1	1	2	1	1	2	1	1	1	1
	1	2	1	1	2	2	2	1	1	3	2	2	3	2	2	2	2	2	4	4
	4	4	3	4	3	4	3	4	3	3	4	4	3	4	5	6	5	6	6	6
	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	6	8	5	5	7	8	7	7	7	7
	8	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	7	7	8	8	7	7	10	10	9
	10	10	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	9	10	10	9	10	9	9	12
	11	12	12	12	12	11	12	11	12	11	13	12	13	13	12	14	14	13	14	14
	14	14	14	14	15	16	15	15	15	16	16	16	15	15	16	16	16	18	15	17
	18	18	18	17	17	17	17	17	19	19	20	20	19	22	22	21	22	21	22	22
	21	21	22																	
	1	1	2	2	2	2	1	1	1	2	1	1	2	2	1	2	2	2	2	1
	1	2	4	1	1	1	1	4	1	1	3	3	4	4	3	3	3	3	4	3
	4	4	3	4	3	3	4	3	6	3	6	3	3	6	3	3	5	5	5	6
	5	6	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	5	6	6	6	8	7	7
	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	8	7	8	7	7	10	9	9	10	10
	10	9	10	10	10	10	9	10	10	9	9	10	10	9	9	10	10	12	11	11
	11	12	11	12	12	12	11	12	11	11	12	12	14	13	14	13	13	13	13	15
	14	14	14	14	14	16	16	15	15	15	16	16	15	16	16	16	18	17	17	17
	18	17	18	18	18	18	18	20	19	19	20	19	20	19	22	22	21	22	22	21
	22	21	21																	

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ตารางที่ ข.156 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	24	11	1	35	4	8	20	31	5	17	15	39	28	26	126	25	52	156	51	155
	45	32	170	42	135	138	129	143	3	7	30	47	2	6	18	40	13	16	38	125
	36	53	99	114	101	153	12	48	23	10	14	21	44	43	73	27	34	19	41	134
	128	137	139	56	79	77	78	9	29	46	55	154	100	150	152	149	84	151	37	33
	115	116	133	132	142	127	141	124	140	144	145	146	148	136	22	49	57	50	72	71
	74	75	54	59	60	61	62	64	63	65	66	67	68	69	80	83	89	85	130	81
	82	86	90	147	76	87	94	88	96	93	91	97	95	92	111	112	58	70	98	102
	103	104	118	105	131	106	109	107	108	117	110	113	163	119	120	157	123	121	164	122
	165	166	167	160	161	162	168	169	171	172	158	159	173	174	175	179	176	177	178	180
	182	183	181																	
	33	25	2	170	32	3	7	30	47	34	11	23	10	14	19	41	134	128	21	22
	27	137	139	26	24	1	5	12	15	17	39	43	37	124	28	45	126	4	8	31
	20	42	129	135	143	138	48	52	6	9	18	29	46	55	36	40	13	50	72	74
	75	71	16	38	125	56	78	79	84	77	53	99	101	153	114	154	115	132	116	142
	127	100	152	150	149	133	141	140	148	144	145	146	151	44	73	136	35	54	49	58
	57	59	76	60	61	63	62	64	65	66	67	68	69	80	70	83	89	147	81	82
	85	86	87	91	88	96	98	90	92	111	97	130	112	93	94	95	102	103	104	105
	131	118	106	107	109	119	108	117	163	110	113	120	122	121	164	160	161	123	165	166
	167	168	169	171	172	173	174	175	179	176	177	180	181	178	182	183	162	156	51	155
	157	158	159																	

ตารางที่ ข.157 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี DPSO ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	1	2	1	2	2	2	2	2	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1
	1	1	2	2	2	1	2	2	3	3	3	3	2	4	4	4	4	4	4	4
	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	4	3	4	3	3	5
	5	6	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	6	8	7	7	7	7	7
	7	8	8	7	7	8	8	7	7	8	7	8	9	9	10	10	9	10	10	9
	9	9	10	10	10	9	10	10	9	9	10	11	12	11	12	11	11	12	12	12
	12	12	12	11	11	14	13	14	13	14	13	14	13	13	15	15	14	14	14	14
	14	16	15	16	16	15	16	16	15	15	17	18	17	18	17	18	17	17	17	20
	20	19	20	19	19	20	19	19	21	22	21	22	22	21	24	24	23	24	23	24
	23	23	24																	
	1	2	2	2	1	1	1	1	1	2	2	2	1	1	1	1	1	1	2	2
	2	2	2	1	1	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	3	2	2	2
	4	4	4	4	4	3	4	4	4	4	4	4	6	5	6	6	6	5	6	5
	5	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	6	7	7	8	8	7	7	8	7
	8	7	8	8	7	8	8	7	9	8	8	8	9	10	10	9	10	10	10	10
	9	10	9	10	10	9	10	10	9	10	9	10	11	12	11	11	11	12	12	12
	12	12	12	11	12	13	14	14	13	13	14	14	13	14	13	14	14	14	14	16
	16	13	15	16	16	15	15	16	15	16	18	17	18	17	17	18	17	18	18	18
	17	18	19	19	20	20	19	22	22	21	22	22	22	21	21	21	24	24	23	23
	23	23	24																	

5.6 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.158 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	35	1	10	4	33	23	34	170	26	24	25	22	5	15	37	124	28	12	17	52
	27	11	2	6	9	29	46	55	8	20	42	129	39	126	3	7	36	53	99	101
	153	135	156	31	48	21	51	16	18	40	43	38	19	41	143	155	100	151	152	149
	150	134	114	115	132	13	44	137	139	45	30	47	154	128	138	14	125	32	73	56
	78	77	50	72	74	71	75	49	58	76	116	133	140	141	136	79	84	127	142	57
	54	59	60	61	64	63	65	66	62	144	145	146	148	67	68	69	83	147	80	70
	85	130	89	81	82	86	87	91	90	93	92	111	112	98	88	95	96	97	102	103
	104	105	118	131	106	107	119	108	110	113	109	120	157	123	160	122	162	158	159	117
	121	164	161	165	166	167	168	169	171	172	173	174	175	176	177	181	178	182	183	163
	94	179	180																	
	35	10	22	32	3	7	30	47	19	41	128	14	4	8	31	48	20	2	11	27
	25	170	26	1	5	15	37	124	17	28	12	6	9	33	29	39	126	52	156	21
	16	38	125	55	50	71	72	74	54	49	57	34	24	51	155	13	18	40	134	56
	78	79	44	43	36	53	99	100	101	153	154	114	115	116	127	133	136	140	45	42
	129	73	137	139	46	84	76	59	60	61	64	62	63	151	149	152	150	58	132	135
	143	142	138	23	77	75	65	66	67	68	69	83	80	89	81	82	85	130	86	90
	87	70	88	95	93	94	91	92	98	102	103	104	118	97	96	111	112	105	131	106
	107	108	110	113	117	163	119	120	123	122	121	164	157	160	162	158	165	166	167	168
	169	171	172	173	159	161	109	174	175	176	177	181	178	182	183	180	179	141	144	145
	146	147	148																	

ตารางที่ ข.159 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	1	1	1	2	1	2	2	2	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2
	2	2	2	2	2	2	2	1	2	4	4	4	1	3	3	3	4	3	4	3
	3	4	4	4	4	3	3	4	6	6	3	6	3	3	6	5	5	5	6	5
	6	5	5	5	5	6	6	6	8	5	5	5	8	5	5	7	8	7	8	7
	8	7	7	8	7	7	7	8	8	7	8	8	7	8	7	8	9	8	9	9
	10	10	9	10	10	9	9	10	9	9	9	9	9	10	10	9	9	10	11	10
	12	12	12	11	11	12	12	11	12	12	13	13	13	12	14	14	13	14	14	14
	14	14	13	14	15	16	15	16	16	16	16	15	15	16	15	18	18	17	18	17
	17	17	17	18	18	18	18	19	19	20	20	19	22	21	22	22	21	21	21	22
	21	22	22																	
	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2	2	1
	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	3	2	4	3	4	3	3	4	4	3
	4	4	4	3	3	3	4	3	3	3	3	4	3	3	5	6	6	6	5	5
	6	5	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	6	6	6	5	7	7	6
	6	6	8	8	8	7	7	8	8	8	8	7	7	7	7	8	8	8	7	8
	8	9	9	10	9	9	10	9	10	9	10	9	10	11	12	12	12	12	12	12
	12	12	12	11	12	11	11	13	12	12	14	14	13	13	13	13	13	14	14	14
	16	15	16	16	15	15	15	16	15	16	15	15	18	17	18	17	18	17	18	17
	19	19	20	20	20	19	20	19	22	21	22	22	21	21	21	22	22	22	22	22
	22	22	21																	

5.7 การค้นหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ ข.160 ผลลัพธ์ของลำดับขั้นงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

ลำดับขั้นงาน	10	25	52	32	33	4	27	170	24	35	156	34	14	1	8	26	31	51	22	23
	20	5	17	39	126	15	155	3	48	7	42	12	11	135	2	28	45	6	129	138
	30	9	29	37	19	143	41	21	43	18	55	13	124	44	73	56	79	134	36	16
	49	58	76	40	77	57	53	46	50	137	128	78	84	139	54	71	38	125	74	72
	99	59	60	61	64	101	153	75	63	65	100	152	62	149	47	150	151	154	114	115
	132	142	66	67	68	69	83	89	116	133	127	141	136	140	85	130	86	90	87	94
	93	91	92	98	111	112	88	97	96	102	95	103	118	104	70	105	131	148	144	145
	146	106	107	109	108	117	110	80	119	120	121	157	158	160	122	164	165	159	113	123
	162	163	166	167	168	169	171	161	172	173	81	82	174	147	175	179	176	177	181	178
	182	183	180																	
	10	14	1	24	2	27	5	12	4	11	17	25	32	3	28	45	22	35	170	52
	15	6	39	26	51	34	37	13	16	155	21	126	18	44	33	124	43	40	23	156
	7	56	79	38	125	8	73	31	48	9	29	46	19	41	36	20	42	129	78	77
	135	143	53	99	114	128	30	47	49	58	76	57	115	50	54	74	72	116	127	134
	59	60	132	61	64	133	63	100	84	71	151	149	141	142	138	55	65	137	139	152
	101	150	66	136	62	154	67	140	68	69	83	89	80	70	81	82	85	148	144	145
	146	75	147	153	130	86	90	87	93	91	92	98	111	112	88	97	96	102	95	103
	118	94	104	105	131	106	107	109	108	117	110	163	113	119	120	123	121	157	158	160
	161	162	164	122	165	166	159	167	168	169	171	172	173	174	175	179	176	177	178	182
	183	180	181																	
	10	25	22	26	4	27	14	1	8	34	31	48	2	6	33	16	51	24	32	3
	13	38	125	170	11	7	5	9	36	28	45	52	15	19	30	47	41	134	37	29
	53	20	17	50	71	18	40	124	55	128	137	56	35	54	23	99	114	156	78	74
	72	139	101	153	155	12	39	46	21	77	79	75	42	126	49	154	43	84	100	135
	138	129	151	58	152	115	150	57	143	132	142	116	133	127	140	59	60	61	44	63
	73	149	64	141	62	144	148	145	146	136	76	65	66	67	68	69	83	89	147	80
	70	81	82	85	130	86	90	87	94	93	91	92	98	111	112	88	95	102	96	103
	118	104	105	131	106	107	108	110	113	119	120	123	121	117	160	109	164	122	165	97
	162	163	166	167	168	169	171	157	172	173	158	174	159	175	161	176	177	181	178	182
	180	183	179																	

ตารางที่ ข.161 ผลลัพธ์ของการจัดสรรงานลงสถานีงาน โดยใช้วิธี M-PSONK ในปัญหา 183 ขั้นงาน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 22

สถานีงาน	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	2	1	1	2	1	2	1	1	2	
	2	1	1	1	1	1	1	1	2	3	4	3	4	4	4	3	3	4	4	3	
	3	4	4	3	3	4	3	3	3	4	3	4	3	4	4	3	4	3	4	6	
	5	6	5	6	5	5	6	6	6	6	5	6	5	6	5	5	6	6	5	8	
	5	5	5	5	8	7	7	7	7	8	7	10	7	7	7	10	7	10	7	7	
	7	7	9	9	9	9	9	9	10	10	10	10	9	9	10	10	10	10	12	11	
	12	11	11	12	11	11	12	12	13	12	12	12	12	12	14	14	14	13	13	13	
	13	14	14	14	13	13	13	16	15	15	15	16	15	16	16	17	18	18	18	17	
	18	17	17	17	17	17	17	19	20	20	19	19	19	20	22	22	21	22	22	21	
	21	21	22																		
	1	2	1	1	2	1	1	1	2	2	1	2	2	1	1	1	2	2	2	2	
	1	2	1	1	1	2	1	2	2	1	1	3	4	4	3	3	3	4	4	4	
	3	3	3	4	4	4	4	4	4	6	6	6	3	3	3	6	6	6	6	3	
	6	6	5	5	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	5	
	5	5	5	7	8	8	7	7	7	7	7	7	8	7	7	8	8	8	8	10	
	7	10	9	9	9	10	9	9	9	9	9	9	10	10	12	11	12	11	12	12	
	12	11	12	11	12	12	12	12	12	11	11	12	13	13	12	12	13	12	12	14	
	14	13	14	14	14	13	14	16	15	15	15	16	16	15	16	15	15	16	17	18	
	17	18	17	18	18	17	18	18	17	19	19	20	20	19	22	22	21	22	21	21	
	21	22	22																		
	1	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	1	
	2	2	2	4	4	1	1	4	1	1	1	4	1	1	1	1	1	1	1	4	
	3	4	3	3	3	4	4	3	3	3	4	3	3	6	6	5	5	6	6	5	
	6	6	5	5	5	5	5	6	5	5	5	5	6	7	6	6	7	7	8	8	
	7	8	7	8	8	7	8	7	8	7	7	8	8	8	7	8	8	7	8	9	
	8	9	10	10	10	10	9	10	10	9	9	10	10	10	10	10	9	12	9	11	
	11	11	11	12	12	12	12	12	11	12	11	13	14	13	13	14	14	14	13	14	
	14	14	14	14	15	16	15	16	16	15	15	15	15	16	16	16	17	18	18	17	
	18	17	17	17	17	17	17	18	20	20	19	19	20	22	21	21	22	22	21	21	
	22	21	22																		

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค
ผลวิเคราะห์การทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

ผลวิเคราะห์การทดลอง

จากการวิเคราะห์หาค่าเหมาะสมของพารามิเตอร์ในวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม อัลกอริทึมการบรรจวบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a คอมพิวเตอร์ Intel(R) Core2Duo CPU 2.93 GHz. / 3.5 GB of RAM มีรายละเอียดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ และตัวชี้วัดสมรรถนะ ดังนี้

<u>วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม</u> <u>(NSGA-II)</u>

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
1	12	0.6	0.1	0.3167	0
2	12	0.6	0.2	0	0
3	12	0.6	0.3	0	0
4	12	0.6	0.4	0	0
5	12	0.7	0.1	0.0416	0
6	12	0.7	0.2	0	0
7	12	0.7	0.3	0	0
8	12	0.7	0.4	0	0
9	12	0.8	0.1	0.0416	0
10	12	0.8	0.2	0.0416	0
11	12	0.8	0.3	0	0
12	12	0.8	0.4	0	0
13	12	0.9	0.1	0	0
14	12	0.9	0.2	0	0
15	12	0.9	0.3	0	0
16	12	0.9	0.4	0	0

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
17	65	0.6	0.1	0.0988	0.0988
18	65	0.6	0.2	0.2157	0.2157
19	65	0.6	0.3	0.0948	0.0948
20	65	0.6	0.4	0.1744	0.1744
21	65	0.7	0.1	0.2193	0.1583
22	65	0.7	0.2	0.2085	0.2234
23	65	0.7	0.3	0.2482	0.1788
24	65	0.7	0.4	0.1978	0.2441
25	65	0.8	0.1	0.1988	0.1947
26	65	0.8	0.2	0.1873	0.2113
27	65	0.8	0.3	0.2790	0.1653
28	65	0.8	0.4	0.1909	0.1909
29	65	0.9	0.1	0.1875	0.1875
30	65	0.9	0.2	0.1344	0.1344
31	65	0.9	0.3	0.1922	0.1922
32	65	0.9	0.4	0.1710	0.1710
33	148	0.6	0.1	0.2094	0.2094
34	148	0.6	0.2	0.2874	0.2874
35	148	0.6	0.3	0.2366	0.2366
36	148	0.6	0.4	0.3419	0.3419
37	148	0.7	0.1	0.2488	0.2488
38	148	0.7	0.2	0.3086	0.3086
39	148	0.7	0.3	0.2070	0.2547
40	148	0.7	0.4	0.1460	0.1460
41	148	0.8	0.1	0.2199	0.2199
42	148	0.8	0.2	0.1533	0.2089
43	148	0.8	0.3	0.2190	0.1981
44	148	0.8	0.4	0.4571	0.4571

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
45	148	0.9	0.1	0.2072	0.1394
46	148	0.9	0.2	0.2035	0.2035
47	148	0.9	0.3	0.2372	0.2372
48	148	0.9	0.4	0.0488	0.2573
49	205	0.6	0.1	0.1169	0.1169
50	205	0.6	0.2	0.1161	0.1161
51	205	0.6	0.3	0.1410	0.1410
52	205	0.6	0.4	0.0863	0.0863
53	205	0.7	0.1	0.1019	0.1019
54	205	0.7	0.2	0.1147	0.0706
55	205	0.7	0.3	0.0765	0.1039
56	205	0.7	0.4	0.0812	0.0812
57	205	0.8	0.1	0.1252	0.1391
58	205	0.8	0.2	0.1019	0.0750
59	205	0.8	0.3	0.1194	0.1075
60	205	0.8	0.4	0.1262	0.1262
61	205	0.9	0.1	0.1429	0.0980
62	205	0.9	0.2	0.0936	0.1216
63	205	0.9	0.3	0.1244	0.1161
64	205	0.9	0.4	0.0980	0.0980
65	183	0.6	0.1	0.7844	0.7844
66	183	0.6	0.2	0.4493	0.4493
67	183	0.6	0.3	0.5859	0.5859
68	183	0.6	0.4	0.5314	0.5314
69	183	0.7	0.1	0.4247	0.4193
70	183	0.7	0.2	0.3061	0.6027
71	183	0.7	0.3	0.5260	0.5260
72	183	0.7	0.4	0.6798	0.6798

ตารางที่ ค.1 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
73	183	0.8	0.1	0.3926	0.3283
74	183	0.8	0.2	1	0.3161
75	183	0.8	0.3	0.2937	0.6355
76	183	0.8	0.4	0.3391	0.3391
77	183	0.9	0.1	0.4598	0.2495
78	183	0.9	0.2	0.3979	0.5006
79	183	0.9	0.3	0.3423	0.4747
80	183	0.9	0.4	0.2743	0.2743

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Spread Measurement

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
1	12	0.6	0.1	0.7500	0.6616
2	12	0.6	0.2	0.6616	0.6616
3	12	0.6	0.3	0.6616	0.6616
4	12	0.6	0.4	0.6616	0.6616
5	12	0.7	0.1	0.6040	0.6616
6	12	0.7	0.2	0.6616	0.6616
7	12	0.7	0.3	0.6616	0.6616
8	12	0.7	0.4	0.6616	0.6616
9	12	0.8	0.1	0.6040	0.6616
10	12	0.8	0.2	0.6040	0.6616
11	12	0.8	0.3	0.6616	0.6616
12	12	0.8	0.4	0.6616	0.6616
13	12	0.9	0.1	0.6616	0.6616
14	12	0.9	0.2	0.6616	0.6616
15	12	0.9	0.3	0.6616	0.6616

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Spread Measurement (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
16	12	0.9	0.4	0.6616	0.6616
17	65	0.6	0.1	0.7253	0.7253
18	65	0.6	0.2	0.6683	0.6683
19	65	0.6	0.3	0.8399	0.8399
20	65	0.6	0.4	0.4938	0.4938
21	65	0.7	0.1	0.6331	0.7979
22	65	0.7	0.2	0.6433	0.5514
23	65	0.7	0.3	0.7873	0.8329
24	65	0.7	0.4	0.7697	0.6863
25	65	0.8	0.1	0.7377	0.4456
26	65	0.8	0.2	0.6348	0.4371
27	65	0.8	0.3	0.5931	0.5204
28	65	0.8	0.4	0.6979	0.6979
29	65	0.9	0.1	0.6005	0.6005
30	65	0.9	0.2	0.8486	0.8486
31	65	0.9	0.3	0.8805	0.8805
32	65	0.9	0.4	0.8420	0.8420
33	148	0.6	0.1	0.7541	0.7541
34	148	0.6	0.2	0.5798	0.5798
35	148	0.6	0.3	0.6670	0.6670
36	148	0.6	0.4	0.5932	0.5932
37	148	0.7	0.1	0.8390	0.8390
38	148	0.7	0.2	0.5296	0.5296
39	148	0.7	0.3	0.6978	0.4404
40	148	0.7	0.4	0.5752	0.5752
41	148	0.8	0.1	0.5605	0.5605
42	148	0.8	0.2	0.6218	0.6292
43	148	0.8	0.3	0.4084	0.7556
44	148	0.8	0.4	1	1

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Spread Measurement (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
45	148	0.9	0.1	0.6703	0.5086
46	148	0.9	0.2	0.6865	0.6865
47	148	0.9	0.3	0.4437	0.4437
48	148	0.9	0.4	0.6042	0.6645
49	205	0.6	0.1	0.5216	0.5216
50	205	0.6	0.2	0.6022	0.6022
51	205	0.6	0.3	0.4288	0.4288
52	205	0.6	0.4	0.8193	0.8193
53	205	0.7	0.1	0.7891	0.7891
54	205	0.7	0.2	0.7079	0.8623
55	205	0.7	0.3	0.5674	0.8374
56	205	0.7	0.4	0.5411	0.5411
57	205	0.8	0.1	0.7535	0.7138
58	205	0.8	0.2	0.6904	0.7488
59	205	0.8	0.3	0.6839	0.8068
60	205	0.8	0.4	0.3699	0.3699
61	205	0.9	0.1	0.5451	0.6700
62	205	0.9	0.2	0.6592	0.7849
63	205	0.9	0.3	0.6553	0.7927
64	205	0.9	0.4	0.6854	0.6854
65	183	0.6	0.1	1	1
66	183	0.6	0.2	1	1
67	183	0.6	0.3	1	1
68	183	0.6	0.4	1	1
69	183	0.7	0.1	0.5206	0.6736
70	183	0.7	0.2	0.6371	1
71	183	0.7	0.3	0.5024	0.5024
72	183	0.7	0.4	0.9007	0.9007

ตารางที่ ค.2 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Spread Measurement (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
73	183	0.8	0.1	0.7500	0.6349
74	183	0.8	0.2	1	0.5409
75	183	0.8	0.3	0.5200	1
76	183	0.8	0.4	0.7500	0.7500
77	183	0.9	0.1	1	0.5543
78	183	0.9	0.2	0.7500	1
79	183	0.9	0.3	0.5769	0.7500
80	183	0.9	0.4	0.7887	0.7887

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
1	12	0.6	0.1	1	1
2	12	0.6	0.2	1	1
3	12	0.6	0.3	1	1
4	12	0.6	0.4	1	1
5	12	0.7	0.1	0.6667	1
6	12	0.7	0.2	1	1
7	12	0.7	0.3	1	1
8	12	0.7	0.4	1	1
9	12	0.8	0.1	0.6667	1
10	12	0.8	0.2	0.6667	1
11	12	0.8	0.3	1	1
12	12	0.8	0.4	1	1
13	12	0.9	0.1	1	1
14	12	0.9	0.2	1	1
15	12	0.9	0.3	1	1
16	12	0.9	0.4	1	1

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
17	65	0.6	0.1	0	0
18	65	0.6	0.2	0.1667	0.1667
19	65	0.6	0.3	0.1111	0.1111
20	65	0.6	0.4	0.1429	0.1429
21	65	0.7	0.1	0	0
22	65	0.7	0.2	0	0
23	65	0.7	0.3	0	0.1111
24	65	0.7	0.4	0.1429	0
25	65	0.8	0.1	0	0
26	65	0.8	0.2	0.1667	0
27	65	0.8	0.3	0	0
28	65	0.8	0.4	0	0
29	65	0.9	0.1	0	0
30	65	0.9	0.2	0.1667	0.1667
31	65	0.9	0.3	0.2000	0.2000
32	65	0.9	0.4	0.1429	0.1429
33	148	0.6	0.1	0	0
34	148	0.6	0.2	0	0
35	148	0.6	0.3	0.2500	0.2500
36	148	0.6	0.4	0	0
37	148	0.7	0.1	0	0
38	148	0.7	0.2	0	0
39	148	0.7	0.3	0	0
40	148	0.7	0.4	0	0
41	148	0.8	0.1	0	0
42	148	0.8	0.2	0.1667	0
43	148	0.8	0.3	0	0
44	148	0.8	0.4	1	1

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
45	148	0.9	0.1	0	0
46	148	0.9	0.2	0	0
47	148	0.9	0.3	0.2000	0.2000
48	148	0.9	0.4	0.5000	0
49	205	0.6	0.1	0.0833	0.0833
50	205	0.6	0.2	0	0
51	205	0.6	0.3	0	0
52	205	0.6	0.4	0.0909	0.0909
53	205	0.7	0.1	0.1111	0.1111
54	205	0.7	0.2	0	0
55	205	0.7	0.3	0.1818	0.2500
56	205	0.7	0.4	0.2857	0.2857
57	205	0.8	0.1	0	0
58	205	0.8	0.2	0.2000	0.0909
59	205	0.8	0.3	0	0.1667
60	205	0.8	0.4	0	0
61	205	0.9	0.1	0.0909	0
62	205	0.9	0.2	0	0
63	205	0.9	0.3	0	0
64	205	0.9	0.4	0.2000	0.2000
65	183	0.6	0.1	0	0
66	183	0.6	0.2	1	1
67	183	0.6	0.3	0	0
68	183	0.6	0.4	0	0
69	183	0.7	0.1	0	0
70	183	0.7	0.2	0	0
71	183	0.7	0.3	0	0
72	183	0.7	0.4	0	0
73	183	0.8	0.1	0.5000	0

ตารางที่ ค.3 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
74	183	0.8	0.2	0	0
75	183	0.8	0.3	0	0
76	183	0.8	0.4	0	0
77	183	0.9	0.1	0	0.5000
78	183	0.9	0.2	0	1
79	183	0.9	0.3	0	0
80	183	0.9	0.4	0	0

อัลกอริทึมการบรรจวบ (COIN)

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
81	12	0.1	0.1	0	0
82	12	0.1	0.2	0	0
83	12	0.1	0.3	0	0
84	12	0.1	0.4	0	0
85	12	0.15	0.1	0	0
86	12	0.15	0.2	0	0
87	12	0.15	0.3	0	0
88	12	0.15	0.4	0	0
89	12	0.2	0.1	0	0
90	12	0.2	0.2	0.0416	0
91	12	0.2	0.3	0.0416	0
92	12	0.2	0.4	0	0
93	65	0.1	0.1	0.1832	0.1932
94	65	0.1	0.2	0.1579	0.0947

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
95	65	0.1	0.3	0.1607	0.1272
96	65	0.1	0.4	0.1351	0.1738
97	65	0.15	0.1	0.3001	0.3001
98	65	0.15	0.2	0.1299	0.1814
99	65	0.15	0.3	0.1769	0.0926
100	65	0.15	0.4	0.1821	0.1581
101	65	0.2	0.1	0.2087	0.2988
102	65	0.2	0.2	0.1807	0.1655
103	65	0.2	0.3	0.1427	0.2592
104	65	0.2	0.4	0.1602	0.2203
105	148	0.1	0.1	0.2768	0.2768
106	148	0.1	0.2	0.2721	0.2285
107	148	0.1	0.3	0.2654	0.1288
108	148	0.1	0.4	0.1143	0.2476
109	148	0.15	0.1	0.2134	0.2654
110	148	0.15	0.2	0.1730	0.1715
111	148	0.15	0.3	0.1851	0.1474
112	148	0.15	0.4	0.1789	0.1431
113	148	0.2	0.1	0.1864	0.1864
114	148	0.2	0.2	0.1092	0.1700
115	148	0.2	0.3	0.1703	0.1147
116	148	0.2	0.4	0.1419	0.0791
117	205	0.1	0.1	0.2241	0.1583
118	205	0.1	0.2	0.1083	0.1744
119	205	0.1	0.3	0.1441	0.1612
120	205	0.1	0.4	0.1576	0.1330
121	205	0.15	0.1	0.1398	0.1682
122	205	0.15	0.2	0.0687	0.1434

ตารางที่ ค.4 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจบ ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
123	205	0.15	0.3	0.1312	0.1096
124	205	0.15	0.4	0.1852	0.1648
125	205	0.2	0.1	0.1588	0.1588
126	205	0.2	0.2	0.1534	0.1546
127	205	0.2	0.3	0.1712	0.1761
128	205	0.2	0.4	0.0963	0.1677
129	183	0.1	0.1	0.3964	0.5966
130	183	0.1	0.2	0.3724	0.6360
131	183	0.1	0.3	0.6206	0.4233
132	183	0.1	0.4	0.9252	0.1944
133	183	0.15	0.1	0.6783	0.0663
134	183	0.15	0.2	1.0655	0.7458
135	183	0.15	0.3	0.7452	0.9008
136	183	0.15	0.4	0.3050	1.0759
137	183	0.2	0.1	0.8030	0.9056
138	183	0.2	0.2	0.3312	0.6221
139	183	0.2	0.3	0.5763	1
140	183	0.2	0.4	0.6559	0.6590

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Spread Measurement

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
81	12	0.1	0.1	0.6616	0.6616
82	12	0.1	0.2	0.6616	0.6616
83	12	0.1	0.3	0.6616	0.6616
84	12	0.1	0.4	0.6616	0.6616
85	12	0.15	0.1	0.6616	0.6616
86	12	0.15	0.2	0.6616	0.6616
87	12	0.15	0.3	0.6616	0.6616
88	12	0.15	0.4	0.6616	0.6616
89	12	0.2	0.1	0.6616	0.6616
90	12	0.2	0.2	0.6040	0.6616
91	12	0.2	0.3	0.6040	0.6616
92	12	0.2	0.4	0.6616	0.6616
93	65	0.1	0.1	0.6733	0.6348
94	65	0.1	0.2	0.6289	0.8092
95	65	0.1	0.3	0.8531	0.6208
96	65	0.1	0.4	0.7387	0.6232
97	65	0.15	0.1	0.5130	0.5130
98	65	0.15	0.2	0.6002	0.6021
99	65	0.15	0.3	0.7042	0.8184
100	65	0.15	0.4	0.6014	0.7118
101	65	0.2	0.1	0.5937	0.6055
102	65	0.2	0.2	0.7293	0.6981
103	65	0.2	0.3	0.8609	0.5135
104	65	0.2	0.4	0.5680	0.6384
105	148	0.1	0.1	0.6046	0.6046
106	148	0.1	0.2	0.4195	0.7576
107	148	0.1	0.3	0.4748	0.6566
108	148	0.1	0.4	0.7924	0.7479

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Spread Measurement (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
109	148	0.15	0.1	0.5173	0.8016
110	148	0.15	0.2	0.7093	0.5644
111	148	0.15	0.3	0.4775	0.4214
112	148	0.15	0.4	0.5218	0.7600
113	148	0.2	0.1	0.5345	0.5345
114	148	0.2	0.2	0.6159	0.5098
115	148	0.2	0.3	0.5404	0.6446
116	148	0.2	0.4	0.6545	0.8674
117	205	0.1	0.1	0.3968	0.7552
118	205	0.1	0.2	0.8127	0.6398
119	205	0.1	0.3	0.8021	0.5931
120	205	0.1	0.4	0.4212	0.6575
121	205	0.15	0.1	0.5957	0.5339
122	205	0.15	0.2	0.8062	0.5247
123	205	0.15	0.3	0.5485	0.7147
124	205	0.15	0.4	0.6820	0.5377
125	205	0.2	0.1	0.7475	0.7475
126	205	0.2	0.2	0.5109	0.8838
127	205	0.2	0.3	0.7175	0.6630
128	205	0.2	0.4	0.7572	0.4909
129	183	0.1	0.1	0.5067	0.6627
130	183	0.1	0.2	0.8282	0.5924
131	183	0.1	0.3	0.5711	0.5738
132	183	0.1	0.4	1	0.5545
133	183	0.15	0.1	0.6558	0.5456
134	183	0.15	0.2	1	0.6054
135	183	0.15	0.3	0.7500	0.7500
136	183	0.15	0.4	0.4242	1

ตารางที่ ค.5 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Spread Measurement (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
137	183	0.2	0.1	0.7500	0.7500
138	183	0.2	0.2	0.6772	0.6297
139	183	0.2	0.3	0.5429	1
140	183	0.2	0.4	0.5659	0.8710

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
81	12	0.1	0.1	1	1
82	12	0.1	0.2	1	1
83	12	0.1	0.3	1	1
84	12	0.1	0.4	1	1
85	12	0.15	0.1	1	1
86	12	0.15	0.2	1	1
87	12	0.15	0.3	1	1
88	12	0.15	0.4	1	1
89	12	0.2	0.1	1	1
90	12	0.2	0.2	0.6667	1
91	12	0.2	0.3	0.6667	1
92	12	0.2	0.4	1	1
93	65	0.1	0.1	0	0
94	65	0.1	0.2	0	0
95	65	0.1	0.3	0	0
96	65	0.1	0.4	0	0
97	65	0.15	0.1	0	0
98	65	0.15	0.2	0	0

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบ ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
99	65	0.15	0.3	0	0.1250
100	65	0.15	0.4	0	0
101	65	0.2	0.1	0	1
102	65	0.2	0.2	0	0
103	65	0.2	0.3	0	0
104	65	0.2	0.4	0.1250	0
105	148	0.1	0.1	0	0
106	148	0.1	0.2	0	0
107	148	0.1	0.3	0	0
108	148	0.1	0.4	0	0
109	148	0.15	0.1	0	0
110	148	0.15	0.2	0	0
111	148	0.15	0.3	0.2000	0.1667
112	148	0.15	0.4	0	0.1111
113	148	0.2	0.1	0	0
114	148	0.2	0.2	0	0
115	148	0.2	0.3	0	0.2222
116	148	0.2	0.4	0	0.1429
117	205	0.1	0.1	0	0
118	205	0.1	0.2	0	0
119	205	0.1	0.3	0.1000	0.1667
120	205	0.1	0.4	0	0.2500
121	205	0.15	0.1	0.2000	0
122	205	0.15	0.2	0.0833	0
123	205	0.15	0.3	0.1250	0
124	205	0.15	0.4	0.2000	0
125	205	0.2	0.1	0.5000	0.5000
126	205	0.2	0.2	0	0

ตารางที่ ค.6 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึมการบรรจบ ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ	ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลและการลงโทษ	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
127	205	0.2	0.3	0	0
128	205	0.2	0.4	0	0
129	183	0.1	0.1	0	0
130	183	0.1	0.2	0	0
131	183	0.1	0.3	0	0
132	183	0.1	0.4	0	0.6667
133	183	0.15	0.1	0	0.8333
134	183	0.15	0.2	0	0
135	183	0.15	0.3	0	0
136	183	0.15	0.4	0	0
137	183	0.2	0.1	0	0
138	183	0.2	0.2	0	0
139	183	0.2	0.3	0	0
140	183	0.2	0.4	0	0

<u>วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (DPSO)</u>

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
141	12	4	25	0	0
142	12	5	20	0	0
143	12	10	10	0	0
144	65	4	25	0.0612	0.0663
145	65	5	20	0.1417	0.0898
146	65	10	10	0.0970	0.0341
147	148	4	25	0.0848	0.0673

ตารางที่ ค.7 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
148	148	5	20	0.0843	0.0843
149	148	10	10	0.0511	0.0463
150	205	4	25	0.1038	0.1069
151	205	5	20	0.1339	0.1135
152	205	10	10	0.0740	0.1321
153	183	4	25	0.3050	0.3312
154	183	5	20	0.3724	0.4233
155	183	10	10	0.0663	0.1944

ตารางที่ ค.8 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในตัวชี้วัด Spread Measurement

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
141	12	4	25	0.6616	0.6616
142	12	5	20	0.6616	0.6616
143	12	10	10	0.6616	0.6616
144	65	4	25	0.5611	0.7293
145	65	5	20	0.6459	0.5937
146	65	10	10	0.7735	0.6014
147	148	4	25	0.6278	0.5098
148	148	5	20	0.7093	0.7093
149	148	10	10	0.4300	0.7600
150	205	4	25	0.6901	0.8838
151	205	5	20	0.5339	0.5247
152	205	10	10	0.6768	0.5377
153	183	4	25	0.4242	0.6772
154	183	5	20	0.8282	0.5738
155	183	10	10	0.5456	0.5545

ตารางที่ ค.9 ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ลำดับผลการทดลอง	ขนาดปัญหา	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
				ทดลองครั้งที่ 1	ทดลองครั้งที่ 2
141	12	4	25	1	1
142	12	5	20	1	1
143	12	10	10	1	1
144	65	4	25	0.3000	0
145	65	5	20	0	0.1111
146	65	10	10	0.1667	0.5000
147	148	4	25	0	0
148	148	5	20	0.2222	0.2222
149	148	10	10	0.7500	0.5556
150	205	4	25	0.3750	0
151	205	5	20	0	0
152	205	10	10	0.5714	0.1429
153	183	4	25	0	0
154	183	5	20	0	0
155	183	10	10	0.8333	0.6667

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง
ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ

ตัวชี้วัดสมรรถนะที่เสนอในงานวิจัยนี้มี 3 ตัว ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) โดยตัววัดสมรรถนะมีเป้าหมายสำคัญ คือ กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal) ต้องมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal) หรือกลุ่มคำตอบที่ได้ควรมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยในที่นี้จะเสนอวิธีการคำนวณของตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 ตัว โดยมีกลุ่มคำตอบที่ได้และกลุ่มคำตอบที่แท้จริงดังตาราง

ตารางที่ ง.1 ตัวอย่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงและกลุ่มคำตอบที่ได้

กลุ่มคำตอบ	$f_1(x)$	$f_2(x)$
กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal)	5.8333	0.0254
	5.8462	0.0186
	5.8500	0.0061
	5.8537	0.0029
	5.8571	0.0006
	5.8605	0.0003
	5.8667	0.0002
กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal)	5.8421	0.0314
	5.8462	0.0190
	5.8500	0.0061
	5.8537	0.0029
	5.8571	0.0006
	5.8605	0.0003
	5.8667	0.0002

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal Solution) กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหรือกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (true-Pareto Optimal Solution) (Gen และ Lin, 2005) โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Convergence = \frac{1}{|S^*|}\sum_{y\in S^*}\min\{d_{xy} \mid x \in S_j\} \qquad (ง.1)$$

เมื่อ $$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left(\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}\right)^2} \qquad (ง.2)$$

โดยที่ S_j คือ เซตคำตอบที่เปรียบเทียบ

S^* คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$|S^*|$ คือ จำนวนคำตอบที่แท้จริง

d_{xy} คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y

$f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุด

$f_i(x)$ เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่หาได้

$f_i(y)$ เป็นค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่แท้จริง

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง นั่นคืออัลกอริทึมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่เหมาะสม โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1) จากตารางที่ ง.1 ทำการหาค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ของการรวมกันระหว่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง และกลุ่มคำตอบที่ได้ ซึ่งจากตัวอย่างจะได้ $f_1^{\max} = 5.8667$, $f_1^{\min} = 5.8333$, $f_2^{\max} = 0.0314$ และ $f_2^{\min} = 0.0002$ จากนั้นคำนวณหาระยะทางของแต่ละคำตอบ โดยใช้สมการที่ (ง.2) ดังตารางที่ ง.2 ถึงตารางที่ ง.4

2) หาระยะทางการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ได้ที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละคำตอบ เพื่อทำการรวมระยะทาง และค่าหาเฉลี่ยโดยการหารด้วยจำนวนสมาชิกกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ดังตารางที่ ง.4

ตารางที่ ง.2 ระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1

true-Pareto	Obtained Pareto						
	5.8421	5.8462	5.8500	5.8537	5.8571	5.8605	5.8667
5.8333	0.0694	0.1492	0.2500	0.3731	0.5078	0.6632	1.0000
5.8462	0.0151	0.0000	0.0129	0.0504	0.1065	0.1833	0.3767
5.8500	0.0559	0.0129	0.0000	0.0123	0.0452	0.0988	0.2500
5.8537	0.1206	0.0504	0.0123	0.0000	0.0104	0.0415	0.1515
5.8571	0.2017	0.1065	0.0452	0.0104	0.0000	0.0104	0.0826
5.8605	0.3035	0.1833	0.0988	0.0415	0.0104	0.0000	0.0345
5.8667	0.5425	0.3767	0.2500	0.1515	0.0826	0.0345	0.0000

จากตารางที่ ง.2 แสดงระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น คำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงเท่ากับ 5.8333 และคำตอบที่ได้เท่ากับ 5.8421 จะได้ระยะทางเท่ากับ $\left(\frac{5.8421-5.8333}{5.8667-5.8333}\right)^2$

$$=\left(\frac{0.0088}{0.0334}\right)^2 = 0.0694$$

ตารางที่ ง.3 ระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2

true-Pareto	Obtained Pareto						
	0.0314	0.0190	0.0061	0.0029	0.0006	0.0003	0.0002
0.0254	0.0370	0.0421	0.3827	0.5201	0.6318	0.6472	0.6524
0.0186	0.1683	0.0002	0.1605	0.2532	0.3328	0.3440	0.3478
0.0061	0.6576	0.1710	0.0000	0.0105	0.0311	0.0346	0.0358
0.0029	0.8344	0.2663	0.0105	0.0000	0.0054	0.0069	0.0075
0.0006	0.9745	0.3478	0.0311	0.0054	0.0000	0.0001	0.0002
0.0003	0.9936	0.3592	0.0346	0.0069	0.0001	0.0000	0.0000
0.0002	1.0000	0.3631	0.0358	0.0075	0.0002	0.0000	0.0000

จากตารางที่ ง.3 แสดงระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น คำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงเท่ากับ 0.0254 และคำตอบที่ได้เท่ากับ 0.0314 จะได้ระยะทางเท่ากับ $\left(\frac{0.0314-0.0254}{0.0314-0.0002}\right)^2$

$=\left(\frac{0.0060}{0.0312}\right)^2 = 0.0370$

ตารางที่ ง.4 ระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบจากการรวมกันของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

true-Pareto	Obtained Pareto							Minimum Distance
	1	2	3	4	5	6	7	
1	0.3262	0.4373	0.7954	0.9450	1.0675	1.1447	1.2854	0.3262
2	0.4282	0.0128	0.4165	0.5510	0.6628	0.7262	0.8512	0.0128
3	0.8447	0.4288	0.0000	0.1510	0.2762	0.3652	0.5346	0.0000
4	0.9773	0.5628	0.1510	0.0000	0.1257	0.2200	0.3987	0.0000
5	1.0845	0.6740	0.2762	0.1257	0.0000	0.1022	0.2877	0.0000
6	1.1389	0.7366	0.3652	0.2200	0.1022	0.0000	0.1857	0.0000
7	1.2420	0.8601	0.5346	0.3987	0.2877	0.1857	0.0000	0.0000
Total Minimum Distance								0.3390
Average Minimum Distance								0.0484

จากตารางที่ ง.4 แสดงระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบจากการรวมกันของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น ระยะทางระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1 กับคำตอบที่ได้ตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ $\sqrt{(0.0694+0.0370)} = \sqrt{0.1064} = 0.3262$ และจากการเปรียบเทียบระยะทางโดยหาระยะทางที่น้อยที่สุด และทำการหาค่าเฉลี่ยในการลู่เข้า จะได้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเท่ากับ 0.0484

2. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการวัดการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Spread = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} \left| d_i - \bar{d} \right|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \qquad \text{(ง.3)}$$

โดยที่ d_f และ d_l คือ ระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน (Extreme solution) ของเส้นของเขตของกลุ่มคำตอบที่หาได้

$\bar{d}$ คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i

d_i คือ ระยะห่างของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อ $i = 1,2,..., N-1$

N คือ จำนวนคำตอบที่หาได้

ถ้าตัวตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้นั้นมีการกระจายสม่ำเสมอ โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1) คำนวณระยะทางของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน (d_i)

2) หาค่าเฉลี่ยของระยะทางระหว่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน $(\bar{d})$ ที่อยู่ติดกันทั้งหมดซึ่งจะมี $N-1$ คำตอบ

3) คำนวณหาผลต่างระหว่าง d_i และ $\bar{d}$ และหาผลรวมของผลต่างที่ได้

4) แทนค่าที่ได้จากในขั้นตอนที่ (1) ถึง (3) ในสมการที่ (ง.3) เพื่อคำนวณหาระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ง.5 การหาระยะทางระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน

No.	Obtained Pareto		Normalized		Euclidean Distance	
	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$		
1	5.8421	0.0314	0.0278	0.1580	$d_1 = d_f$	0.4310
2	5.8462	0.0190	0.0239	0.1710	d_2	0.4414
3	5.8500	0.0061	0.0226	0.0105	d_3	0.1820
4	5.8537	0.0029	0.0191	0.0054	d_4	0.1566
5	5.8571	0.0006	0.0191	0.0001	d_5	0.1385
6	5.8605	0.0003	0.0635	0.0000	$d_6 = d_l$	0.2521
7	5.8667	0.0002	$\bar{d}$			0.2669

จากตารางที่ ง.5 แสดงการหาระยะทางระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน คำนวณได้จากสมการที่ (ง.3) โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น การหาระยะทางระหว่างจุดที่ 1 และ 2 โดยที่ $f_1^{\max} = 5.8667$, $f_1^{\min} = 5.8421$, $f_2^{\max} = 0.0314$ และ $f_2^{\min} = 0.0002$ จะได้ระยะทางของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 เท่ากับ $\left(\frac{5.8421-5.8462}{5.8667-5.8421}\right)^2 = 0.0278$ ระยะทางของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 เท่ากับ $\left(\frac{0.0314-0.0190}{0.0314-0.0002}\right)^2 = 0.1580$ และระยะทางระหว่างคำตอบเท่ากับ $\sqrt{(0.0278+0.1580)} = 0.4310$

ตารางที่ ง.6 ผลต่างระหว่างระยะทางของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันและค่าเฉลี่ยของระยะทาง

No.	d_i	$d_i - \bar{d}$	$\lvert d_i - \bar{d} \rvert$
1	0.4310	0.1640	0.1640
2	0.4414	0.1744	0.1744
3	0.1820	-0.0849	0.0849
4	0.1566	-0.1103	0.1103
5	0.1385	-0.1284	0.1284
6	0.2521	-0.0149	0.0149
7	$\sum_{i=1}^{N-1} \lvert d_i - \bar{d} \rvert$		0.6769

ดังนั้นจะได้การกระจายของกลุ่มคำตอบเท่ากับ $Spread = \dfrac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1}\left|d_i - \bar{d}\right|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}}$

$$= \frac{0.4310 + 0.2521 + 0.6769}{0.4310 + 0.2521 + (7-1)(0.2669)} = 0.5953$$

3. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) เป็นการเปรียบเทียบจำนวนของคำตอบที่ได้ที่อยู่ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Frontier) ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริงทั้งหมด โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$Ratio = \frac{\left|S_j - \left\{x \in S_j \mid \exists_y S : y \prec x\right\}\right|}{\left|S_j\right|} \qquad \text{(ง.4)}$$

โดยที่ S_j คือ เซตคำตอบที่ j เมื่อ $j = 1,2,...,J$

S คือ การร่วมกันของ j เซตคำตอบ ซึ่ง $S = S_1 \cup S_2 .. \cup S_J$

x คือ เซตคำตอบที่หาได้

y คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$y \prec x$ คือ คำตอบ x ถูกข่มด้วยคำตอบ y

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้นั้นมีคำตอบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1) สร้างเมตริกซ์ขนาด $n \times m$ โดยที่ n คือ จำนวนกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง และ m คือ จำนวนกลุ่มคำตอบที่ได้

2) เปรียบเทียบคำตอบที่หาได้ (x) กับคำตอบที่แท้จริง (y) ด้วยหลักการ Pareto Dominance ดังนี้

- ถ้าคำตอบที่ได้เทียบเท่ากับคำตอบที่แท้จริงในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 จะให้ค่าเปรียบเทียบระหว่าง x และ y เท่ากับ 1

- ถ้าคำตอบที่ได้ไม่เท่ากับคำตอบที่แท้จริงในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 จะให้ค่าเปรียบเทียบระหว่าง x และ y เท่ากับ 0

3) หาผลรวมของแต่ละแถว โดยค่าที่ได้นี้คือจำนวนคำตอบที่อยู่บนเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด จากนั้นหารด้วยจำนวนคำตอบที่ได้ เพื่อให้ทราบถึงอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง ดังตารางที่ ง.7

ตารางที่ ง.7 การเปรียบเทียบจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง

No.	true-Pareto	Obtained Pareto							Value
		1	2	3	4	5	6	7	
		5.8421	5.8462	5.8500	5.8537	5.8571	5.8605	5.8667	
		0.0314	0.0190	0.0061	0.0029	0.0006	0.0003	0.0002	
1	5.8333	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0254								
2	5.8462	0	0	0	0	0	0	0	0
	0.0186								
3	5.8500	0	0	1	0	0	0	0	1
	0.0061								
4	5.8537	0	0	0	1	0	0	0	1
	0.0029								
5	5.8571	0	0	0	0	1	0	0	1
	0.0006								
6	5.8605	0	0	0	0	0	1	0	1
	0.0003								
7	5.8667	0	0	0	0	0	0	1	1
	0.0002								
Total Value									5
Ratio of solution									0.7143

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวปาลิดา ฉิมคล้าย เกิดเมื่อวันที่ 2 กรกฎาคม พ.ศ.2529 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปีการศึกษา 2551 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยภายในปีเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย