การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี

นางสาวสุชาดา คิดอ่าน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2553
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MUTII-OBJECTIVE BALANCING PROBLEMS ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINES WITH PARALLEL WORKSTATION IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS

Miss Suchada Kid-Arn

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	การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี
โดย	นางสาวสุชาดา คิดอ่าน
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

สุชาดา คิดอ่าน : การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. (APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MUTII-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE WITH PARALLEL WORKSTATIONS IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา, 671 หน้า.

อุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการบริหารตลอดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ดังนั้นในงานวิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์ที่ชื่อว่า การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK) และได้ทำการพัฒนารวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (M-PSONK) เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสมที่มีสถานีงานแบบขนาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณา (1) จำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด (2) ความสมดุลระหว่างสถานีงาน และ (3) ความสมดุลภายในสถานีงาน ที่หาได้จากอัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมที่ เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบจากอัลกอริทึมทั้งหมดจากตัวชี้วัดสมรรถนะ ในด้านคำตอบที่มีการลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ทำให้พบว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....

ปีการศึกษา 2553

#5170501021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS : U-SHAPED ASSEMBLY LINE / PARALLEL WORKSTATION / GENETIC ALGORITHM / PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

SUCHADA KID-ARN : APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MUTII-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE WITH PARALLEL WORKSTATIONS IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS. ADVISOR : ASSOC.PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D. Eng, 671 pp.

Industries have to change manufacturing strategies continuously to promptly meet the requirement of customers. This paper presents a new evolutionary method called Particle Swam Optimization Algorithms with Negative Knowledge (PSONK) for multi-objectives and developed with a Memetic algorithm (M-PSONK), solve balancing problems on mixed-model U-shaped assembly lines with parallel workstation. The objective was to consider (1) minimum number workstations, (2) balance between workstations and (3) balance the workloads within each workstation. Obtained from COMSOAL, NSGA-II, Particle Swarm Optimization Algorithm, Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge and with Memetic algorithm, compare results all algorithms form four key performance indicators are selected for assessing results, Convergence to the Pareto-optimal set, Spread to the Pareto-optimal set, Ratio of Non-Dominated Solution. We find that in M-PSONK gives the best results.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department : Industrial Engineering Student's Signature .....

Field of Study : Industrial Engineering Advisor's Signature .....

Academic Year : 2010

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และการช่วยเหลือจากศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและปรับปรุงรายละเอียด ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความรักและเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่นนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณคุณภานุวัฒน์ โอฬารวิวัฒน์ชัย ที่ได้คอยช่วยสอนและให้คำแนะนำต่างๆ ในการเขียนโปรแกรมจนสมบูรณ์ ขอขอบคุณ นางสาวปาลิดา ฉิมคล้าย และ นางสาวจาริตา เรืองฤทธิ ที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณนายปุญญกานต์ ตั้งบุญญศิลป์ ที่คอยเป็นแรงใจผลักดันให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ต้องกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่นนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ฎ

สารบัญภาพ..... พ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของการวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... 6

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย..... 6

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย..... 6

2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 9

2.1.1 ลักษณะของสายการประกอบ..... 9

2.1.2 ประเภทของสายงานประกอบ..... 12

2.1.3 หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ..... 14

2.1.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม..... 17

2.1.5 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ..... 18

2.1.6 การหาค่าเหมาะสมที่สุด..... 20

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 24

2.3 สรุป..... 31

3 ทฤษฎีอัลกอริทึม COMSOAL..... 32

3.1 หลักการวิธีอัลกอริทึม COMSOAL..... 32

บทที่ หน้า

3.2 วิธีอัลกอริทึม COMSOAL..... 32
3.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 33
3.4 ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 35
3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 55
3.6 สรุป..... 55

4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II)..... 56
4.1 แนวคิดอัลกอริทึม NSGA-II..... 56
4.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม NSGA -II ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 56
4.3 ตัวอย่างการนำวิธี NSGA-II อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 66
4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 106
4.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)..... 107
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 109
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 132
4.8 สรุป..... 132

5 วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 134
5.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 134
5.2 หลักการวิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 134
5.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนาน..... 135
5.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน.. 138

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ หน้า

5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง..... 176
5.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)..... 177
5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 180
5.8 การเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 191
5.9 สรุป..... 191

6 การหาค่าเหมาสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ..... 193
6.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ..... 193
6.2 ขั้นตอนการทำงานการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 193
6.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 198
6.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ..... 260
6.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 261
6.6 สรุป..... 262

7 การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม..... 263
7.1 เมมเมติกอัลกอริทึม..... 263
7.2 การค้นหาเฉพาะที่..... 264
7.3 การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม..... 266
7.4 ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 266

บทที่ หน้า

7.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 272
7.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม..... 351
7.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง..... 352
7.8 สรุป..... 353

8 ผลการเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..... 354
8.1 จำนวนเจนเนอเรชัน..... 354
8.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง..... 352
8.2.1 ปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน..... 357
8.2.2 ปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน..... 363
8.2.3 ปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน..... 370
8.2.4 ปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน..... 376
8.2.5 ปัญหาขนาด 205 ขั้น..... 382
8.3 สรุป..... 390

9. บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 394
9.1 สรุปงานวิจัย..... 394
9.2 ข้อเสนอแนะ..... 398
รายการอ้างอิง..... 400
ภาคผนวก..... 406
ภาคผนวก ก รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง..... 407
ภาคผนวก ข ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบในอัลกอริทึม..... 425
ภาคผนวก ค การคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะและตัวอย่าง..... 643
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 671

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย.....	3
2.1	ตารางแสดงการจำแนกกลุ่มของวัตถุประสงค์ในสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนาน.....	19
3.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน.....	37
3.2	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	38
3.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	38
3.4	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	39
3.5	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	40
3.6	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	41
3.7	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	41
3.8	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1.....	42
3.9	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	43
3.10	ตารางการหาค่า s_{km}	45
3.11	ตารางการคำนวณค่า B_w	46
3.12	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	47
3.13	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	47
3.14	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	48
3.15	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	50
3.16	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	51
3.17	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	51
3.18	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	52
3.19	การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	53
3.20	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	53

ตารางที่		หน้า
3.21	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	54
4.1	ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต.....	59
4.2	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	61
4.3	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน.....	68
4.4	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	68
4.5	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	69
4.6	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	71
4.7	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	72
4.8	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	73
4.9	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	73
4.10	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1……	74
4.11	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1……	75
4.12	ตารางการหาค่า s_{km}	77
4.13	ตารางการคำนวณค่า B_w	78
4.14	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1……	79
4.15	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์……..	79
4.16	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)……..	80
4.17	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1……..	81
4.18	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	81
4.19	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	82
4.20	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน.....	82
4.21	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	83
4.22	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	83
4.23	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	84
4.24	ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	86

ตารางที่		หน้า
4.25	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน	87
4.26	สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก	88
4.27	ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน	88
4.28	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน	89
4.29	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	90
4.30	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance	91
4.31	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1	93
4.32	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	94
4.33	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	95
4.34	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1	96
4.35	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	96
4.36	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)	97
4.37	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน	97
4.38	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ	98
4.39	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	98
4.40	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์	99
4.41	ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน	101
4.42	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน	102
4.43	สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก	102
4.44	ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน	103
4.45	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน	103
4.46	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance	104
4.47	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance	105
4.48	รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	109
4.49	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	113
4.50	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	116

ตารางที่		หน้า
4.51	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II..	120
4.52	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	127
4.53	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	131
4.54	ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน.....	133
5.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน.....	140
5.2	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	141
5.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	141
5.4	ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 1……..	142
5.5	ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 2……..	143
5.6	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	144
5.7	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	144
5.8	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	145
5.9	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	146
5.10	การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงที่ 1……...	146
5.11	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1……	147
5.11	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)……	148
5.12	ตารางการหาค่า s_{km}	150
5.13	ตารางการคำนวณค่า B_w	151
5.14	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1……	152
5.15	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	152
5.16	ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1……..	153
5.17	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1……...	153
5.18	ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2……..	154
5.19	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2……...	154
5.20	ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	155

ตารางที่ หน้า

5.21 Non-Dominated Sorting ของ Global..... 156
5.22 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 1..... 157
5.23 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 2..... 158
5.24 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 3..... 158
5.25 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 159
5.26 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบก่อนหน้าในฝูงที่ 1..... 159
5.27 ความน่าจะเป็นในตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 160
5.28 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1..... 160
5.29 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1..... 161
5.30 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2..... 162
5.31 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2..... 162
5.32 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2..... 163
5.33 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1..... 164
5.33 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)..... 165
5.34 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์..... 166
5.35 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1..... 166
5.36 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1..... 167
5.37 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1..... 167
5.38 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2..... 168
5.39 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2..... 168
5.40 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2..... 169
5.41 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์..... 170
5.42 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดจากประชากรทั้งหมด..... 170
5.43 Non-Dominated Sorting ของ Global..... 171
5.44 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 173
5.45 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1..... 173
5.46 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1..... 174
5.47 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2..... 175
5.48 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2..... 175

ตารางที่		หน้า
5.49	ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2……..	176
5.50	รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	179
5.51	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	182
5.52	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	183
5.53	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	185
5.54	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	188
5.55	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค.....	190
6.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน.....	200
6.2	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	200
6.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	201
6.4	ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)……..	201
6.5	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)……..	202
6.6	ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกงาน.....	203
6.7	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	204
6.8	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1……..	204
6.9	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	205
6.10	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2……..	206
6.11	การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงที่ 1……..	206
6.12	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1……..	207
6.12	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)……..	208

ตารางที่		หน้า
6.13	ตารางการหาค่า s_{km}	210
6.14	ตารางการคำนวณค่า B_w	211
6.15	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1	212
6.16	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	212
6.16	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)	213
6.17	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	214
6.18	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2	214
6.19	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2	215
6.20	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	215
6.21	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	216
6.22	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2	217
6.23	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2	217
6.24	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	218
6.25	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	218
6.25	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)	219
6.26	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด	219
6.27	Non-Dominated Sorting ของ Global	220
6.28	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	220
6.29	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด	220
6.30	Non-Dominated Sorting ของ Global	221
6.31	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	223
6.32	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	224
6.33	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	225
6.34	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	226

ตารางที่		หน้า
6.35	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1……..	227
6.36	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	230
6.37	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1……..	232
6.38	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1……..	234
6.39	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1……..	235
6.40	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2…….	236
6.41	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2……..	237
6.42	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2……..	237
6.43	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1…….	238
6.44	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2…….	238
6.45	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ฝูงที่ 1…….	238
6.46	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2……..	239
6.47	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1……..	239
6.48	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2……..	240
6.49	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1…….	241
6.50	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	242
6.51	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1……..	243
6.52	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2……	244
6.53	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2……..	244
6.54	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2……..	245
6.55	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1……..	246
6.56	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	246

ตารางที่		หน้า
6.57	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2.....	247
6.58	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	247
6.59	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	248
6.60	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด.....	248
6.61	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	249
6.62	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	249
6.62	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ).....	250
6.63	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด.....	250
6.64	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	251
6.65	Non-Dominated Sorting ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	253
6.66	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	253
6.67	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.68	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.69	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.70	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	255
6.71	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	256
6.72	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	256
6.73	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	257
6.74	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	257
6.75	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	258

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่		หน้า
6.76	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2	259
6.77	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2	260
7.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน	274
7.2	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	274
7.3	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	275
7.4	ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)	275
7.5	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)	276
7.6	การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน	277
7.7	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1	278
7.8	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1	278
7.9	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2	279
7.10	ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2	280
7.11	การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1	280
7.12	สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt	282
7.12	สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt (ต่อ)	283
7.13	สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่	284
7.13	สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่ (ต่อ)	285
7.14	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1	286
7.15	ตารางการหาค่า s_{km}	288
7.16	ตารางการคำนวณค่า B_w	289
7.17	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1	290
7.18	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด	290
7.18	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)	291
7.18	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)	292

ตารางที่		หน้า
7.19	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1.....	292
7.19	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ).....	293
7.20	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1.....	293
7.21	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	294
7.22	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	295
7.23	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2.....	296
7.24	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	297
7.25	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1.....	297
7.25	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ).....	298
7.26	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1.....	298
7.27	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	299
7.28	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	300
7.29	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2.....	301
7.30	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	302
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด.....	302
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ).....	303
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ).....	304
7.32	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด.....	304
7.33	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	305
7.33	Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ).....	306
7.34	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด.....	306
7.34	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ).....	307
7.35	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด.....	308
7.36	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	309
7.36	Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ).....	309
7.37	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	312
7.38	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	312

ตารางที่		หน้า
7.39	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	313
7.40	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	314
7.41	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	315
7.42	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	316
7.43	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	318
7.44	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	319
7.45	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	321
7.46	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	322
7.47	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	324
7.48	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	325
7.49	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	326
7.50	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	327
7.51	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	328
7.52	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	328
7.53	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	329

ตารางที่		หน้า
7.54	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2	329
7.55	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1	329
7.56	ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2	330
7.57	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1	330
7.58	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2	331
7.59	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1	332
7.60	ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	333
7.61	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1	334
7.62	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1	334
7.63	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	335
7.64	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	336
7.65	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1	337
7.66	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1	337
7.67	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	338
7.68	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	338
7.69	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	339
7.70	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด	339
7.71	Non-Dominated Sorting ของ Global	340
7.72	ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	341
7.73	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด	341
7.74	Non-Dominated Sorting ของ Global	342
7.75	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด	343
7.76	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	344
7.77	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	344
7.78	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	345

ตารางที่		หน้า
7.79	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	345
7.80	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	346
7.81	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	346
7.82	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	347
7.83	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	347
7.84	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	348
7.85	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	349
7.86	ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	350
7.87	ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	351
8.1	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	357
8.2	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	358
8.3	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	358
8.4	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	359
8.5	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	359
8.5	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน (ต่อ).....	360
8.6	ผลของตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 11 ขั้นงาน.....	362
8.7	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	363

ตารางที่		หน้า
8.8	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	364
8.9	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	364
8.9	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ).....	365
8.10	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	365
8.10	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ).....	366
8.11	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	366
8.11	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ).....	367
8.12	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 25 ขั้นงาน.....	369
8.13	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	370
8.14	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	370
8.14	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ).....	371
8.15	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	371
8.16	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	372
8.17	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	372
8.17	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ).....	373
8.18	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 61 ขั้นงาน.....	375
8.19	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงาน.....	376
8.20	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน.....	376
8.20	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน (ต่อ)...	377

ตารางที่		หน้า
8.21	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงาน	377
8.22	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงาน	378
8.23	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงาน	379
8.24	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 111 ขั้นงาน	381
8.25	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน	382
8.25	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)	383
8.26	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน	383
8.26	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)	384
8.27	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน	384
8.27	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)	385
8.28	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงาน	385
8.29	ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงาน	386
8.30	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 205 ขั้นงาน	389
8.31	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดเล็ก	391
8.32	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดกลาง	392
8.33	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดใหญ่	393

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของภาระงาน.....	10
2.2	สายการประกอบแบบเส้นตรง.....	10
2.3	สายการประกอบตัวยู.....	11
2.4	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน.....	11
2.5	การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต.....	12
2.6	แผนผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ.....	15
2.7	แผนผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดเฉพาะและความแตกต่างของวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ.....	16
2.8	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)……..	18
2.9	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก.....	20
2.10	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ.....	20
2.11	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบ.....	22
2.12	วิธีการ Non-dominate Sorting ของ Goldberg (1989)…….	23
2.13	การหาค่า Crowding Distance ใน Front ที่ 1…….	24
3.1	ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL…….	35
3.2	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)……..	36
3.3	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……..	43
3.4	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)…….	48
3.5	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……...	50
3.6	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)…….	52
3.7	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)…….	54
4.1	การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น.....	57
4.2	การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority)……..	58
4.3	วงล้อรูเล็ต.....	60
4.4	การกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงคำตอบพ่อและแม่.....	62

ภาพที่		หน้า
4.5	การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักของสตริงคำตอบของพ่อแม่.....	62
4.6	วิธี Reciprocal Exchange Mutation.....	63
4.7	ขั้นตอนการทำงานของ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II).....	65
4.8	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956).....	67
4.9	การสร้างกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น.....	69
4.10	สตริงกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority).....	70
4.11	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	75
4.12	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989).....	80
4.13	วงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน.....	83
4.14	การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1.....	85
4.15	การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2.....	85
4.16	วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 1.....	87
4.17	วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 4.....	87
4.18	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน.....	90
4.19	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	94
4.20	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989).....	95
4.21	วงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน.....	97
4.22	การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1.....	99
4.23	การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2.....	100
4.24	วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 3.....	101
4.25	วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 4.....	101
4.26	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน.....	104
4.27	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	110

ภาพที่ หน้า

4.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 110
4.29 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 111
4.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 111
4.31 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 112
4.32 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 112
4.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 112
4.34 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 114
4.35 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 114
4.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 115
4.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 115
4.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 116
4.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-optimal set..... 117

ภาพที่ หน้า

4.40 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 117
4.41 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 118
4.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 118
4.43 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 119
4.44 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 119
4.45 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 120
4.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 121
4.47 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 121
4.48 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 122
4.49 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 122
4.50 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 123

ภาพที่		หน้า
4.51	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	123
4.52	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set....	124
4.53	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	124
4.54	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	125
4.55	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	125
4.56	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	126
4.57	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	126
4.58	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	127
4.59	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-optimal set.....	128
4.60	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-optimal set.....	128
4.61	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	129
4.62	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	129

ภาพที่		หน้า
4.63	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution……	130
4.64	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution……	130
4.65	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution……	131
4.66	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL และ NSGA-II……..	132
5.1	ขั้นตอนการทำงานของ DPSO……..	138
5.2	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)……..	139
5.3	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……..	148
5.4	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1……..	153
5.5	Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……	154
5.6	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	155
5.7	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……..	165
5.8	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1……..	167
5.9	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……..	169
5.10	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	171
5.11	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set……	180
5.12	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set……	181

ภาพที่ หน้า

5.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 181
5.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 182
5.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 183
5.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 184
5.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 184
5.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set.. 185
5.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 186
5.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 186
5.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 187
5.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set.. 187

ภาพที่		หน้า
5.23	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set……..	188
5.24	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set……..	189
5.25	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-optimal set….	189
5.26	ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio to The Pareto-Optimal Set ……	190
5.27	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II และ DPSO…….	191
6.1	โครงสร้างของอัลกอริทึม PSONK……	197
6.2	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)……..	199
6.3	วงล้อรูเล็ต.....	203
6.4	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……..	208
6.5	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	214
6.6	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……..	215
6.7	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1……..	216
6.8	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……..	218
6.9	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	219
6.10	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	221
6.11	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1……..	242
6.12	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1……..	243
6.13	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……..	245
6.14	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1……..	246
6.15	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2……..	247
6.16	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	249

ภาพที่		หน้า
6.17	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	251
6.18	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	252
6.19	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK	262
7.1	ก่อนและหลังการแลหเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt.....	265
7.2	ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม.....	271
7.3	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956).....	273
7.4	วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน.....	277
7.5	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt.....	281
7.6	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 2 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt.....	281
7.7	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 3 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt.....	282
7.8	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	286
7.9	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	294
7.10	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	296
7.11	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	299
7.12	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	301
7.13	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	305
7.14	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	309
7.15	สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	333
7.16	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	335
7.17	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	336
7.18	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	337
7.19	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	338
7.20	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	340
7.21	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	341
7.22	การกำหนดค่าความแข็งแรงในการเลือกสตริงคำตอบ.....	343
7.23	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK และ M-PSONK.....	353

ภาพที่		หน้า
8.1	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน.....	355
8.2	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน.....	355
8.3	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน.....	356
8.4	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน.....	356
8.5	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 205 ขั้นงาน.....	357
8.6	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6).....	360
8.7	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.3).....	361
8.8	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.6).....	361
8.9	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 10).....	367
8.10	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 12).....	368
8.11	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 14).....	368
8.12	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.3).....	373
8.13	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.36).....	374
8.14	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.38).....	374
8.15	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6016).....	380
8.16	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5670).....	380
8.17	การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5230).....	381

ภาพที่ หน้า

8.18 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 7049)..... 387
8.19 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5003)..... 387
8.20 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 4849)..... 388

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

ในบทนี้จะกล่าวถึงที่มาและความสำคัญของการประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดีและจะบอกถึงวัตถุประสงค์ในการวิจัย การกำหนดขอบเขตของปัญหาและลำดับขั้นตอนในการนำเสนองานวิจัยในแต่ละบท

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

อุตสาหกรรมผลิตเสื้อผ้าสำเร็จรูปและอุตสาหกรรมผลิตอาหารทะเลแช่แข็งเป็นอุตสาหกรรมการผลิตที่มีรูปแบบการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายซึ่งทำให้เกิดปัญหาในการผลิตทางด้านเวลาที่ใช้ในการผลิต ดังนั้นอุตสาหกรรมจึงมีความต้องการระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี เพื่อช่วยลดเวลาในการผลิตและสามารถส่งสินค้าได้ทันตามความต้องการของลูกค้า สายการประกอบก็เป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมเพื่อช่วยให้ระบบการผลิตมีความต่อเนื่องในการทำงาน

สายการประกอบตัวยูเป็นสายการประกอบที่มีการพัฒนามาจากสายการประกอบแบบเส้นตรง โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้พบว่าสายการประกอบตัวยูมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากสถานีในสายการประกอบและเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงานมีปริมาณที่ลดลง แต่การแก้ไขปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบตัวยูนั้นเป็นวิธีการแก้ปัญหาที่ตอบสนองวัตถุประสงค์อย่างใดอย่างหนึ่งเพียงวัตถุประสงค์เดียวเท่านั้น ยังมีอีกวิธีหนึ่งคือการแก้ปัญหาที่ได้มีการพัฒนาจากสายการประกอบแบบตัวยูโดยการเพิ่มสถานีงานแบบขนาน ซึ่งถ้าสถานีงานนั้นมีรอบเวลาการผลิตเกินรอบเวลาการผลิตที่กำหนดก็จะทำการเพิ่มสถานีงาน และเมื่อเปรียบเทียบกับสายการประกอบให้มีลักษณะแบบตัวยู ประสิทธิภาพของสายการประกอบแบบตัวยู ที่มีสถานีงานแบบขนานจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเพราะเวลาว่างงานในแต่ละสถานีงานลดลง จำนวนสถานีงานในสายการผลิตลดลง การจัดสมดุลของสายการประกอบทั่วไป จำเป็นต้องพิจารณาองค์ประกอบและวัตถุประสงค์อื่นๆ ประกอบ เพื่อแก้ปัญหาของระบบงานแต่สิ่งที่ตามมาในการแก้ไขปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์คือความยุ่งยากและซับซ้อนของปัญหา เนื่องจากเป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมเป็นปัญหา NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization ดังนั้นจึงมีการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ในปัจจุบันวิธีที่

นิยมคือวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม เพื่อใช้จัดสายการประกอบแบบระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี ในการแก้ปัญหาสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์

วิธีเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาค่าที่เลียนแบบทางชีววิทยา มีการใช้ค้นหาคำตอบแบบค้นหาเฉพาะที่ก่อน คำตอบที่เป็นไปได้จึงมีขนาดลดลง ทำให้เวลาในการค้นหาคำตอบลดน้อยลง และจากงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการใช้เมมเมติกอัลกอริทึมจะมีการค้นหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม เนื่องจากเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติรวมกับการประยุกต์ใช้ฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ จึงทำให้ได้ค่าที่เหมาะสมมากกว่า

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอการประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะของสายการผลิตแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานภายใต้การผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยใช้อัลกอริทึมใหม่ในการหาคำตอบคือ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ที่มีแนวคิดจากการบินของฝูงนกหรือการเรียนรู้ของฝูงปลาที่อาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร แต่ละตัวดำเนินการเรียกว่า “อนุภาค (Particle)” ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Velocity) อนุภาคนี้จะรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่มบินอยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหาระหว่างบิน อนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่งของอนุภาคใกล้เคียงที่บินผ่านมาแล้ว เพื่อใช้หาทิศทางการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุดและนำเมมเมติกอัลกอริทึมเข้ามารวมกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่เหมาะสมในการหาคำตอบ โดยมีคำถามเบื้องต้นในการหาคำตอบมี 4 คำถามคือ

1. วิธีอัลกอริทึม COMSOAL, อัลกอริทึม NSGA-II, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม วิธีใดที่ดีที่สุด

2. การพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมให้คำตอบดีกว่ากัน

3. อัลกอริทึมที่ใช้เวลาในการคำนวณในการหาค่าที่เหมาะสมที่น้อยที่สุดคืออัลกอริทึมใดวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมใช้เวลาในการคำนวณต่างกันหรือไม่

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

เพื่อศึกษาผลการนำเมมเมติกอัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ สำหรับจัดสมดุลสายการประกอบที่มีแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะของสายการผลิตแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

การกำหนดขอบเขตที่ใช้ในการวิจัยในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผสมลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานมีดังนี้

1. ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

2. สถานีงานขนานจะทำการเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาการทำงานของขั้นงานมีเวลาเกินรอบเวลาการทำงานของสถานีงานที่กำหนดและจะทำการเพิ่มไม่เกิน 1 สถานีงาน

3. ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานวัตถุประสงค์ 3 ประการคือ

- เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
- เพื่อให้มีความสมดุลระหว่างสถานีงาน
- เพื่อให้มีความสมดุลภายในสถานีงาน

4. นำเอาวิธีการของเมมเมติกอัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบร่วมกับการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

5. การประเมินประสิทธิภาพคำตอบของการจัดตารางของการศึกษาจะใช้การค้นหาเซตคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อใช้ในการคำนวณหาตัวชี้วัดสมรรถนะ 3 ด้านคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-optimal set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

6. สำหรับงานวิจัยนี้ได้ทำการทดลองแก้ปัญหากรณีศึกษาจำนวน 5 ปัญหามีลักษณะดังนี้

ตารางที่ 1.1 แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย

กรณีศึกษาที่	จำนวนผลิตภัณฑ์ (ชนิด)	จำนวนงาน	ความสัมพันธ์ก่อนหลังซึ่งใช้ปัญหาของ	รอบเวลาในการทำงาน (วินาที)	จำนวนรอบการทำงาน
1	3	11	Jackson (1956)	6.6, 6.3, 6	20
2	2	25	Vilarinho and Simaria (2002)	10,12, 14	100
3	4	61	Kim et al. (2006)	3.38, 3.36, 3.3	200
4	5	111	Arcus (1963)	6016, 5670, 5230	300
5	3	205	Scholl et al. (2007)	7049, 5003, 4849	500

7. ลักษณะปัญหา

- งานวิจัยนี้เป็นการกำหนดงาน (Work Element) ให้กับสถานีงานที่มีงานในการทำข้างหน้าและการข้ามมาทำงานข้างหลังของสถานีงานต่าง ๆ ของสายงานการประกอบที่ยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักรใดๆ ในสถานีการทำงาน ดังนั้นงานต่างๆ จึงสามารถจัดเข้าสถานีทำงานใดๆก็ได้ (ไม่มีข้อจำกัดของ Zoning Restriction)

- รู้ข้อมูลเข้า (Input) ซึ่งได้แก่ ขั้นการทำงาน (Work Element) รอบเวลาทำงาน (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นการทำงาน (Precedence Relationships) ของแต่ผลิตภัณฑ์ และเวลาทำงาน (Processing Time)

- ทุกสถานีทำงานมีความสามารถในการทำงานเท่ากัน

- เวลาทำงานคงที่ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงานและไม่ขึ้นกับสถานีที่ทำงานนั้นๆ

- การจัดสมดุลสายการประกอบในครั้งนี้จะทำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ คือ

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ N_w \tag{1.1}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน คือการหาค่าความสมดุลของแต่ละสถานีงานที่อยู่ในสายการประกอบ โดยพิจารณาจากเวลาว่างงานของแต่ละสถานีงานและเวลาว่างงานโดยเฉลี่ย ซึ่งมีสมการในการหาดังสมการที่ (1.2)

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \quad (1.2)$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน คือการหาค่าความสมดุลของภายในแต่ละสถานีงานเมื่อปัญหาที่ใช้เป็นปัญหาแบบผสมที่มีเวลาการทำงานในแต่ละงานที่แตกต่างกันทำให้ต้องมีการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละงาน ซึ่งมีสมการในการหาดังสมการที่ (1.3)

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \quad (1.3)$$

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \ ;0 \le q_m \le 1 \ and \ \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & otherwise \end{cases}$$

- ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาในการแก้ปัญหา มีดังนี้

1. การกำหนดงานให้กับสถานีงานต้องไม่ขัดกับลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของงาน

2. จำนวนสถานีทั้งหมดในสายการประกอบต้องไม่น้อยกว่าจำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ และต้องไม่เกินจำนวนสถานีทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้

3. สถานีงานขนานมีได้ไม่เกิน 1 สถานี

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4. งานทุกงานต้องถูกจัดให้กับสถานีหนึ่งบนสายงานการประกอบ

5. ไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น

6. ระยะเวลาในการข้ามไปทำงานในงานถัดไปกำหนดให้มีช่วงเวลาในการเดินทางเท่ากับ 0 วินาที

7. เครื่องจักรในแต่ละสถานีทำงานทุกเครื่องมีความสามารถในการผลิตแต่ละผลิตภัณฑ์เท่ากันหมด

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับหลังจากที่ได้ศึกษางานวิจัยมีดังนี้

1. ลดความยุ่งยากและระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

2. เป็นแนวทางในการตัดสินใจจัดสถานีการทำงาน และจัดระบบสายงานการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานและมีผลิตภัณฑ์ผสมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

3. สามารถนำผลวิจัยไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องได้ในอนาคต

4. มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาสำหรับการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานและมีผลิตภัณฑ์แบบผสม

1.5 วิธีดำเนินการวิจัย

วิธีดำเนินงานวิจัยสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอนได้ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด
2. ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม MATLAB
3. สร้าง Algorithm ที่ต้องการและเขียนโปรแกรม โดยใช้โปรแกรม MATLAB
4. ทดสอบและแก้ไขปัญหาของโปรแกรมที่เขียนขึ้นให้มีความถูกต้อง
5. ประเมินผลและแก้ไขปัญหาโดยใช้โปรแกรมที่เขียนขึ้นโดย MATLAB
6. สรุปผลและวิเคราะห์ผลตามวัตถุประสงค์หลัก
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย

- **บทที่** 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจะกล่าวทฤษฎีของสายการประกอบแบบต่างๆและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยูกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบยูที่มีสถานีงานแบบผสม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ

การประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการปัญหาการจัดสมดุล งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึม COMSOAL และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่เกี่ยวกับอัลกอรึทิม การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

- **บทที่** 3 อธิบายขั้นตอนหลักการและแนวทางของอัลกอริทึม Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines (COMSOAL) ในกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ใช้กับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน พร้อมทั้งตัวอย่างในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

- **บทที่** 4 อธิบายขั้นตอนหลักการและแนวทางของเจนเนติกอัลกอริทึม (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II : NSGA-II) ในกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ใช้กับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน พร้อมทั้งตัวอย่างในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

- **บทที่** 5 อธิบายขั้นตอนหลักการและวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO) ในกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ใช้กับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน พร้อมทั้งตัวอย่างในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

- **บทที่** 6 อธิบายขั้นตอนหลักการและวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK) ในกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ใช้กับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน พร้อมทั้งตัวอย่างในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

- **บทที่** 7 การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม ในบบทนี้จะอธิบายถึงหลักการ และวิธีการต่างๆ ของเมมเมติกอัลกอริทึม และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคร่วมกับเมเมมติกอัลกอริทึม (M-PSONK) ในกระบวนการในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ใช้กับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน พร้อมทั้งตัวอย่างในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- **บทที่** 8 ผลการทดลองของปัญหาต่างๆ ที่ได้นำอัลกอริทึมที่เกี่ยวข้องมาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งมีทั้งหมด 5 ปัญหาโดยแต่ละปัญหาจะใช้อัลกอริทึมที่ได้อธิบายไว้ในแต่ละบทที่ก่อนหน้านี้มาทำการเปรียบเทียบ

- **บทที่** 9 สรุปผลที่ได้จากการทดลองจากการใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาทั้งหมด พร้อมกับเสนอแนะแนวทางที่เป็นไปได้ในการศึกษาขั้นต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีของการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องทั้งหมด เพื่อใช้เป็นแนวทางในการที่จะหาค่าที่เหมาะสมต่อไป ซึ่งจะกล่าวดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

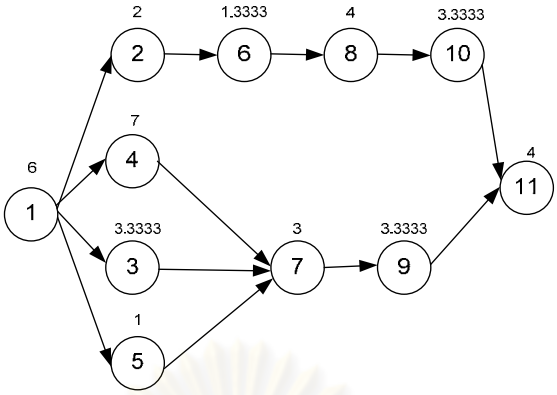
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่ใช้ในงานวิจัยจะประกอบไปด้วย ลักษณะของสายการประกอบต่างๆ ประเภทของสายการประกอบ การจัดสมดุลสายการประกอบ และการหาค่าที่เหมาะสมในงานวิจัย

2.1.1 ลักษณะของสายการประกอบ

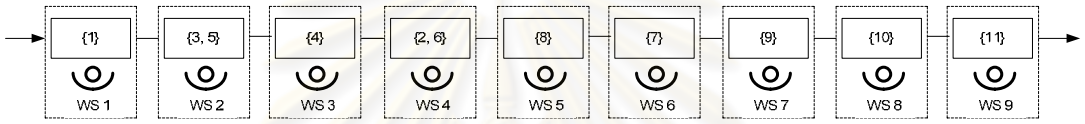
สายงานประกอบ (Assembly Line) เป็นสายการประกอบทั่วไปที่มีสถานีงาน (Work Station) ในแต่ละสายการประกอบในการประกอบผลิตภัณฑ์ ซึ่งแต่ละสถานีงานจะมีลักษณะการทำงานโดยการนำชิ้นส่วนของผลิตภัณฑ์ที่ทำการประกอบ เริ่มเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่าง ๆ ที่กำหนด โดยที่เวลาการทำงานไม่เกินเวลาในแต่ละสถานีงานที่กำหนด เมื่อทำงานในสถานีงานเสร็จแล้วจะทำการส่งผลิตภัณฑ์ไปยังสถานีถัดไป และรับผลิตภัณฑ์ใหม่เข้ามาทำแทน

2.1.1.2 ลักษณะของสายการประกอบแบบเส้นตรง

สายงานการประกอบที่มีทิศทางการไหลของงานเข้าและออกไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งจะไม่มีการย้อนกลับมาทำงานก่อนหน้า ในแต่ละสถานีงานจะมีการดำเนินการภายในสถานีงานเพียงด้านใดด้านหนึ่ง ดังตัวอย่างปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง โดยใช้ปัญหา 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ดังรูปที่ 2.1 จะได้จำนวนสถานีงานของสายการประกอบแบบเส้นตรงทั้งหมด 9 สถานีงานเมื่อมีรอบเวลาการทำงานแต่ละสถานีเท่ากับ 6 ดังรูปที่ 2.2



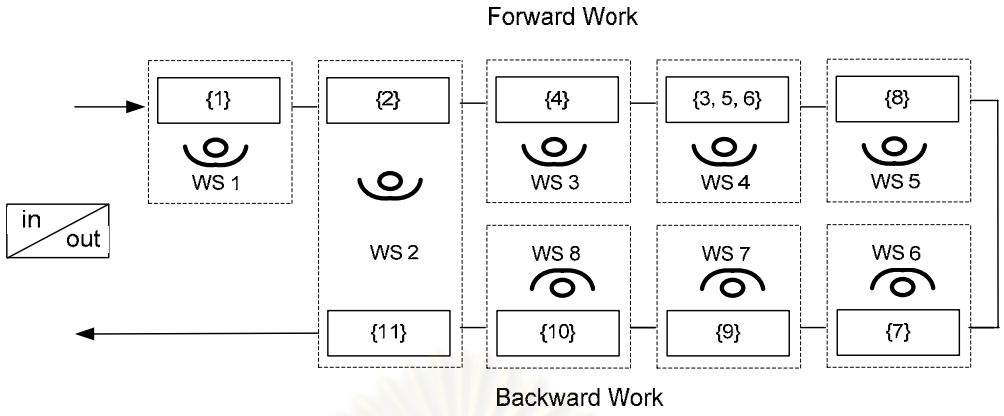
รูปที่ 2.1 ความสัมพันธ์ของภาระงาน



รูปที่ 2.2 สายการประกอบแบบเส้นตรง

2.1.1.3 **ลักษณะของสายการประกอบแบบตัวยู**

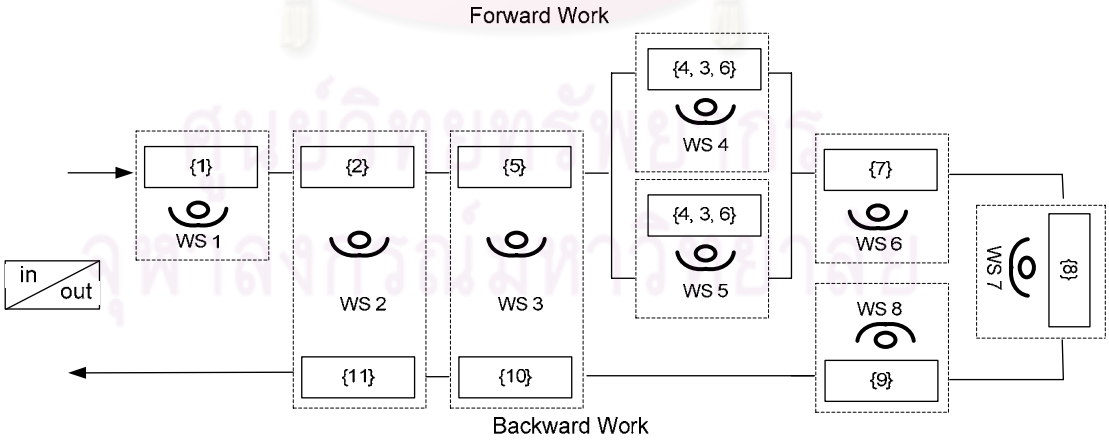
สายการประกอบแบบตัวยู (U-shaped หรือ U-line) คือสายการประกอบที่มีทิศทางการไหลของงานในลักษณะที่เป็นตัวยู โดยทิศทางการทำงานของแต่ละสถานีจะมีทิศทางการทำงานในทิศทางข้างหน้า (Forward Work) และข้ามมาทำงานในทิศทางข้างหลัง (Backward Work) สายการประกอบตัวยูนี้จะทำให้จำนวนของสถานีงานในสายการประกอบมีจำนวนน้อยลง ลักษณะของสายการประกอบจะมีเครื่องจักรวางอยู่ในแต่ละสถานีงานโดยจะวางอยู่รอบๆ ของสายการผลิต พนักงานจะอยู่ในสถานีงานซึ่งจะมีพื้นที่ตรงที่สามารถหมุนตัวกลับมาทำงานในทิศทางข้างหลังได้และยังสามารถช่วยเหลือสถานีงานอื่นได้ และมีประสิทธิภาพดีกว่าสายการประกอบทั่วไปเมื่อกำหนดให้มีรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) โดยใช้ปัญหา 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ดังรูปที่ 2.1 จะได้จำนวนสถานีงานของสายการประกอบแบบเส้นตรงทั้งหมด 4 สถานีงานเมื่อมีรอบเวลาการทำงานแต่ละสถานีเท่ากับ 8 ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สายการประกอบตัวยู

2.1.1.4 ลักษณะของสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน (U-Shaped with Parallel Workstation) จะมีลักษณะคล้ายกับสายการประกอบตัวยู แต่จะทำการเพิ่มสถานีงานขึ้นมาอีก 1 สถานีเมื่องานนั้นมีเวลาเกินรอบเวลาการทำงาน (Cycle Time) จากปัญหา 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ดังรูปที่ 2.1 พบว่างานที่ 4 มีเวลาการทำงานเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด คือ 6 จึงทำการเพิ่มสถานีงานขึ้นอีก 1 สถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากรูปที่ 2.4 จำนวนสถานีงานของสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานมีสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวมสถานีงานขนาน) ซึ่งมีสถานีงานเท่ากับสายการประกอบตัว

ยูดังรูปที่ 2.3 ที่มีสถานีงานเท่ากับ 8 สถานีงาน และน้อยกว่าสายการประกอบแบบเส้นตรงที่มีสถานีงาน 9 สถานีดังรูปที่ 2.2 แต่สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานจะมีความกระชับในการใช้พื้นที่ สามารถทำงานตามเวลางานได้ครบทุกขั้นงานไม่เกินเวลางานในสถานี

2.1.2 ประเภทของสายงานประกอบ

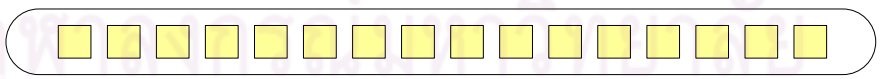
สายการประกอบสามารถแยกออกได้หลายประเภท โดยพิจารณาจากองค์ประกอบดังนี้

2.1.2.1 สายงานการประกอบที่แยกประเภทตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต

1. สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวโดยเฉพาะ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียว

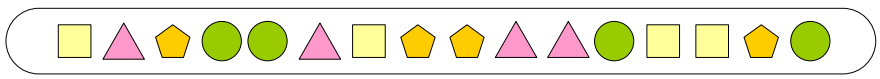
2. สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line) เป็นสายงานประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์สองชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกัน สามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยจะทำการประกอบจะทำทีละชุด และในช่วงที่จะเปลี่ยนการผลิตชนิดของผลิตภัณฑ์อาจจะต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ในทุกครั้งที่เปลี่ยนชนิดของการผลิต

3. สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์สองชนิดขึ้นไปเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตพร้อมๆ กัน โดยจะเข้าสู่สายงานการประกอบแบบปะปนกัน โดยระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบ



ก. สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว

ข. สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์



ค. สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

รูปที่ 2.5 การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต

2.1.2.2 **สายการประกอบที่แยกประเภทโดยพิจารณาจากการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงาน** มี 2 แบบ คือ

1. การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ (Manual Transfer) เป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปยังอีกสถานีงานถัดไปจะทำด้วยมือ ทำให้เกิดปัญหาต่างๆ ดังนี้

- การไม่มีงานป้อน (Starving) คือ การที่คนงานได้ทำงานของตัวเองเสร็จแล้ว แต่ต้องคอยงานจากสถานีก่อนหน้าที่ยังทำไม่เสร็จ
- การไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) คือการที่คนงานได้ทำงานของตัวเองเสร็จแล้ว แต่ต้องรอให้คนงานของสถานีงานถัดไป ทำงานให้เสร็จก่อนแล้วจึงจะส่งงานของตนเองไปได้ แล้วจึงจะเริ่มทำงานชิ้นใหม่

ปัญหาทั้งสองแบบทำให้ การไหลของงานไม่สม่ำเสมอมักจะเกิดอาการคอขวดเกิดขึ้น รอบเวลาการผลิตไม่คงที่ ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต เพราะฉะนั้นควรมี Buffer Storage ระหว่างสถานีงานเพื่อที่จะช่วยลดปัญหาทั้งสองนี้ได้ ทำให้สายการผลิตมีการผลิตที่ต่อเนื่องยิ่งขึ้น

2. การเคลื่อนย้ายงานโดยสายพาน (Moving Conveyor) เป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีหนึ่งไปยังสถานีถัดไป โดยอาศัยสายพานเป็นตัวลำเลียงชิ้นงาน ซึ่งมีอยู่สองแบบคือแบบต่อเนื่อง และแบบไม่ต่อเนื่อง การเคลื่อนย้ายงานแบบไม่ต่อเนื่องคือเมื่อชิ้นงานใดเสร็จให้ส่งต่อสถานีถัดไปได้ทันทีโดยไม่ต้องส่งพร้อมกันกับสถานีอื่น ปัญหาที่เกิดขึ้นก็จะเหมือนกับการแก้ปัญหาของการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ ส่วนการเคลื่อนย้ายงานแบบต่อเนื่องเป็นการที่ผลิตภัณฑ์ถูกเคลื่อนย้ายตลอดเวลาอย่างต่อเนื่องผ่านไปยังสถานีงานต่าง ๆ พร้อมกัน ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้น การเคลื่อนย้ายงานจะใช้สายพานในการลำเลียงงานทำให้มีโอกาสเกิดปัญหาได้ดังนี้

2.1 การไม่มีงานป้อน (Starving) สามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ

2.2 การมีงานล้นมือ (Congestion) คือการที่งานไม่เสร็จสมบูรณ์เนื่องจากการที่คนงานไม่สามารถทำงานชิ้นนั้นให้เสร็จตามเวลาการทำงาน

2.3 สำหรับการไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) นั้นจะไม่เกิดกับการย้ายงานนี้

การป้อนผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบ (Model Launch Discipline) เป็นการกำหนดช่วงระยะเวลาระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละขั้น ที่เริ่มต้นป้อนเข้าในสายงานการประกอบ มีหลักปฏิบัติ 2 แบบ คือ

1. การป้อนแปรผัน (Variable Rate Launching) จะมีลักษณะช่วงเวลาการป้อนจะแปรผันไปตามเวลาที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีงาน

2. การป้อนแบบคงที่ (Fixed Rate Launching) เป็นการป้อนงานโดยมีช่วงเวลาระหว่างการป้อนแต่ละครั้งคงที่ค่าหนึ่ง ถ้าหากผลิตภัณฑ์ที่ถูกป้อนเข้ามาใช้เวลาในสถานีน้อยกว่าช่วงเวลาที่ป้อน ก็จะทำให้เกิดการว่างงานของสถานีงาน (Station Idle Time) แต่ถ้าหากใช้เวลาในสถานีงานมากกว่าช่วงเวลาป้อนก็จะเกิดการเข้าคิวรอของ วิธีการนี้จะต้องใช้ควบคู่ไปกับการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ (Model Sequencing) เพื่อที่จะให้การทำงานของสายการผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปวิธีการนี้เหมาะสมกับสายการผลิตที่ใช้สายพานในการเคลื่อนย้ายงาน

2.1.2.3 สายการประกอบที่แยกประเภทโดยพิจารณาตามลักษณะเวลาทำงานของสถานีงาน มี 2 แบบ คือ

1. Paced Line เป็นสายงานที่กำหนดให้เวลาทำงานในสถานีทำงานต้องเท่ากับรอบเวลาการผลิต ซึ่งหมายความว่าทุกหน่วยเวลา ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะต้องถูกส่งต่อให้กับสถานีทำงานต่อไปไม่ว่าจะทำงานในสถานีงานนั้นเสร็จหรือไม่ก็ตาม ถ้าหากทำงานในสถานีงานนั้นเสร็จก่อนรอบเวลาการผลิต ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ก็ต้องคอยอยู่ในสถานีงานทำงานเดิมจนกว่าจะครบหน่วยเวลา สายงานประกอบแบบ Paced Line อาจทำให้ได้ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะต้องถูกนำไปซ่อมแซมและทำใหม่อีกทีหนึ่ง

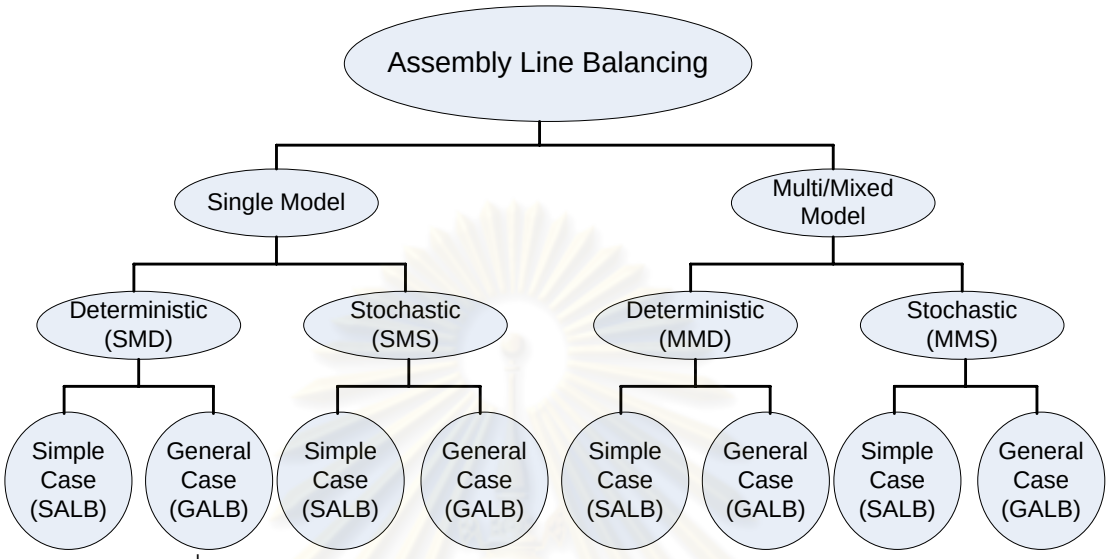
2. Unpaced Line (Asynchronous Line) ในแต่ละสถานีจะทำงานตามขั้นงานที่ถูกกำหนดให้สถานีนั้น ๆ จนกว่าจะเสร็จแล้วจึงเคลื่อนย้ายไปทำงานในสถานีทำงานต่อไป ดังนั้นเวลาทำงานในแต่ละสถานีงานอาจมากกว่าหรือน้อยกว่ารอบเวลาการผลิตก็ได้

2.1.3 หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

2.1.3.1 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสามารถจำแนกออกได้ 4 ประเภท คือ Single Model Deterministic (SMD), Single Model Stochastic (SMS), Multi/Mixed

Model Deterministic (MMD), และ Multi/Mixed Model Stochastic (MMS), (Ghosh and Gagnon,1989) ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แผนผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

1. Single Model Deterministic (SMD)

Single Model Deterministic เป็นการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว และเวลาการทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอนปัญหาการจัดสมดุล

2. Single Model Stochastic (SMS)

Single Model Stochastic เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว โดยเวลาการทำงานของขั้นงานจะไม่คงที่จึงจำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งที่เกี่ยวข้องอื่น ๆ ที่ตามมาด้วย

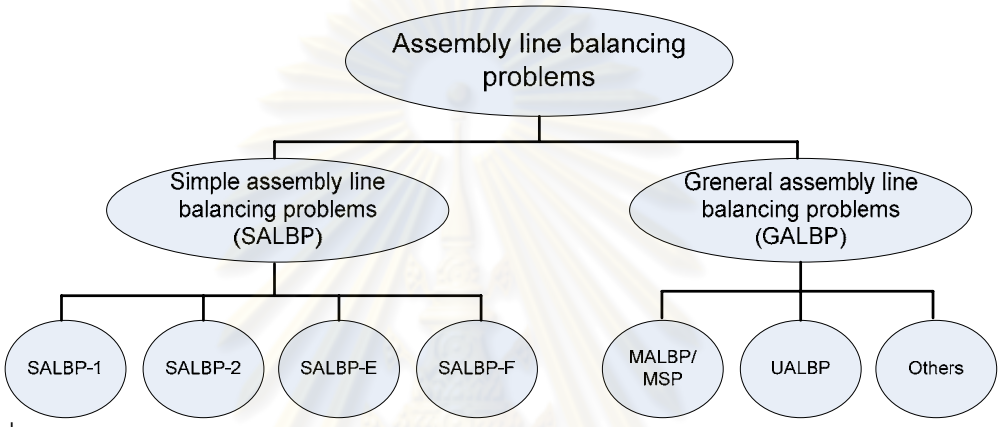
3. Multi/Mixed Model Deterministic (MMD)

Multi/Mixed Model Deterministic เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าที่แน่นอน

4. Multi/Mixed Model Stochastic (MMS)

Multi/Mixed Model Stochastic เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นไม่แน่นอน

2.1.3.2 ประเภทของวัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ



รูปที่ 2.7 แผนผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดเฉพาะและความแตกต่างของวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

1. Simple Assembly Line Balancing Problem (SALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบอย่างง่ายเป็นปัญหาที่มีสายการประกอบชนิดเส้นตรงที่มีผลิตผลิตภัณฑ์แบบเดี่ยว ซึ่งจะพิจารณาความสัมพันธ์ของแต่ละภาระงานเท่านั้น แบ่งเป็น 4 ลักษณะ คือ

- Type 1 (SALB-1) เป็นปัญหาที่ทำงานจัดสรรงานในแต่ละสถานีงานให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดรอบเวลาการทำงานมา (Cycle Time)
- Type 2 (SALB-2) เป็นปัญหาที่หารอบการทำงานที่น้อยที่สุดโดยกำหนดสถานีงานมาให้
- Type E (SALB-E) เป็นปัญหาทั่วไปซึ่งการพิจารณาความสัมพันธ์รวมระหว่าง Type 1 และ Type 2 รวมกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- Type F (SALB-F) เป็นปัญหาที่มีความเป็นไปได้ที่มีการตั้งขึ้นหรือการหาทางออกของปัญหาที่เป็นไปไม่ได้ โดยมีการกำหนดค่าสถานีงานและรอบการทำงานมาให้

2. General Assembly Line Balancing Problems (GALBP)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบโดยทั่วไป(GALBP) จะแตกต่างกับ SALB เนื่องจากปัญหาแบบ GALB จะมีข้อจำกัด (Restriction) หรือปัจจัย (Factor) อื่น ๆ เพิ่มเติมเข้ามา เช่น มีสถานีทำงานแบบขนาน (Parallel Station) มีการพิจารณาขนาดของวัสดุคงคลังในแต่ละสถานีและมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการรวมขั้นงาน (Zoning Restriction) เป็นต้น

2.1.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

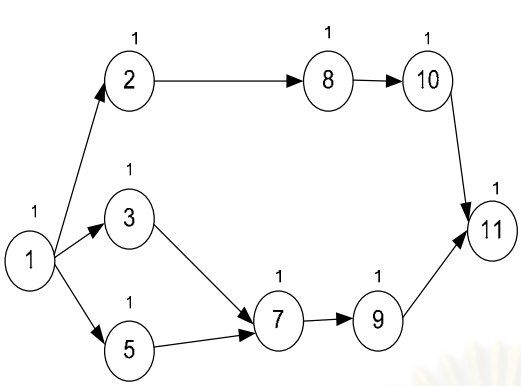
การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม เป็นการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยมีเวลาทำงานของขั้นงานเป็นค่าเวลามาตรฐานของงานนั้น วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมมี 2 วิธี คือ วิธีการทาง Mathematical และ Heuristic ต่อมาได้มีผู้คิดค้นวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมขึ้นซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย และเหมาะสมที่จะนำมา โดยให้พิจารณาถึงแผนการผลิตทั้งหมดในแต่ละวัน หรือในช่วงเวลากะ โดยจะพิจารณาถึงรอบเวลาการผลิต (Cycle Time Basis) ซึ่งสรุปได้ดังนี้

1. ให้ระยะเวลาที่ทำงานต่อวัน แทนรอบเวลาการผลิต (Cycle Time)

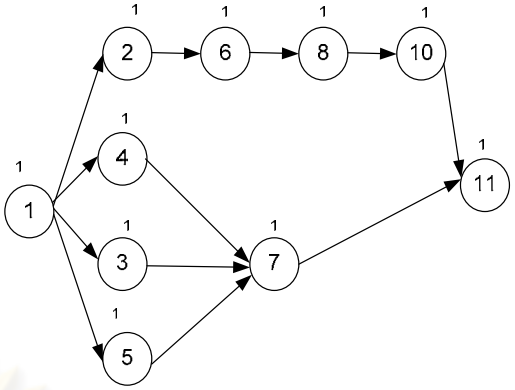
2. แทนเวลาย่อยในแต่ละขั้นงาน ด้วยเวลาทั้งหมดที่ต้องการใช้ทำงานนี้สำหรับทุกๆ ชิ้นงาน ของทุกๆ แบบผลิตภัณฑ์

3. แผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) เกิดจากการรวมกันของแผนภาพของสายการประกอบที่มีหลายผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 2.8

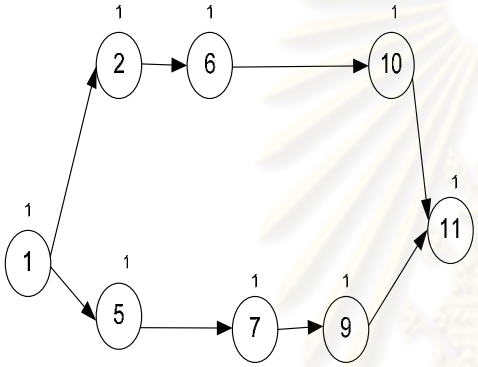
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



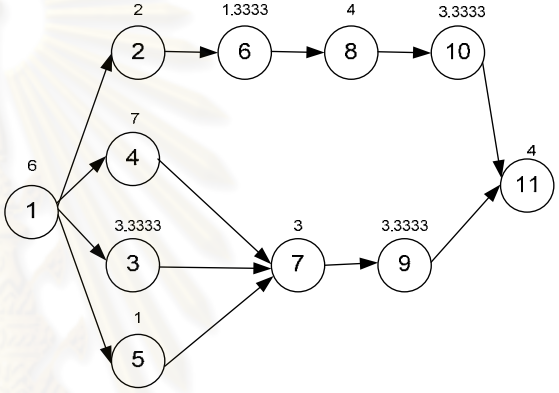
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 2.8 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

2.1.5 **วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ**

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบโดยส่วนมากแล้วจะมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลายวัตถุประสงค์ที่ใช้ โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้จะต้องมีการพิจารณาความสัมพันธ์ก่อนที่จะนำมาใช้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตามวัตถุประสงค์สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 กลุ่มดังนี้

2.1.5.1 **ด้านประสิทธิภาพของสายการประกอบ (Efficiency Line)**

1. สถานีงานที่น้อยที่สุด (Minimum the Total Number of Workstation) คือการหาจำนวนสถานีงานในสายการประกอบแบบขนาน (Chen and Plebani, 2008)

2. จำนวนเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด (Minimize the Total Idle Time) คือการหาค่าเวลาว่างงานรวมของเครื่องจักรในทุกสถานีงาน (Sihua and Louis, 2008)

3. ประสิทธิภาพของน้ำหนักสายการประกอบ (Weighted Line Efficiency) คือการหาประสิทธิภายของสายการประกอบที่มีค่ามากที่สุด (Vilarinho and Simaria, 2002)

2.1.5.2 ด้านสมดุลของภาระงาน (Workload Smoothing)

1. ความสมดุลภายในสถานีงาน (Balance The Workload within each Workstation) คือการหาค่าความสมดุลของภายในแต่ละสถานีงานเมื่อปัญหาที่ใช้เป็นปัญหาแบบผสมที่มีเวลาการทำงานในแต่ละงานที่แตกต่างกันทำให้ต้องมีการพิจารณาเวลาที่ใช้ในการทำงานของแต่ละงาน (Vilarinho and Simaria , 2006)

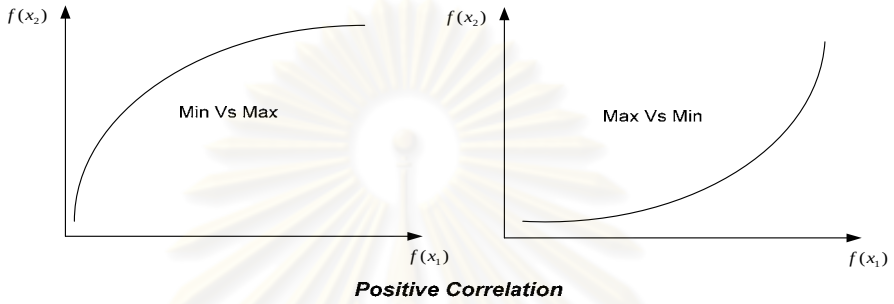
2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน (Balance Between Workstations) คือการหาค่าความสมดุลของแต่ละสถานีงานที่อยู่ในสายการประกอบ โดยพิจารณาจากเวลาว่างงานของแต่ละสถานีงานและเวลาว่างงานโดยเฉลี่ย (Vilarinho and Simaria, 2006)

3. ความสมดุลของเวลาล่าช้า (Balance Delay Time) คือเวลารวมของเวลาว่างงานในสายการผลิตทั้งหมดทุกสถานีงาน (Vilarinho and Simaria, 2002)

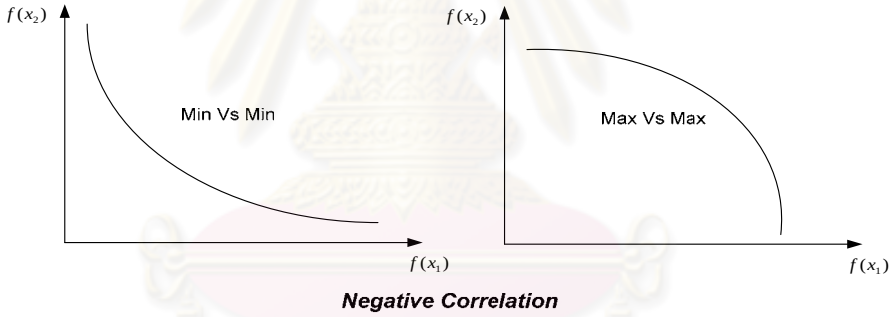
ตารางที่ 2.1 ตารางแสดงการจำแนกกลุ่มของวัตถุประสงค์ในสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนาน

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ	วัตถุประสงค์
ด้านประสิทธิภาพของสายการประกอบ (Efficiency Line)	1. สถานีงานที่น้อยที่สุด (Minimum the Total Number of Workstation) 2. จำนวนเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด (Minimize the Total Idle Time) 3. ประสิทธิภาพของน้ำหนักสายการประกอบ (Weighted Line Efficiency)
ด้านสมดุลของภาระงาน (Workload Smoothing)	1. ความสมดุลภายในสถานีงาน (Balance The Workload within each Workstation) 2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน (Balance between Workstations) 3. ความสมดุลของเวลาล่าช้า (Balance Delay Time)

วัตถุประสงค์ที่นำมาจำแนกนี้อาจจะยังไม่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้ จึงต้องมีการพิจารณาความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์ที่ใช้ว่ามีความสัมพันธ์กันหรือไม่ โดยลักษณะความสัมพันธ์ของวัตถุประสงค์จะมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์ในเชิงบวกคือมีลักษณะแบบทิศทางเดียวกัน และความสัมพันธ์ในเชิงลบคือมีลักษณะทิศทางตรงกันข้าม ซึ่งลักษณะความสัมพันธ์ที่กล่าวมานั้นสามารถช่วยให้หาคำตอบที่เหมาะสมได้ ดังรูป 2.9 และ รูปที่ 2.10



รูปที่ 2.9 ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก



รูปที่ 2.10 ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ

ในงานวิจัยนี้จะใช้วัตถุประสงค์คือ ความสมดุลภายในสถานีงาน (Balance The Workload within each Workstation) และความสมดุลระหว่างสถานีงาน (Balance Between Workstations) ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่าความสัมพันธ์ในเชิงลบ

2.1.6 การหาค่าเหมาะสมที่สุด

การหาคำตอบที่ดีที่สุดภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดสามารถหาได้โดยการพิจารณาเป้าหมายและฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่กำหนดขึ้นซึ่งสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวัตถุประสงค์เดียวกันและการหาค่าที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ วิธีการหาค่าจะ

ใช้คอมพิวเตอร์โปรแกรม Matlab เข้าช่วยในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะประกอบด้วย

2.1.6.1 **ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์**

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ใช้ในที่นี้เป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด (Minimize) คือจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงาน (Balance between workstation) และความสมดุลภายในสถานีงาน (Balance within workstation)

2.1.6.2 **ตัวแปรการตัดสินใจ**

ตัวแปรการตัดสินใจเป็นตัวแปรที่ช่วยในการเลือกเพื่อใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ตัวแปรการตัดสินใจจะเป็นตัวแปรที่วัดในเชิงปริมาณเป็นตัวแปร x_j โดยที่ $j = 1,2,...,n$ และเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ n ตัว โดยสมการสามารถเขียนได้ดังนี้

$$\vec{x} = \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \\ \vdots \\ x_n \end{bmatrix} \quad or \quad \vec{x} = [x_1, x_2, ..., x_n]^T \tag{2.1}$$

2.1.6.3 **ข้อจำกัด**

ข้อจำกัดที่เกิดขึ้นในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด อาจจะเป็นข้อจำกัดที่เกี่ยวกับทรัพยากรต่างๆ ที่มีอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดซึ่งข้อจำกัดนี้ต้องมีความเป็นไปได้ที่สามารถยอมรับได้ และข้อจำกัดนี้ต้องยังต้องขึ้นอยู่กับตัวแปรการตัดสินใจ สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$g_i(\bar{x}) \geq a_i, \quad i = 1,2,...,m \tag{2.2}$$

โดยที่สมการ (2.2) คือข้อจำกัดที่เป็นแบบอสมการ (Inequality Constraints)

$$h_i(\bar{x}) \geq b_i, \quad i = 1,2,..., p \tag{2.3}$$

โดยที่สมการ (2.3) คือข้อจำกัดที่เป็นแบบสมการ (Equality Constraints)

2.1.6.4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสามารถทำได้จากการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่มีค่าน้อยที่สุด เนื่องจากงานวิจัยนี้ใช้ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุด โดยคำตอบที่ได้จะอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของตัวแปรการตัดสินใจและข้อกำหนด

$$Minimize \quad \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}),..., f_k(\vec{x})\} \tag{2.4}$$

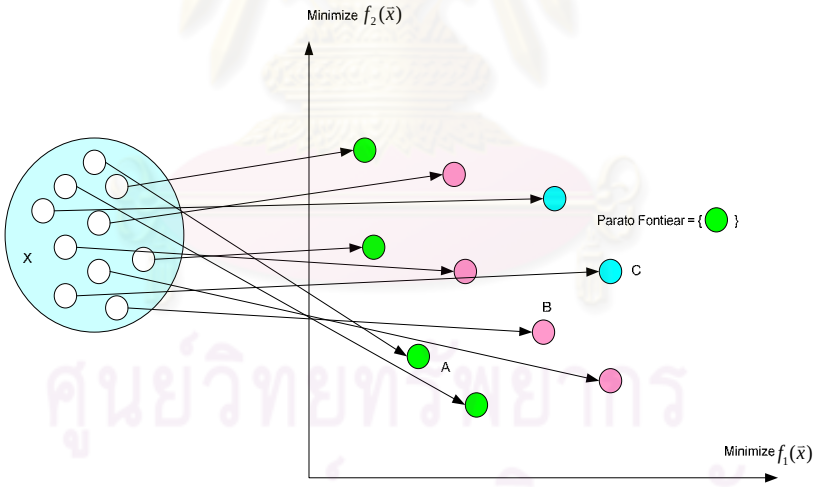
ข้อจำกัด $g_i(\vec{x}) \le 0$

โดยที่ $\vec{x}$ คือ เวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ

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

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

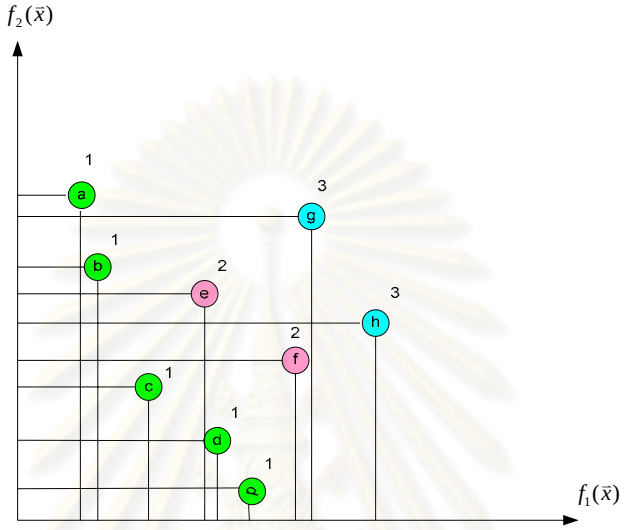
คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดจะเรียกว่ากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal) และสมาชิกที่อยู่ในกลุ่มคำตอบนี้จะเรียกว่า เซทคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set) หรือเซตคำตอบที่เด่นกว่า (Non-dominated Set)



รูปที่ 2.11 กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบ

จากรูปที่ 2.11 พบว่าวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดคือวัตถุประสงค์ที่เป็นในจุดสีเขียว จะเป็นเวกเตอร์คำตอบของวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ไม่มีตัวไหนดีกว่า ซึ่งเซทคำตอบนี้จะเป็นขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Frontier) จากกลุ่มคำตอบในรูปนี้จะเห็นได้ว่า เวกเตอร์ A, B และ C เวกเตอร์ A จะมีค่าที่ดีที่สุด รองลงมาคือ B และ C

เมื่อได้กลุ่มคำตอบที่ดีแล้วต่อมาทำการกำหนดค่าความแข็งแรงของคำตอบที่เป็นวิธีเชิงกลุ่มวิธีหนึ่ง โดยวิธีนี้จะเป็นวิธีการจัดลำดับของคำตอบของ Non-dominate Set คือเมื่อได้กลุ่มคำตอบแล้วจะทำการตัดลำดับของประชากรทั้งหมดโดยกำหนดให้คำตอบที่เด่นกว่าตัวอื่นมีค่าเป็น 1 และไล่ลำดับจนครบทุกตัว



รูปที่ 2.12 วิธีการ Non-dominate Sorting ของ Goldberg (1989)

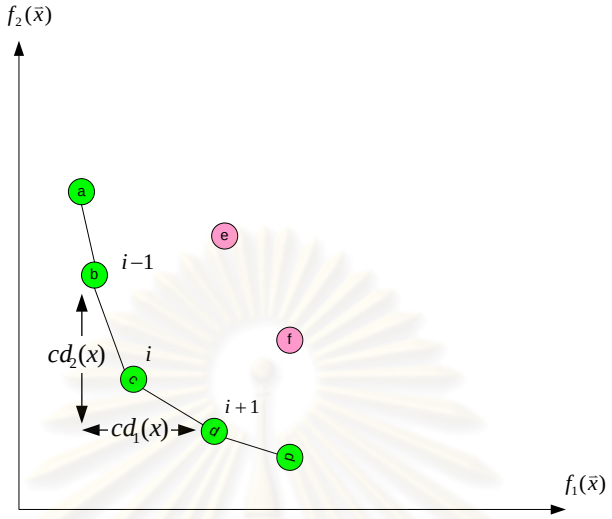
เมื่อทำการจัดอันดับแล้วทำการคำนวณหา Crowding Distance ของประชากรเพื่อหาการกระจายของกลุ่มคำตอบ วิธีการหา Crowding Distance เป็นเทคนิคในการทำให้ประชากรคำตอบบนขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีมีลักษณะการกระจายอย่างสม่ำเสมอ วิธีการคำนวณหาระยะทางระหว่างสามาชิกที่อยู่ใน Front เดียวกัน โดยมีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

1. จำนวนประชากรคำตอบทั้งหมดใน Front ที่ $j, j = 1,...R$ มีค่าเป็น l และสมาชิกประชากรคำตอบที่ i ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ k จะมีค่าเป็น $x_{[i,k]}$ สมาชิกที่มีค่าวัตถุประสงค์ที่น้อยที่สุดที่มีลำดับที่ 1 และสมาชิกที่มีค่ามากที่สุดที่มีลำดับสุดท้าย ทั้งสองตัวนี้จะถูกกำหนดให้มีค่า Crowding Distance มีค่าเป็น Infinity ส่วนสมาชิกประชากรคำตอบรายการเรียงลำดับที่ 2 ถึง ลำดับที่ $l-1$ จะคำนวณ Crowding Distance ได้จากสมการที่ (2.5)

$$cd_k(x_{[i,k]}) = \frac{f_k(x_{[i+1,k]}) - f_k(x_{[i-1,k]})}{f_k^{\max} - f_k^{\min}} \tag{2.5}$$

2. รวมของ Crowding Distance จะได้ $cd(x) = \sum cd_k(x)$ คือค่า Crowding Distance ของสมาชิกคำตอบ โดยจะแสดงถึงระยะห่างระหว่างจุดที่อยู่ต่อเนื่องบนคำตอบใน

Front เดียวกัน ค่า Crowding Distance น้อยแสดงว่ากลุ่มคำตอบใน Front นั้นมีการเกาะกลุ่มกัน แต่ถ้าค่า Crowding Distance มากแสดงว่ากลุ่มคำตอบใน Front นั้นมีการกระจายอย่างเด่นชัด



รูปที่ 2.13 การหาค่า Crowding Distance ใน Front ที่ 1

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง

จงกล เอี่ยมมิ, 2543 ได้เสนอแนวทางการนำเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหา การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และเกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด และยังได้ศึกษาและทำการทดสอบหาพารามิเตอร์ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึม ซึ่งได้แก่ ขนาดประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น แล้วจึงนำพารามิเตอร์ที่ได้ ไปแก้ปัญหาตัวอย่างของการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสม จากงานวิจัยนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ ต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึม ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมคือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น ดังนั้นในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้จริง ต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะนำค่าที่เหมาะสมที่ได้ผลจากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม กับวิธีการของ COMSOAL พบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

Becker and Scholl (2006) ได้ทำการสำรวจปัญหาและลักษณะของสายการประกอบเมื่อนำสายการประกอบมาพัฒนาจาก Hennrt Ford โดยทำการเปลี่ยนแปลงสายการประกอบจากเส้นเดียว กลายเป็นเส้นคู่ขนานกับสถานีงาน สายการประกอบแบบผสม จนถึงสายการประกอบตัวยู แต่ไม่ว่าจะเป็นสายการประกอบแบบไหนก็ยังจะต้องทำการแก้ปัญหาการประกอบสายปัญหาให้มีความสมดุล การกำหนดค่าสายการประกอบ ในการจัดสถานีงานด้วยภาระงานของแต่สถานีของแต่ละผลิตภัณฑ์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะอธิบายถึงรูปแบบลักษณะของสายการประกอบ การทำงานของสายประกอบตัวยู ลักษณะการทำงานแบบผสม

Boysen, Fliedner and Scholl (2007) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาสายการประกอบที่มีการผลิตแบบ flow-line ที่มีความสำคัญมากในอุตสาหกรรม ในงานวิจัยนี้จะอธิบายถึงประเภทของสายการประกอบ รูปแบบของสายการผลิต และชนิดของสายการประกอบที่ประกอบด้วย Paced Line, Unpaced Asyhchronous และ Unpaced Syschronous Line ที่ใช้ในอุตสาหกรรมโดยจะบอกถึงรายละเอียดและวิเคราะห์ปัญหาของตัวอย่างที่ได้นำสายการประกอบเหล่านี้เข้ามาประยุกต์ใช้จริง โดยจะมีคำแนะนำในการปรับสภาพและสมดุลวิธีการประกอบให้เหมาะสมกับงานที่ทำ

Scholl and Klein (1999) ได้ทำการอธิบายถึงลักษณะสายการประกอบที่ผลิตภัณฑ์แบบเดี่ยว ผลิตภัณฑ์แบบหลายอย่าง และผลิตภัณฑ์แบบผสม ซึ่งผลิตภัณฑ์แบบเดี่ยวนั้นจะเป็นการผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียวเท่านั้น ส่วนสำหรับหลายผลิตภัณฑ์สายงานการประกอบจะมีการผลิตผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไปและจะมีการผลิตเป็นแบบทำทีละแบบ ในช่วงที่จะเปลี่ยนการประกอบชนิดของผลิตภัณฑ์ ต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ (Set up) และสายงานประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมเป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่า แต่ต่างกันที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆจะเข้าสู่สายงานการประกอบปนกันและไม่มีการปรับสายการประกอบ โดยทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของสายการประกอบแบบเส้นตรงและแบบตัวยู พบว่าสายการประกอบแบบตัวยูจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเนื่องจากสถานีการทำงานน้อยกว่าแบบเส้นตรง รวมทั้งถ้าจำนวนรอบเวลาการทำงานมีค่าน้อยลงจะส่งผลให้มีเวลาที่สูญเปล่ามีค่าน้อยลง จึงช่วยให้มีประสิทธิภาพของสายการประกอบสูงขึ้น และได้อธิบายในการหา Lower Bound และ Upper Bound ในภายใต้วัตถุประสงค์ ชนิดที่ 1 (การกำหนดรอบเวลาในการทำงานและหาจำนวนสถานีน้อยที่สุด) และชนิดที่ 2 (การกำหนดสถานีงานและหารอบเวลาการทำงานที่น้อยที่สุด)

2.2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู

ภาณุวัฒน์ โอฬารวิวัฒนชัย, 2551 ได้ทำการศึกษาปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูเป็นปัญหา NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization ซึ่งต้องใช้เวลานานในการหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนออัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี ภายใต้ปัญหาประเภทที่ 1 (Type I problem) โดยจะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลาในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมที่นำเสนอกับอัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมและได้คำตอบที่ดีในปัจจุบันคือ Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II) ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบพบว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอเป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าอัลกอริทึม NSGA-II ในด้านคำตอบที่มีการลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบ และด้านเวลาในการประมวลผลที่เร็วกว่าอัลกอริทึม NSGA-II

Baykasogiu (2006) งานวิจัยนี้ได้ทำการนำเสนอวัตถุประสงค์ที่มีหลายวัตถุประสงค์โดยใช้วิธีฮิวริสติกแบบซิมูเลท แอนนีลลิ่ง (Simulated Annealing) ในการหาคำตอบการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบเส้นตรงและสายการประกอบแบบตัวยู วัตถุประสงค์ทั้งหมดมี 2 วัตถุประสงค์ คือ ค่าที่มากที่สุดของค่าราบเรียบของงาน และจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ในการเลือกงานจะใช้กฎของการเลือกงานทั้งหมด 15 กฎซึ่งจะทำการสุ่มเลือกกฎ จากนั้นจึงทำการเลือกงานมาสองงานเพื่อทำการสลับกฎที่ใช้ จากการทดลองทั้งหมด 57 ปัญหา พบว่ามี 3 ปัญหาที่สายการประกอบแบบตัวยูที่ดีกว่าสายการประกอบแบบเส้นตรง และมี 54 ปัญหาที่มีจำนวนสถานีงานเท่ากัน และมี 26 ปัญหาที่สายการประกอบแบบตัวยูมีค่าราบเรียบมากกว่าสายการประกอบแบบเส้นตรง

Cheng, Miltenburg and Motwani (2000) ได้นำเสนอการเปรียบเทียบคุณภาพของสายการประกอบแบบเส้นตรงและสายการประกอบแบบตัวยู ซึ่งงานวิจัยนี้จะทำการตรวจสอบสายการผลิตทั้งสองว่ามีคุณภาพและประสิทธิภาพดีหรือไม่ โดยทำการวัดคุณภาพการวางแผนคุณภาพการผลิต และคุณภาพการปรับปรุงของแต่ละสายการประกอบ นอกจากนี้ยังได้อธิบายถึงข้อดีของสายการประกอบแบบตัวยู เช่น ปริมาณและผู้ปฏิบัติการจะมีความยืดหยุ่นกว่าสายการประกอบเส้นตรง เนื่องจากการเดินทางของพนักงานมีระยะทางที่สั้นกว่าทำให้อัตราการผลิตมี

อัตราที่สูงขึ้น จำนวนสถานีงานอาจมีจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับสายการประกอบแบบเส้นตรง วัสดุเครื่องมือสามารถเคลื่อนย้ายได้สะดวกรวดเร็ว ทำให้เกิดความสามัคคีอย่างชัดเจนในการทำงาน

Chiang and Urban (2005) ได้อธิบายถึงวิธีการจัดงานในสถานีงานในสายการประกอบตัวยูในแต่ละสถานีงานจะมีการทำงานแบบข้างหน้า (Front) และการข้ามมาทำงานข้างหลัง (Back) ซึ่งมีผลทำให้สถานีงานในสายการประกอบตัวยูมีจำนวนน้อยกว่าสายการประกอบแบบเส้นตรง โดยงานในแต่ละสถานีงานจึงต้องทำงานควบคู่ระหว่างงานที่ทำข้างหน้าและข้างหลังในแต่ละสถานี และจะต้องไม่ผิดข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ของแต่ละงาน

Miltenburg (2001) ได้อธิบายถึงสายการประกอบตัวยูที่มีลักษณะพิเศษที่มีการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-Time) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงคุณภาพและลดของเสียในการผลิต ซึ่งจะอธิบายขั้นตอนตามวิธีการปฏิบัติ สายการประกอบตัวยูจะมีทางเข้าการเริ่มต้นการทำงานและทางออกของสายงานการผลิตแยกออกจากกันทำให้คนงานสามารถทำงานได้อย่างอิสระ สายการประกอบตัวยูจะต้องทำการปรับความสมดุลเมื่อทำการเปลี่ยนแปลงการผลิต สายการประกอบตัวยูที่มีลักษณะงานแบบผสมรูปแบบการทำงานจะขึ้นอยู่กับผลิตภัณฑ์ที่นำมาใช้ผลิตและเมื่อทำการตรวจสอบจากตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษาพบว่าได้ผลผลิตดีขึ้น 76% สามารถลดเวลาการทำงานได้ 75% และยังลดของเสียลงไป 86%

Sparling and Miltenburg (1998) อธิบายว่าในอุตสาหกรรมส่วนมากจะมีการปรับเปลี่ยนจากสายการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Product) เป็นแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Mutil Product) หรือผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model) เครื่องมือที่เข้ามาช่วยในการดำเนินการคือระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-time) สิ่งที่ช่วยให้การผลิตของให้ทันต่อความต้องการลูกค้าและมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในเวลาที่มีจำกัดและเสียต้นทุนที่ไม่มาก คือ ปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบผสม ที่มีลักษณะสายการประกอบแบบตัวยู ซึ่งเป็นการจัดภาระงานตามความต้องการผลิตภัณฑ์ทั้งหมดเพื่อให้จำนวนของสถานีงานบนสายการประกอบแบบตัวยูมีจำนวนน้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการอธิบายขั้นตอนการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบตัวยูไว้ 4 ขั้นตอนคือ 1.การคำนวณหาค่าเฉลี่ยน้ำหนักของเวลาในการทำงานและการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์ 2. การวาดกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ของภาระงานตามข้อจำกัดในรูปแบบผลิตภัณฑ์เดี่ยว 3.หาค่าที่เหมาะสมของแต่ละพารามิเตอร์เพื่อเป็นสายการประกอบสมดุลเริ่มต้น

4.ทำการปรับสมดุลให้มีค่าให้เท่าๆกันในแต่ละสถานีงานโดยจะพิจารณาจากตัววัดสภาพที่ไม่สมดุล (Imbalance Measure) ให้มีค่าน้อยที่สุด

2.2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีสถานีงานแบบขนาน

Askin and Zhou (1997) งานวิจัยนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับความต้องการในการผลิตของลูกค้าและการหาความยืดหยุ่นในสายการประกอบที่มีการผลิตแบบหลากหลาย สายการประกอบแบบดั้งเดิมจะมีลักษณะสายการประกอบแบบเดี่ยว และแบบผสม โดยงานวิจัยนี้จะนำเสนอสายการประกอบที่มีสถานีงานแบบนานซึ่งจะประกอบด้วยงานและสายการผลิตโดยจะมีรูปแบบเป็นการผลิตแบบผสมโดยจะใช้สถานีงานแบบขนานในระบบการผลิต มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนเวลาในสถานีงาน โดยใช้ฮิวริสติกในการสร้างสถานีงานแบบขนานเพื่อทำการวิเคราะห์ประสิทธิภาพในแต่ละสถานีงาน

Vilarinho and Simaria (2002) งานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการคิดรูปแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับสายการประกอบแบบผสมที่มีสถานีงานแบบขนานแลละมีเงื่อนไขในการทำงาน โดยจะทำการควบคุมการสร้างสถานีงานแบบขนานให้มีเป้าหมายคือจำนวนสถานีงานลดน้อยลงและงานในสถานีงานต้องมีความสมดุลกัน โดยทำการพัฒนาการจำลอง Annealing เพื่อแก้ปัญหาที่ซับซ้อนจะแบ่งออกเป็นสองขั้นตอน ขั้นตอนแรกจะทำการหาค่าที่เหมาะสมตามวัตถุประสงค์แรก ขั้นตอนที่สองจะทำการหาวัตถุประสงค์ที่สอง

Vilarinho and Simaria (2006) งานวิจัยนี้จะนำเสนอ ANTBAL การหาค่าที่เหมาะสมด้วยอัลกอริทึม Ant Colony สำหรับสายการประกอบแบบผสม อัลกอริทึมนี้จะประกอบด้วยเงื่อนไขโครงสร้างการทำงาน สถานีงานแบบขนาน และการหาจำนวนคนงานที่น้อยที่สุดในสายการประกอบเมื่อมีการกำหนดรอบเวลาการทำงาน ANTBAL จะทำการแก้ปัญหาความสมดุลของงานในสถานีงานในสายการประกอบแบบผสม

2.2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของอัลกอริทึม NSGA-II

Ajenblit and Wainwrigth (1998) ได้อธิบายถึงประสิทธิภาพการจัดสายการประกอบแบบยูกับแบบเส้นตรง ซึ่งประสิทธิภาพในการจัดสายการประกอบแบบยูจะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าหรือเท่ากับสายการประกอบเส้นตรง ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการฮิวริสติกแบบเจนเนติกอัลกอริทึม ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลชนิดที่ 1 (การกำหนดค่ารอบเวลาการทำงานและหาค่า

จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด) ของสายการประกอบแบบตัวยู วัตถุประสงค์ที่กำหนดในงานวิจัยนี้มีทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์คือ 1.การทำให้เวลาสูญเปล่ารวมมีค่าน้อยที่สุด 2.จัดสมดุลของแต่ละสถานีงานให้มีภาระงานน้อยที่สุด และ 3.การพิจารณารวมกันทั้งข้อ 1 และ 2 จากผลลัพธ์ที่ได้แสดงให้เห็นจากปัญหามาตรฐานทั้งหมด 61 ปัญหา โดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมได้ผลเหมือนกับงานวิจัยวิธีไดนามิกโปรแกรมและวิธีฮิวริสติกอื่นๆ ซึ่งพบว่าจำนวน 49 ปัญหา และได้ผลที่ดีกว่า 11 ปัญหา และมีแค่ 1 ปัญหาที่มีผลแย่กว่า จึงสรุปได้ว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม มีประสิทธิภาพในการคำนวณหาค่าที่เหมาะสมของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบตัวยู

Mansouri (2005) ได้ทำการเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยเจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์แบบผสมในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยใช้ Pareto-Optimal Frontier หรือ Locally Non-dominated Frontier ในการพิจารณาฟังก์ชันเป้าหมายที่กำหนด คือ การหาค่าที่ต่ำที่สุดในการปรับตั้งเครื่องและการหาค่าความผันแปรในการผลิตที่ต่ำที่สุด สำหรับการพัฒนา MOGA ได้ใช้พื้นฐานของตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operator) คือ ครอสโอเวอร์ (Crossover) อินเวอร์ชัน (Inversion) และมิวเตชัน (Mutation) มาทำการควบคุมคุณภาพและความหลากหลายของคำตอบให้มีคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

2.2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของเมมเมติกอัลกอริทึม

Cheng and Gen (1997) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้ Hybrid Genetic Algorithms หรือ Memetic Algorithms ในการแก้ปัญหาการจัดตารางเครื่องจักรขนาน โดยมีวัตถุประสงค์สำคัญคือการแบ่งสรรงานให้กับเครื่องจักร และการลำดับงานภายในเครื่องจักรแต่ละเครื่อง โดยพื้นฐานแนวคิดในการแก้ปัญหาจากการใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) ในการแบ่งสรรงาน หลังจากนั้นจึงนำไปประยุกต์ใช้กับการค้นหาเฉพาะที่ (Local Optimizer) เพื่อทำการปรับให้ตำแหน่งของงานมีความเหมาะสมในแต่ละสถานีงาน สำหรับวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือผลรวมที่น้อยที่สุดของผลคูณระหว่างตัวถ่วงน้ำหนักกับค่าสัมบูรณ์ของความผันแปรระหว่างเวลาเสร็จงานและเวลาส่งมอบ ผลลัพธ์ที่ได้จากการศึกษาพบว่า Memetic Algorithms ให้ค่าที่ต่ำกว่า Genetic Algorithms

Moghaddam and Vahed (2006) งานวิจัยนี้ได้พิจารณาวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ คือ ค่าใช้จ่ายทั้งหมดของการทำงานที่น้อยที่สุด ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับความแปรผันของการผลิตที่ต่ำที่สุด และค่าใช้จ่ายทั้งหมดในการปรับตั้งเครื่องที่ต่ำที่สุด ในการจัดสายการประกอบแบบ

ผลิตภัณฑ์ผสมในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm: MA) ในการแก้ปัญหาสายการประกอบโดยทำการคัดเลือกคำตอบจากวงล้อรูเลตและใช้ตัวดำเนินการทางพันธุศาสตร์ (Genetic Operator) ได้แก่ ครอสโอเวอร์ (Crossover) อินเวอร์ชัน (Inversion) และมิวเตชัน (Mutation) ในการหาผลลัพธ์ในการคำนวณ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้ในงานวิจัยนี้พบว่า MA มีความสามารถที่ดีกว่าวิธี Lingo Software โดยเฉพาะปัญหาที่มีขนาดใหญ่

2.2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของอัลกอริทึม COMSOAL

DePuy and Whitehouse (2000) ได้ทำการศึกษาการจัดตารางโครงการให้ตรงตามข้อจำกัดของกิจกรรมที่สำคัญเพื่อลดระยะเวลาโครงการงานวิจัยนี้จะทำการประยุกต์ใช้ COMSOAL ในการจัดสรรทรัพยากร COMSOAL (โดยใช้คอมพิวเตอร์วิธีการหาลำดับการดำเนินงานสำหรับสายการประกอบ) เดิมวิธีแก้ปัญหาสำหรับการประกอบสายปัญหาสมดุลเป็นฮิวริสติก โดยทำการสร้างโซลูชั่นที่เป็นไปได้เพื่อแก้ปัญหาการจัดสรรที่ทำซ้ำการทำงานซ้ำ ๆ COMSOAL สามารถแก้ปัญหาที่มีจำนวนมากได้ ซึ่งงานวิจัยนี้จะใช้แนวทางการแก้ปัญหาของ COMSOAL มาใช้ในการตรวจสอบ ความเหมาะสมสำหรับการตั้งค่าของทรัพยากร การจัดสรร ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบพบว่า COMSOAL สามารถแก้ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรเหล่านี้ได้

Suwannarongsai and Puangdownreong (2009) งานวิจัยนี้จะศึกษาฮิวริสติกการประยุกต์ใช้ COMSOAL (M-COMSOAL) ในการแก้ปัญหาสายการประกอบซึ่งได้ทำการดัดแปลงมาจากวิธี COMSOAL วิธี M-COMSOAL จะเป็นการพัฒนาการจัดสรรงานในแต่ละสถานีงานและลดเวลาการทำงานจากรูปแบบเดิม ในการทำงานแต่ละสถานีงานจะมีการจัดสรรตามเวลาการทำงานและตามลำดับขั้นงาน โดยวิธี M-COMSOAL จะทำให้การแก้ปัญหาสายการประกอบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น งานวิจัยนี้จะทำการเปรียบเทียบจากสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวซึ่งได้รวบรวมและนำเสนอโดย Scholl จากทดสอบพบว่า วิธี M-COMSOAL จะให้คำตอบที่ดีกว่า วิธี COMSOAL

2.2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของอัลกอริทึม PSO

Coello Coello, Pulido and Lechuga (2004) งานวิจัยนี้เสนอโดเมน Pareto เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (PSO) ในการใช้ฮิวริสติกในแก้ปัญหาในการใช้ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ PSO จะใช้เพื่อแก้ปัญหาการเพิ่มประสิทธิภาพในหลายวัตถุประสงค์ขั้นตอนวิธีอัลกอริทึมนี้จะทำการเก็บข้อมูลของอนุภาคเพื่อใช้เป็นแนวทางในการบินของตัวเอง เรายังมีการดำเนินการเสริมสร้างความสามารถในการสำรวจของขั้นตอนวิธีการทั้งหมด โดยวิธีการนี้

จะสามารถตรวจสอบการใช้ฟังก์ชันหลายฟังก์ชันได้และวัดตัวชี้วัดมาตรฐานในการเพิ่มประสิทธิภาพในหลายวัตถุประสงค์

Liao, Tseng and Luarn (2007) งานวิจัยนี้เป็นการเพิ่มประสิทธิภาพของการหาค่าที่เหมาะสมของฝูงอนุภาค (PSO) ที่มีได้จากพฤติกรรมของฝูงนก ในงานวิจัยนี้จะนำเสนอขั้นตอนวิธีการ PSO จะทำการพัฒนาฝูงอนุภาคให้มีประสิทธิภาพในการย้ายอนุภาคเพื่อลำดับขั้นตอนใหม่ โดยจะทำการเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธีการ PSO กับเจนเนติกอัลกอริทึมทำให้พบว่าวิธีการ PSO มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า นอกจากนี้งานวิจัยนี้ยังนำเสนอขั้นตอนวิธี PSO-LS ที่มีการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่ร่วมด้วย

2.3 **สรุป**

ในบทนี้จะเสนอรายละเอียดเกี่ยวกับทฤษฎีต่างๆ ที่เกี่ยวกับสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน การจัดสถานีงานและการค้นหาคำตอบที่แท้จริง รวมถึงบทความต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลอง จากการศึกษาในรายละเอียดต่างๆ พบว่าสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานนั้นมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสายการประกอบตัวอื่นในการจัดสถานีงานเพราะงานในแต่สถานีงานจะไม่มีเวลาการทำงานเกินรอบเวลางาน และสามารถนำมาประยุกต์ใช้ในอัลกอริทึมต่างๆ ได้ ซึ่งจะศึกษาในบทต่อไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ทฤษฎีอัลกอริทึม COMSOAL

(Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line: COMSOAL)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึม COMSOAL (Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line: COMSOAL) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักการสุ่มด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ในบทนี้จะเสนอหลักการและแนวคิดวิธีการอัลกอริทึม COMSOAL ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม COMSOAL และตัวอย่างการประยุกต์ใช้

3.1 หลักการวิธีอัลกอริทึม COMSOAL

วิธีการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี COMSOAL นั้นมีแนวคิดที่หาแนวทางที่เป็นไปได้เพื่อที่จะทำให้การจัดสมดุลมีประสิทธิภาพมากที่สุด กล่าวคือวิธี COMSOAL จะพยายามหาเวลาในแต่ละสถานีงานให้ใกล้เคียงรอบเวลาการผลิต ซึ่งสอดคล้องกับแนวทางที่จะทำการจัดสมดุลสายการผลิตดังที่ได้กล่าวมาแล้ว และวิธีการนี้ยังเป็นที่แพร่หลายและเป็นที่ยอมรับดังนั้นจึงทำการจัดสมดุลสายการผลิตด้วยวิธี COMSOAL

อัลกอริทึม COMSOAL เป็นแนวคิดของ Arcus (1996) โดยอาศัยการสร้างแนวทางของคำตอบที่ได้จากการสุ่มเลือกงานที่จะจัดกลุ่มอย่างมีหลักเกณฑ์ (Biased Sampling) นำจัดงานเข้าไปในสถานีงาน เพื่อให้ได้แนวทางในการจัดสมดุลที่มีประสิทธิภาพที่สุด

3.2 วิธีอัลกอริทึม COMSOAL

วิธี COMSOAL เป็นวิธีที่ใช้จัดสมดุลสายงานการประกอบอย่างมีประสิทธิภาพ และได้รับการประยุกต์ใช้งานในภาคอุตสาหกรรมอย่างกว้างขวางเพราะเป็นวิธีการที่ไม่ซับซ้อนยุ่งยาก และยังสามารถพัฒนาเป็นโปรแกรมการจัดสมดุลสายงานการประกอบได้

ขั้นตอนการจัดสมดุลสายงานการประกอบของวิธี COMSOAL มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 จำแนกสถานีงานในขั้นตอนงานแต่ละงานให้ชัดเจนโดยเรียงลำดับก่อนหลังเวลาการทำงาน

ขั้นตอนที่ 2 สร้างตารางรายชื่อใน List A ซึ่งประกอบด้วยขั้นงานทุกขั้นงานที่ยังไม่ได้จัดสรรลงสู่สถานีงานใดๆ และจำนวนขั้นงานที่ต้องดำเนินการทันทีก่อนหน้าขั้นงานดังกล่าว ถ้าตารางรายชื่อ List A ไม่มีขั้นงานใดอยู่เลย แสดงว่าการจัดสมดุลดำเนินการเสร็จเรียบร้อยแล้ว

ขั้นตอนที่ 3 สร้างตารางรายชื่อ List B โดยเลือกขั้นงานที่ไม่มีขั้นงานก่อนหน้าจากตารางรายชื่อ List A มาบรรจุลงในตารางรายชื่อ List B ดังนั้นตารางรายชื่อ List B จึงเปรียบเสมือนการรวบรวมขั้นงานที่พร้อมจัดสรรลงสู่สถานีงาน

ขั้นตอนที่ 4 เลือกขั้นงานจากตารางรายชื่อ List B มาเพียงหนึ่งขั้นงานโดยวิธีสุ่มโดยใช้หลักความน่าจะเป็นที่เท่ากัน ขั้นงานที่เลือกจะต้องมีเวลาดำเนินงานไม่เกินเวลาที่เหลืออยู่ของสถานีงาน ไม่เช่นนั้นทำการเพิ่มสถานีงานขึ้นอีกหนึ่งสถานีงาน ขั้นงานที่ได้รับเลือกในขั้นตอนนี้จะบรรจุลงในตารางรายชื่อ List C

ขั้นตอนที่ 5 กำจัดขั้นงานในตารางรายชื่อ List C ออกจากตารางรายชื่อ List A แล้วกลับไปขั้นตอนที่ 2 การเลือกขั้นงานในขั้นตอนที่ 4 เป็นการเลือกขั้นงานแบบสุ่ม

3.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

การจัดสมดุลการสายการประกอบแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานแบบหลายผลิตภัณฑ์เป็นการจัดสายการผลิตที่สามารถทำการผลิตสินค้าได้หลายชนิดพร้อมกันบนสายการผลิตเดียวโดยไม่ต้องมีการปรับเปลี่ยนจำนวนคนงานและไม่ต้องมีการเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิต วิธีการจัดสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานจะมีลักษณะดังนี้

1. **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในวิธี COMSOAL เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. **การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น** (Representation & Initialization)

นำข้อมูลนำเข้ามาสร้างคำตอบเบื้องต้นโดยใช้วิธีการสุ่มมาจำนวน Popsize ตัว ด้วยการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

3. **การประเมินค่า** (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

4. **การหาค่าที่เหมาะสม** (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

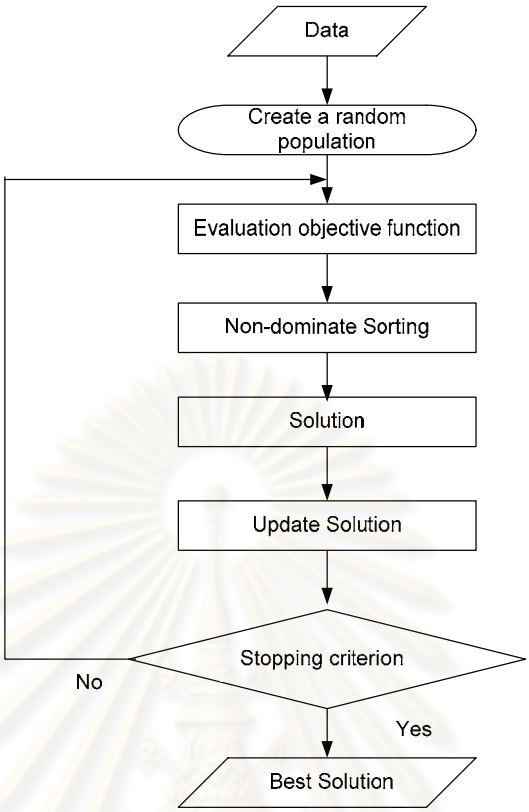
5. **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** (Strategies to Maintain Elitist Solutions in the Population)

เมื่อได้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามข้อ 4 แล้วทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้ไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ทุกเจนเนอเรชันต่อๆ ไป โดยคำตอบที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับรุ่นพ่อแม่ ด้วย Non-dominated Sorting ในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าและนำใช้ในรอบต่อไป

6. **สิ้นสุดกระบวนการ** (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL

3.4 ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

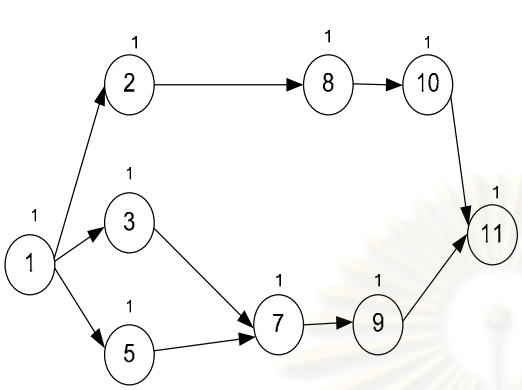
จากขั้นตอนของ COMSOAL จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

3.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

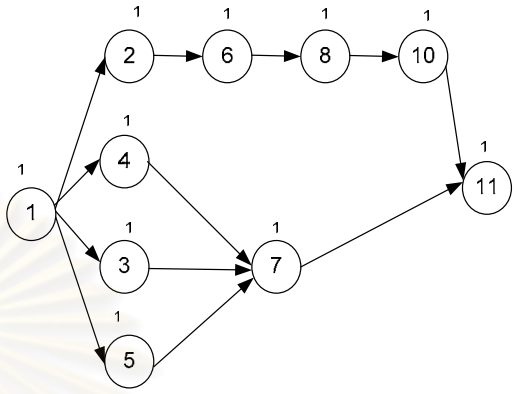
3.4.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COMSOAL ที่ใช้ในตัวอย่าง

1. ประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในตัวอย่างมีจำนวน 5 ตัว

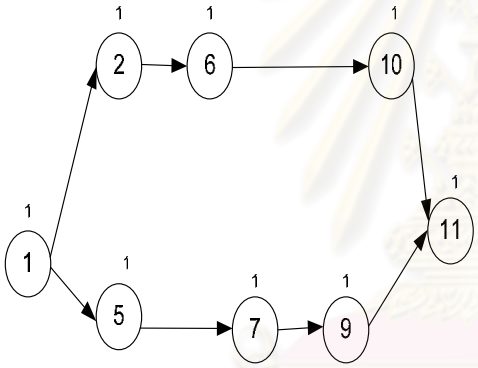
3.4.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 3.2



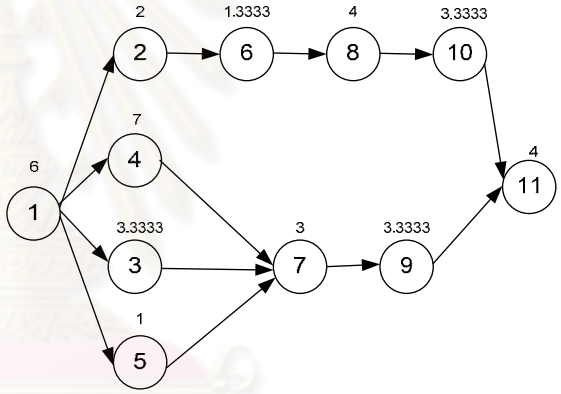
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 3.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

3.4.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการ

ทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตาราง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงาน ขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

3.4.1.4 **สร้างตาราง** Precedence Matrix Font **และ** Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 3.2 จะได้ดังตารางที่ 3.2 และ 3.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

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

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

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

3.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นจะใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบโดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่ม ซึ่งมีขั้นตอนการสุ่มที่ไม่ผิดลำดับความสัมพันธ์ของงานดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 3.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 3.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 3.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 3.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 ทำการสุ่มความน่าจะเป็นที่เท่ากันให้กับสองขั้นงาน แล้วทำการสุ่มเลือกขั้นงานที่จะนำมาจัดลำดับงานสามารถสุ่มได้ขั้นงานที่ 11

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 11 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 3.4 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 11

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 3.4 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 3.5 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 3.4 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 3.5 คือ งานที่ 9 และ 10 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 11 ทำการสุ่มความน่าจะเป็นที่เท่ากันให้กับขั้นงาน แล้วทำการสุ่มเลือกขั้นงานที่จะนำมาจัดลำดับงาน สามารถสุ่มได้ขั้นงานที่ 10

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 10 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 10 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 10 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 10 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 3.6 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 11, 10

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 3.8 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	11
2	1	9, 10	10
3	1	8, 9	8
4	1	6, 9	9
5	1	6, 7	6
6	1	2, 7	1
7	2, 3, 4, 5	2, 7	2
8	3, 4, 5	7	7
9	3, 4, 5	3, 4, 5	5
10	3, 4	3, 4	3
11	4	4	4

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานโดยใช้วิธีการข้างต้น จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 5 ตัว ดังนี้

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

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

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

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

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

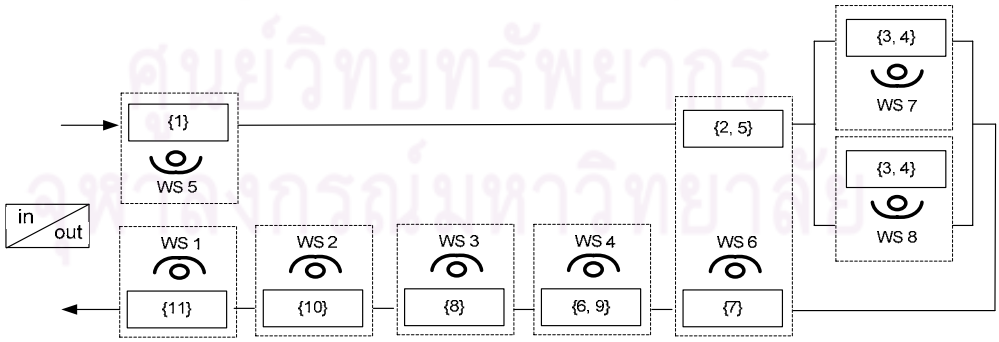
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 3.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 3.9 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
10	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	2	6
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	3	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	4	6
6	1.3333	3.3333	4.6666	4	
1	6	4.6666	10.666	เกินเวลา	
1	6	0	6	5	6
2	2	0	2	6	6
7	3	2	5	6	
5	1	5	6	6	
3	3.3333	0	3.3333	7	12
4*	7	3.3333	10.3333	7	

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 3.9 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 3.3



รูปที่ 3.3 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \; and \; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & ortherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

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

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum \; B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{3.2}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum \; B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{3.3}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = Minimum \; N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $\quad q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $\quad q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 3.10 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	11	6	2	2	2	0.6666	0.6666	0.6666	1.9998
2	10	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666
3	8	6	0	0	0	0	0	0	0
4	9,6	6	1	4	0	0.3333	1.3332	0	1.6665
5	1	6	0	0	0	0	0	0	0
6	2, 7, 5	6	0	0	0	0	0	0	0
7	3, 4	12	0	0	5	0	0	1.6665	1.6665

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$= \left[1.9998 + 0.6666 + 0 + 1.6665 + 0 + 0 + 1.6665\right] = 5.9994$

หาค่า $\left[\dfrac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \dfrac{1}{LL}\right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\dfrac{1.9998}{5.9994} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0434$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\dfrac{0.6666}{5.9994} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0002$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\dfrac{0}{5.9994} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{1.6665}{5.9994}-\frac{1}{8}\right]^2=0.0233$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{0}{5.9994}-\frac{1}{8}\right]^2=0.0156$

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{0}{5.9994}-\frac{1}{8}\right]^2=0.0156$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{1.6665}{5.9994}-\frac{1}{8}\right]^2=0.0233$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M}q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2=0.1372$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b=\frac{8}{8-1}\times 0.1372=0.1567$$

$$f_2(X)=Minimum\ B_b=0.1567$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 3.11 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km}-\frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
3	8	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
4	9,6	0.0178	0.2178	0.1111	0.3467
5	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
6	2, 7, 5	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
7	3, 4	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{8(3-1)} \times (0 + 0.1667 + 0.3333 + 0.3467 + 0.3333 + 0.3333 + 0.6667)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.4087$$

สตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.12 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	11	4
2	10	3.3333
3	8	4
4	6, 9	4.6666
5	1	6
6	2, 5, 7	6
7 (มีสถานีงานขนาน)	3, 4	10.3333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.1567

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.4087

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 3.13 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

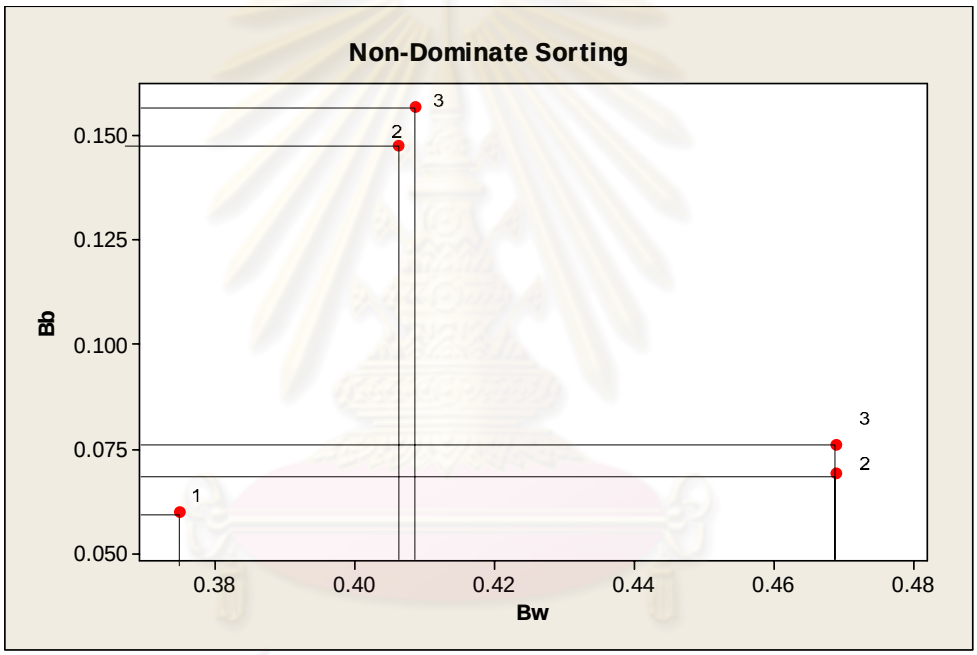
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1567	0.4087
2	8	0.0689	0.4688
3	8	0.1477	0.4063
4	8	0.0760	0.4688
5	8	0.0596	0.3750

3.4.3 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 3.14 และตารางที่ 3.4



รูปที่ 3.4 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.14 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness
5	0.0596	0.3750	1
2	0.0689	0.4688	2
3	0.1477	0.4063	2
4	0.0760	0.4688	3
1	0.1567	0.4087	3

3.4.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

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

3.4.6 สตริงคำตอบเบื้องต้นในรอบที่ 2

สตริงคำตอบเบื้องต้นจะใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบโดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่ม จะได้สตริงคำตอบเท่ากับ 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

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

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

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

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

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

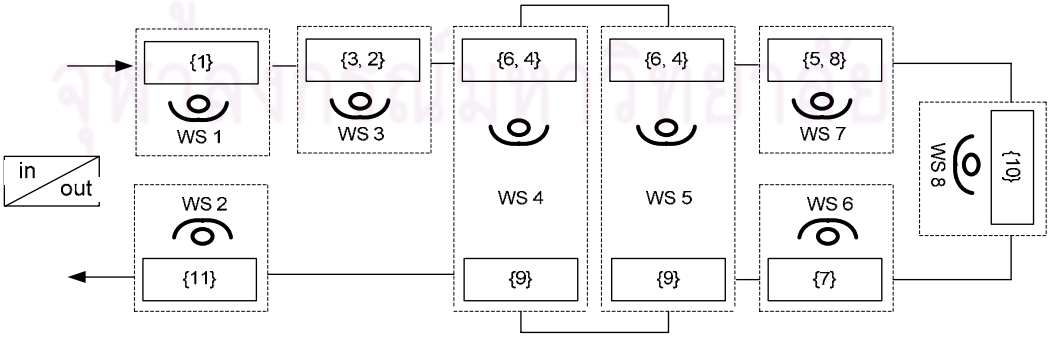
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 3.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 3.15 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
11	4	0	4	2	
3	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	3	6
2	2	3.3333	5.3333	3	
6	1.3333	5.3333	6.6666	เกินเวลา	
6	1.3333	0	1.3333	4	12
9	3.3333	1.3333	4.6666	4	
*4**	7	4.6666	11.6666	4	
7	3	11.6666	14.6666	เกินเวลา	
7	3	0	3	5	6
8	4	3	7	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	6
5	1	4	5	6	
10	3.3333	5	8.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 3.15 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. จำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีขั้นงานในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 3.16 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	1	6
2	11	4
3	2, 3	5.3333
4 (มีสถานีงานขนาน)	4, 6, 9	11.6666
5	7	3
6	5, 8	3.3333
7	10	3.333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0717

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.4688

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 3.17 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

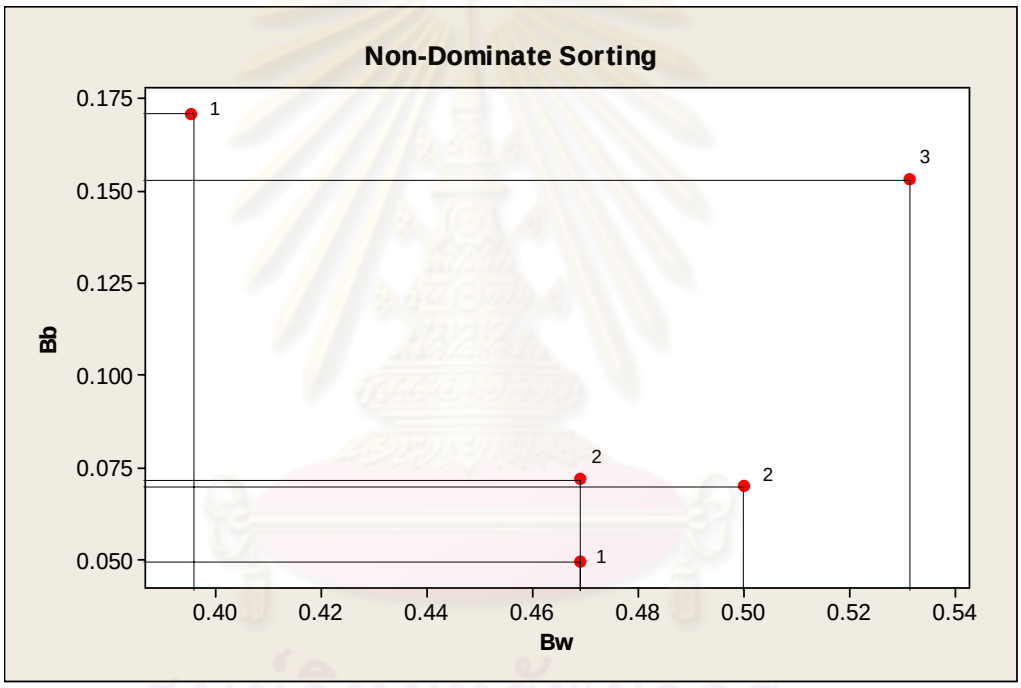
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0717	0.4688
2	8	0.1706	0.3950
3	8	0.1529	0.5313
4	8	0.0496	0.4688
5	8	0.0699	0.5000

3.4.7 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Dummy Fitness) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจะได้ค่าดังรูปที่ 3.6 และตารางที่ 3.18



รูปที่ 3.6 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.18 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness
4	0.0496	0.4688	1
2	0.1706	0.3950	1
5	0.0699	0.5000	2
1	0.0717	0.4688	2
3	0.1529	0.5313	3

3.4.8 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง(Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

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

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

3.4.9 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

ในรอบที่ 1 จากการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ได้ นำมารวมกับสตริงคำตอบในรอบที่ 2 ที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าต่ำที่สุด เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้พิจารณาในรอบต่อไป ดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

สตริงคำตอบในรอบ	สตริงคำตอบ	Task Sequence
1	5	[1 4 5 3 7 2 9 11 10 8 6]
2	4	[11 1 9 10 5 2 7 8 6 3 4]
	2	[1 11 2 5 4 3 9 7 6 8 10]

จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน จะนำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 3.20

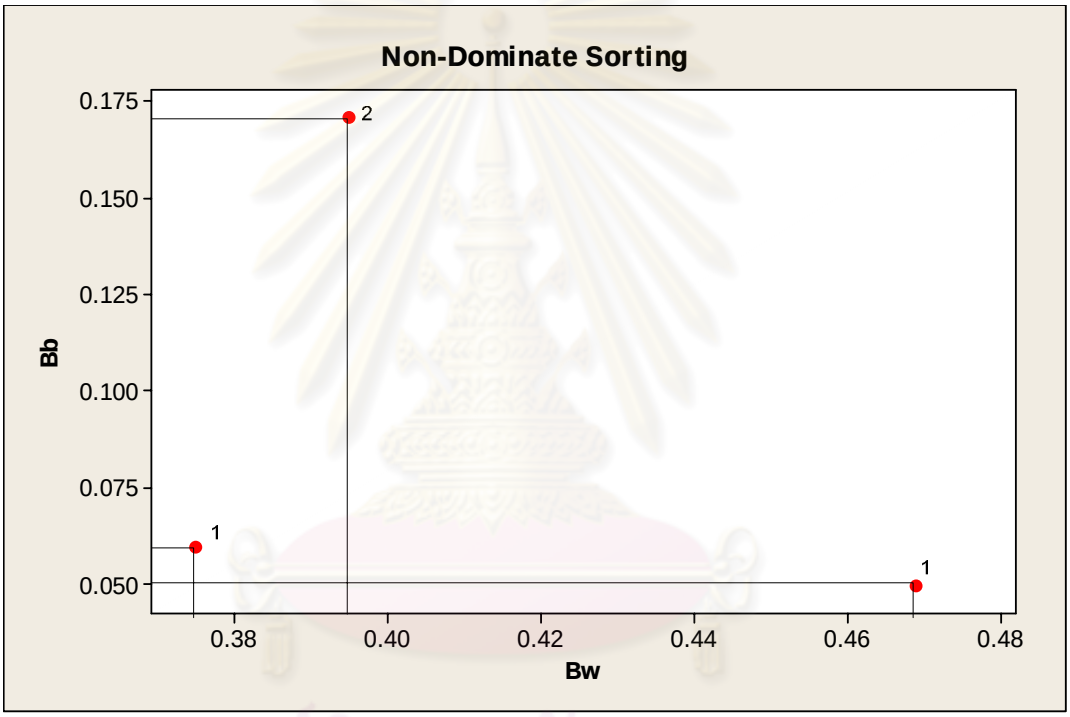
ตารางที่ 3.20 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

สตริงคำตอบในรอบ	สตริงคำตอบ	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	5	8	0.0596	0.3750
2	4	8	0.0496	0.4688
	2	8	0.1706	0.3950

ประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุดการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Dummy Fitness) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจะได้ค่าดังรูปที่ 3.7 และตารางที่ 3.21



รูปที่ 3.7 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 3.21 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness
4	0.0496	0.4688	1
5	0.0596	0.3750	1
2	0.1706	0.3950	2

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่มีค่า Dummy Fitness ที่มีค่าน้อยที่สุดคือ 1 ทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป ซึ่งสตริงคำตอบที่ดีที่ได้นั้นจะกลายเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าของการดำเนินงาน จากตารางค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) สตริงคำตอบที่ 4 และ 5 จะเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

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

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

3.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร

3.6 สรุป

เนื้อหาที่ได้กล่าวมานั้นเป็นทฤษฎีการหาค่าเหมาะสมของอัลกอริทึม COMSOAL ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่ง่ายที่สุด และเป็นวิธีเริ่มต้นของอัลกอริทึมต่างๆ แต่ในวิธีอัลกอริทึมนี้ยังหาค่าที่เหมาะสมที่สุดได้ไม่ดีนักเนื่องจากขั้นตอนการทำอัลกอริทึม COMSOAL ใช้วิธีการสุ่มหาสตริงคำตอบเบื้องต้นแล้วทำการประเมินค่าหาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือ Non-dominated Sorting (Goldberg, 1989) ค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) โดยกลุ่มที่ดีที่สุดจะมีอันดับในการจัดต่ำที่สุด เพื่อเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงานที่กำหนด เพื่อนำมาเปรียบเทียบในแต่ละรอบโดยทำการหาค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) อีกครั้ง จากขั้นตอนนี้อาจจะยังไม่ได้คำตอบที่แท้จริงแต่ก็เป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนประกอบกับใช้เวลาในการคำนวณไม่นานทำให้เป็นวิธีที่นิยมอีกวิธีหนึ่งในปัจจุบัน

บทที่ 4
ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II)
(Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการหาค่าอัลกอริทึม NSGA-II ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ดีที่สุดในการหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างอัลกอริทึม NSGA-II ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 แนวคิดอัลกอริทึม NSGA-II

แนวคิดอัลกอริทึม NSGA-II เป็นการค้นหาคำตอบแบบเฟ้นสุ่ม (Stochastic Search) เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่ลักษณะการทำงานในรูปแบบของการค้นหาแบบฮิวริสติกซึ่งมีรากฐานแนวความคิดมาจากทฤษฎีวิวัฒนาการชาร์ล ดาร์วิน โดยอิงจากแนวความคิดการอยู่รอดของผู้ที่แข็งแรงที่สุด (Survival of the Fittest) ในสภาวะแวดล้อมที่เหมือนกัน การทำงานของ GAs นี้จะเป็นไปในลักษณะการค้นหาคำตอบแบบคู่ขนาน (Parallel Search) โดยคำตอบที่ได้จากการหาคำตอบในหนึ่งรุ่น (Generation) จะผ่านการแปลง (Transformation) เพื่อที่จะนำไปสู่การค้นหาคำตอบที่ดีขึ้นในรุ่นต่อไป คำตอบ (Solution) หรือสมาชิกของประชากร (Individual) ที่มีการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับภายในประชากรนั้นจะเป็นการสำรวจพื้นที่ในการค้นหา (Search Space) และเป็นการถ่ายทอดคุณสมบัติที่ดี (Fit Characteristics) ของคำตอบที่ค้นพบในรุ่นปัจจุบันไปยังรุ่นต่อไป สมาชิกของประชากรที่ดีจะมีหลายคำตอบ ดังนั้นการค้นหาโดย GAs จะทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) ซึ่งเป็นสมาชิกของประชากรที่มีลักษณะดีที่สุด (Fittest Individual)

4.2 ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม NSGA -II ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

กำหนดให้ในเจนเนอเรชัน t

P_t แทนประชากรคำตอบ (ประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่)

Q_t แทนประชากรคำตอบใหม่ (ประชากรคำตอบรุ่นลูก)

R_t แทนการรวมกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่และประชากรคำตอบรุ่นลูก

1. **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในวิธี NSGA-II เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. **การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น** (Representation & Initialization)

สร้างคำตอบเบื้องต้นอย่างสุ่ม จำนวน Popsize ตัว โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

อัลกอริทึม NSGA-II จะทำการสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น โดยจะกำหนดค่าสิทธิเลือกงานในแต่ละขั้นงานที่จะทำบนสายการประกอบโดยการใส่ตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง m (m คือจำนวนงานทั้งหมด) ลงไปในแต่ละ Bit ของสตริงคำตอบจนครบทุกตัว จนกว่าจะได้ประชากรทั้งหมด ที่ได้มาจากหลักการ Gas ที่เป็นการค้นหาคำตอบที่มาจากการคัดเลือกตามธรรมชาติและกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ วิธีการสุ่มค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) มีวิธีการสร้างดังนี้

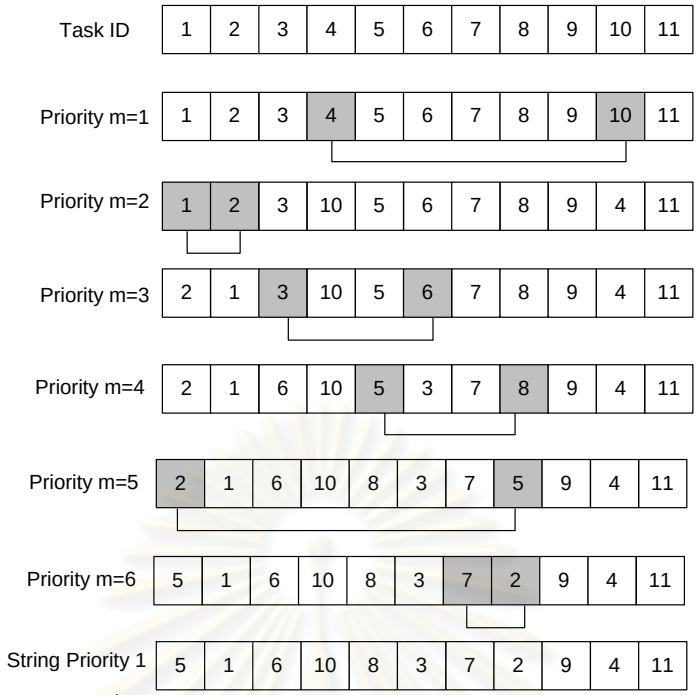
- ใส่ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Input the Priority Number) โดยเริ่มแรกให้มีค่าเท่ากับ-ขั้นงาน

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

รูปที่ 4.1 การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น

- สุ่มตำแหน่ง 2 จุด เพื่อทำการสลับ จำนวนครั้งในการทำการสลับตำแหน่งเท่ากับจำนวนครึ่งหนึ่งของงานหรือ $m/2 = 11/2 \approx 6$ กำหนดให้ m ขั้นงานทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.2 การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority)

3. **การประเมินค่า** (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

4. **การหาค่าที่เหมาะสม** (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. **ความหนาแน่นของประชากร** (Density Information)

คำนวณค่าความหนาแน่นให้กับประชากรคำตอบ ด้วยวิธี Crowding Distance

6. **การคัดเลือกคำตอบ** (Selection)

วิธีการคัดเลือกคำตอบในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการ Tournament Selection ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี Roulette Wheel Selection จะเป็นการนำสตริงคำตอบเบื้องต้นมาทำการ

คัดเลือกโดยดูค่าจาก Fitness ของสตริงคำตอบในแต่ละตัว สตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มาก จะเป็นสตริงที่มีความเข้มแข็งและเป็นสตริงที่จะถูกคัดเลือกไว้ สตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน Popsize ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool โดยคำตอบที่มีความแข็งแรงมากจะมีอันดับที่น้อยกว่า และคำตอบที่มีความหนาแน่นมากจะมีโอกาสในการถูกเลือกสูง

6.1 การสร้างวงล้อรูเล็ต

วงล้อรูเล็ตเป็นวงกลมที่มีขนาด 1 หน่วยซึ่งถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆ ตามจำนวนของประชากร โดยพื้นที่แต่ละส่วนจะมีขนาดเท่ากับความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของสตริงคำตอบแต่ละตัว โดยมีวิธีการดังนี้

1. หาค่า Fitness รวมของสตริงคำตอบทั้งหมด Popsize ตัว

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

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

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

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

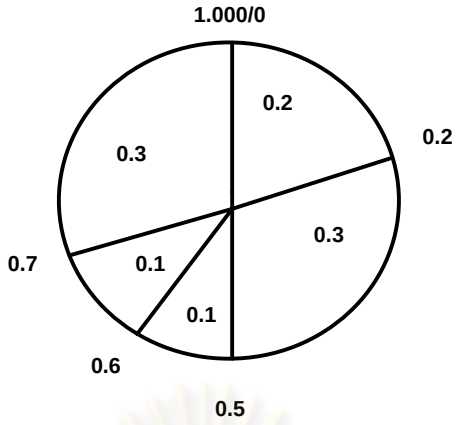
3. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม (Cumulative Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ (4.3)

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

ตัวอย่างของวงล้อรูเล็ตแสดงได้ดังตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.3

ตารางที่ 4.1 ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต

String No	แปลง Fitness	*pi*	*qi*
1	2	0.2	0.2
2	3	0.3	0.5
3	1	0.1	0.6
4	1	0.1	0.7
5	3	0.3	1
รวม	10		



รูปที่ 4.3 วงล้อรูเล็ต

6.2 **วิธี** Tournament Selection

ทำการสุ่มสตริงคำตอบจากวงล้อรูเล็ตมา 2 ตัว แล้วนำค่า Fitness มาเปรียบเทียบกันอีกครั้งหนึ่งซึ่งมีวิธีการเลือกมีดังนี้

1. ทำการสุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า คือ r_1 ถ้า $r_1 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่ถ้า $q_{i-1} < r_1 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวแรก ($2 < i < popsize$)

2. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาอีก 1 ค่า คือ r_2 ถ้า $r_2 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่ถ้า $q_{i-1} < r_2 < q_i$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวที่สอง ($2 < i < popsize$)

5. นำค่า Fitness ของสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวมาเปรียบเทียบกัน ตัวใดมีค่า Fitness มากกว่าก็ให้เลือกสตริงคำตอบนั้นเข้าสู่ Mating Pool ทำจนกว่าจะได้สตริงคำตอบใน Mating Pool ครบ Popsize ตัว

สตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากจะมีพื้นที่มากจะมีโอกาสที่ตัวเลขสุ่มที่สร้างจะตกอยู่ในตำแหน่งนี้มากกว่าตัวที่มีค่า Fitness น้อย ทำให้สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเข้าสู่ Mating Pool ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String Selected
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	
1	0.7643	0.7	4	3	0.1121	0.2	1	2	**4**
2	0.4623	0.5	2	1	0.9872	1	5	1	**5**
3	0.2971	0.5	2	1	0.3321	0.5	2	1	**2**
4	0.3452	0.5	2	1	0.9872	1	5	1	**5**
5	0.8875	1	5	1	0.2121	0.5	2	1	**2**

7. การครอสโอเวอร์ (Crossover)

ทำการจับคู่สตริงคำตอบและครอสโอเวอร์ด้วยความน่าจะเป็นเท่ากับ P_C

7.1 การจับคู่สตริงคำตอบ

การจับคู่สตริงคำตอบเป็นการจับคู่เพื่อเข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ โดยคำตอบที่ไม่ได้ถูกจับคู่ก็จะยังคงสภาพเดิมต่อไป จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาจับคู่ (N_C) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (P_C) มีขั้นตอนการจับคู่ดังนี้

1. ทำการสุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า คือ r

2. สตริงคำตอบที่มีตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า P_C จะถูกเลือกไปจับคู่และทำการครอสโอเวอร์

3. ถ้ามีสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_C เป็นจำนวนเลขคี่ให้ทำการปรับจำนวนให้เป็นเลขคู่ โดย ถ้าเป็นจำนวนเลขคี่ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง Popsize ให้ทำการสุ่มตัวเลข 0 หรือ 1 ขึ้นมา 1 ตัว ถ้าสุ่มได้เลข 1 ให้เพิ่มสตริงคำตอบเข้าไปอีก 1 ตัว โดยเป็นเลข 0 ให้ตัดสตริงคำตอบทิ้ง 1 ตัว แต่ถ้าจำนวนสตริงคำตอบที่สุ่มได้มีค่าเท่ากับ 1 ให้ใช้วิธีเพิ่มสตริงเข้าไปอีก 1 ตัวและถ้าสตริงคำตอบที่ได้มีจำนวนเท่ากับ Popsize ซึ่งเป็นจำนวนเลขคี่ ให้ตัดสตริงคำตอบที่ได้ลง 1 ตัว

4. ถ้าไม่มีสตริงคำตอบตัวใดที่มีค่าน้อยกว่า P_C ให้เริ่มทำข้อ 1 และ 3 อีกครั้ง

7.2 การครอสโอเวอร์

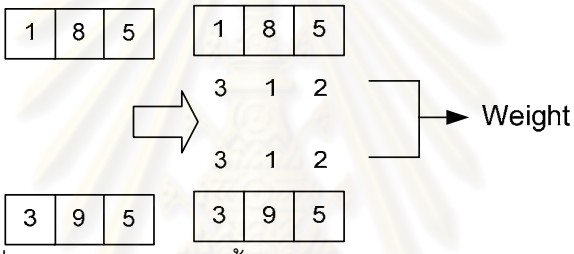
สตริงคำตอบที่เตรียมไว้จะถูกนำมาผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ เป็นการนำ วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) เข้ามาช่วยในการครอสโอเวอร์

ขั้นแรกจะทำการเลือกคู่สตริงพ่อแม่ (Parent) ขึ้นมา จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์อย่างสุ่มที่อยู่ในช่วง [1, m] โดยที่ m คือความยาวของสตริง ขอบเขตของการครอสโอเวอร์อยู่ในช่วงเครื่องหมาย " | "

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

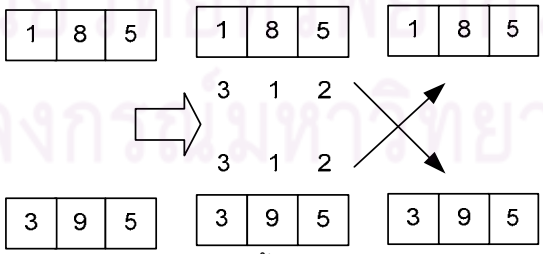
Parent 2 = [10 2 |3 9 5| 4 11 6 1 8 7]

ทำการสลับค่าระหว่างสตริงที่อยู่ในช่วง " | " จากตำแหน่งที่สุ่มในช่วง [3, 5] นำค่าที่อยู่ในช่วง " | " ทั้งพ่อแม่มากำหนดค่าน้ำหนัก (Weight) ของยีน ซึ่งยีนตำแหน่งไหนมีหมายเลขยีนที่สูงสุดจะกำหนดให้มีค่าน้ำหนัก (Weight) เท่ากับ 1 และหมายเลขถัดไปจะมีค่าน้ำหนัก (Weight) เท่ากับ 2



รูปที่ 4.4 การกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงคำตอบพ่อและแม่

ทำการสลับคู่ของค่าน้ำหนัก เพื่อทำการแลกเปลี่ยนโครโมโซมกัน โดยการสลับค่าสตริงพ่อแม่ (Parent) โดยทำการสลับค่าน้ำหนักจะทำการปรับเปลี่ยนค่าในโครโมโซมให้มีค่าตรงตามค่าน้ำหนัก



รูปที่ 4.5 การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักของสตริงคำตอบของพ่อแม่

สตริงที่ได้จะทำการแทนค่ากลับในช่วงที่ทำการสุ่มมาได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก

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

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

จะได้

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

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

7.3 การซ่อมแซมคำตอบ (Repair Method)

สตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์จะเป็นสตริงค่าของสิทธิในการเลือกงานจึงทำให้ไม่ต้องมีการซ่อมแซมคำตอบ

8. มิวเตชัน (Mutation)

การมิวเตชันคือวิธีการสลับตำแหน่งของค่าภายในสตริงคำตอบตัวเดียว โดยจะใช้วิธีการแบบ Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งสตริงที่ได้จะต้องไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนและหลังของงาน แต่เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงาน (String Priority) จึงไม่ต้องกังวลเรื่องหลักความสัมพันธ์

โดยจะทำการสุ่มค่า r ซึ่งมีค่าระหว่าง [0,1] ให้กับสตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool จากนั้นทำการเลือกเฉพาะสตริงที่มีค่า r ที่น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) เมื่อได้สตริงตัวที่จะทำการมิวเตชันแล้ว ทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชันมา 2 ตำแหน่ง จากตัวอย่างทำการสุ่มได้เลข 2 และ 7 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

8	2	11	4	9	6	5	1	7	10	3

8	5	11	4	9	6	2	1	7	10	3

รูปที่ 4.6 วิธี Reciprocal Exchange Mutation

9. การรวมประชากร (Combination Population)

รวมประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ที่ได้รับการปรับปรุงคำตอบด้วยฮิวริสติกแบบการค้นหาเฉพาะที่ และประชากรคำตอบรุ่นลูกที่ได้รับการปรับปรุงจากการค้นหาเฉพาะที่เช่นเดียวกัน

10. การเลือกประชากร (Selection Next Population)

คัดเลือกประชากรคำตอบสำหรับเจนเนอเรชันถัดไปจากการรวมประชากรคำตอบโดยใช้หลักการ Non-dominated Sorting และ Crowding Distance ประชากรคำตอบที่มีอันดับหนึ่งจะมีโอกาสได้รับเลือกไปเป็นประชากรคำตอบในเจอเนอเรชันถัดไปสูงเป็นอันดับแรก และมีโอกาสลดหลั่นลงมาตามอันดับที่ ถ้าจำนวนประชากรคำตอบในอันดับใดมีจำนวนน้อยกว่าจำนวน

ประชากรคำตอบที่เหลืออยู่ จะคัดเลือกประชากรคำตอบโดยการพิจารณา Crowding Distance ที่มีค่ามาก และดำเนินการในขั้นตอนนี้จนกระทั่งครบจำนวน Popsize ตัว

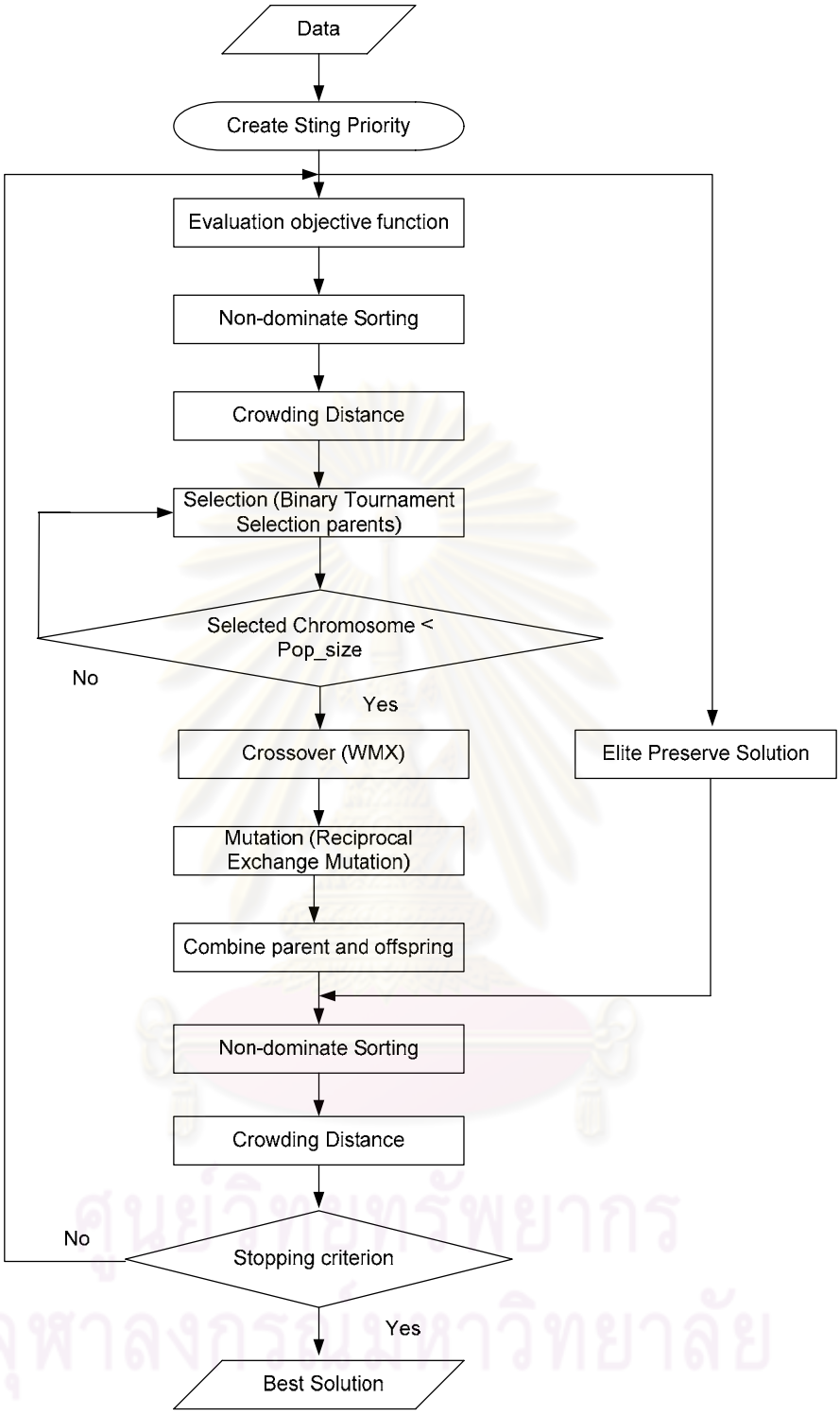
11. **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

เมื่อได้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามข้อ 11 แล้วทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้ไว้เพื่อใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้ทุกเจนเนอเรชันต่อๆ ไป โดยคำตอบที่ได้นี้จะนำไปเปรียบเทียบกับรุ่นพ่อแม่ ด้วย Non-dominated Sorting ในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บค่าและนำใช้ในรอบต่อไป

12. **สิ้นสุดกระบวนการ** (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.7 ขั้นตอนการทำงานของ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)

4.3 ตัวอย่างการนำวิธี NSGA-II อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากที่ได้นำเสนอขั้นตอน NSGA-II มาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่าง ซึ่งเป็นสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

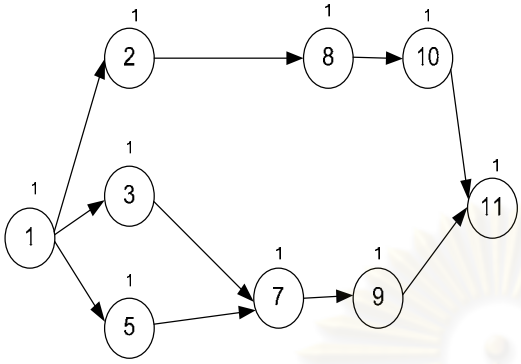
4.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

4.3.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ NSGA-II ที่ใช้ในตัวอย่าง

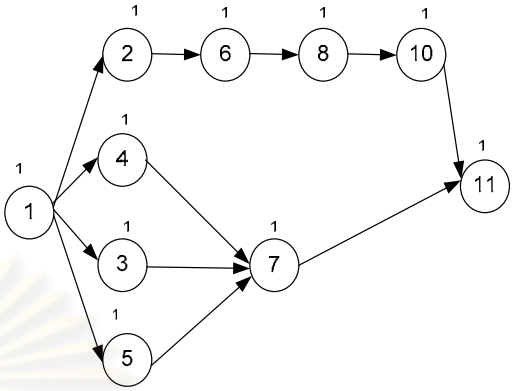
1. ประชากรเบื้องต้นที่ใช้ในตัวอย่างมีจำนวน 5 ตัว
2. วิธีการครอสโอเวอร์จะใช้วิธี Weight Mapping Crossover (WMX)
3. ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่กำหนดจะมีค่าเท่ากับ 0.7
4. วิธีการมิวเตชันจะใช้วิธี Reciprocal Exchange Mutation
5. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชันที่กำหนดจะเท่ากับ 0.3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

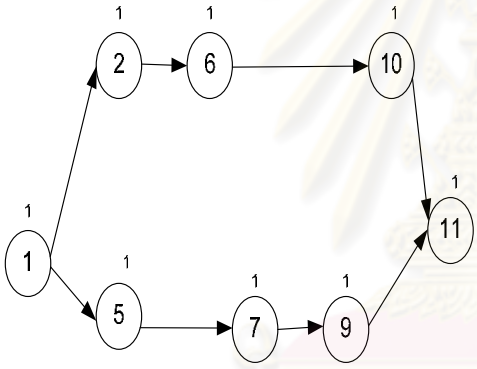
4.3.1.2 **การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม** (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูป 4.8



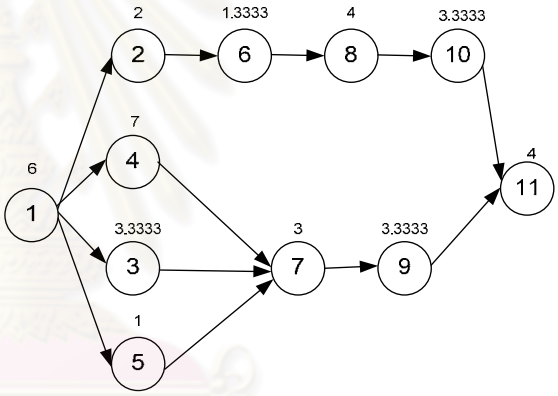
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 4.8 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

4.3.1.2 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการ

ทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตาราง สามารถแสดงได้ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงาน ขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

4.3.1.3 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 4.8 จะได้ดังตารางที่ 4.4 และ 4.5

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

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

4.3.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

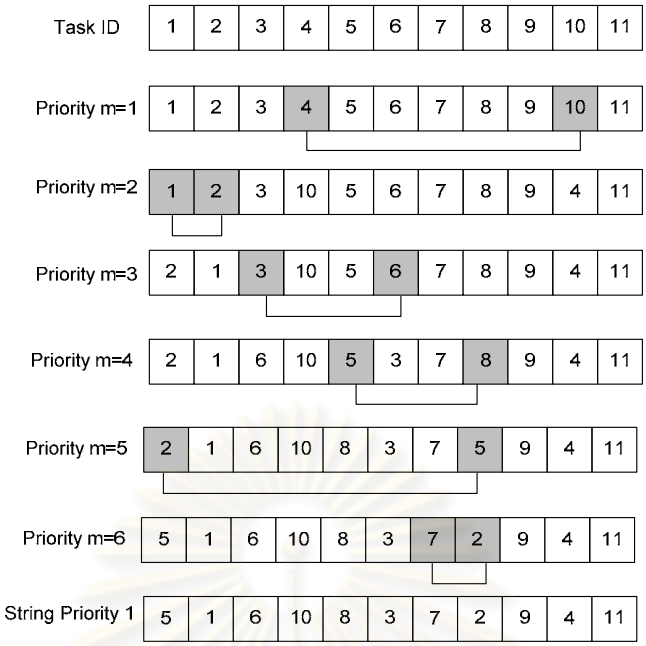
การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นใช้วิธีสุ่มสตริงคำตอบ โดยการกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) โดยจะมีขั้นตอนวิธีแบบสุ่มดังนี้

- ใส่ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Input the priority number) โดยเริ่มแรกให้มีค่าเท่ากับ-ขั้นงาน

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

รูปที่ 4.9 การสร้างกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น

- สุ่มตำแหน่ง 2 จุด เพื่อทำการสลับ จำนวนครั้งในการทำการสลับตำแหน่งเท่ากับจำนวนครึ่งหนึ่งของงานหรือ $m/2 = 11/2 \approx 6$ กำหนดให้ m ขั้นงานทั้งหมด



รูปที่ 4.10 สตริงกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority)

จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงานเท่ากับ 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

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

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

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

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

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

4.3.3 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

จากสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงานทั้ง 5 ตัว ยังไม่สามารถนำไปจัดลงสถานีงานได้ ต้องทำการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงาน โดยพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถเลือกทำได้ลงในตำแหน่งข้างหน้างาน (Forward Work) และตำแหน่งข้างหลังงาน (Backward Work) ก่อนโดยไม่ผิดความสัมพันธ์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 4.4 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 4.5 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 4.4 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 4.5 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงานจากสตริงคำตอบที่ 1 ตามตำแหน่งของงานที่สามารถเลือกได้ พบว่า ค่าสิทธิในการเลือกงานของขั้นงานที่ 1 และ 11 มีค่าเท่ากับ 5 และ 11 ตามลำดับ ทำการเลือกขั้นงานที่มีสิทธิในการเลือกงานมากที่สุดคือขั้นงานที่ 11

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 11 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 11

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 4.6 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 4.7 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 4.6 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 4.7 คือ งานที่ 9 และ 10 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 พิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงานจากสตริงคำตอบที่ 1 ตามตำแหน่งของงานที่สามารถเลือกได้ พบว่า ค่าสิทธิในการเลือกงานของขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 มีค่าเท่ากับ 5, 9 และ 4 ตามลำดับ ทำการเลือกขั้นงานที่มีสิทธิในการเลือกงานมากที่สุดคือขั้นงานที่ 9

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 9 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 9 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 9 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 9 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 11, 9

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 4.10 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	11
2	1	9, 10	9
3	1	7, 10	1
4	2, 3, 4, 5	7, 10	4
5	2, 3	7, 10	5
6	2, 7	7, 10	3
7	2, 7	7, 10	10
8	2, 7	7, 8	8
9	2, 7	6, 7	6
10	2, 7	7	7
11	2	2	2

ลำดับขั้นงานในการทำงานโดยใช้วิธีการข้างต้น จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

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

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

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

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

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

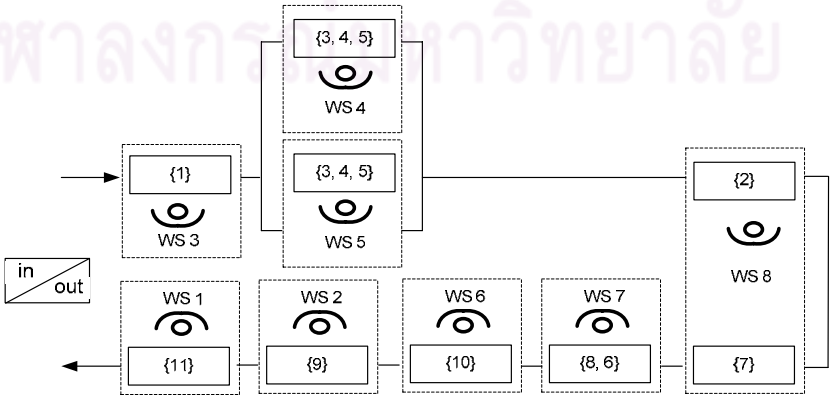
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 4.3 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.11 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	2	6
1	6	3.3333	9.3333	เกินเวลา	
1	6	0	6	3	6
*4**	7	0	7	4	12
5	1	7	8	4	
3	3.3333	8	11.3333	4	
10	3.3333	11.3333	14.6666	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	5	6
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	6
6	1.3333	4	5.3333	6	
7	3	5.3333	8.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	7	6
2	2	2	5	7	

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 4.11 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \; and \; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & ortherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum \; N_w \tag{4.4}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum \; B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{4.5}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum \; B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{4.6}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = Minimum \; N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $\quad q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $\quad q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 4.12 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	11	6	2	2	2	0.6666	0.6666	0.6666	1.9998
2	9	6	1	0	1	0.3333	0	0.3333	0.6666
3	1	6	0	0	0	0	0	0	0
4	3, 4, 5	12	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
5	10	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666
6	8, 6	6	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
7	7, 2	6	1	1	1	0.3333	0.3333	0.3333	0.9999

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$= \left[1.9998 + 0.6666 + 0 + 1.3332 + 0.6666 + 1.3332 + 0.9999\right] = 6.9993$

ค่า $\left[\dfrac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \dfrac{1}{LL}\right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\dfrac{1.9998}{6.9993} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0258$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\dfrac{0.6666}{6.9993} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0009$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\frac{0}{6.9993}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{1.3332}{6.9993}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0043$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{0.6666}{6.9993}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0009$

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{1.3332}{6.9993}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0043$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{0.9999}{6.9993}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0003$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2 = 0.0521$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{8}{8-1}\times 0.0521 = 0.0596$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.0596$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 4.13 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km}-\frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	9	0.0278	0.1111	0.0278	0.1667
3	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
4	3, 4, 5	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
5	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
6	8, 6	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
7	7, 2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{8(3-1)} \times (0 + 0.1667 + 0.3333 + 0.6667 + 0.1667 + 0.6667 + 0)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.3750$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 4.14 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	11	4
2	9	3.3333
3	1	6
4 (มีสถานีงานขนาน)	3, 4, 5	11.3333
5	10	3.3333
6	6, 8	5.3333
7	2, 7	5

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0596

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.3750

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 4.15 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

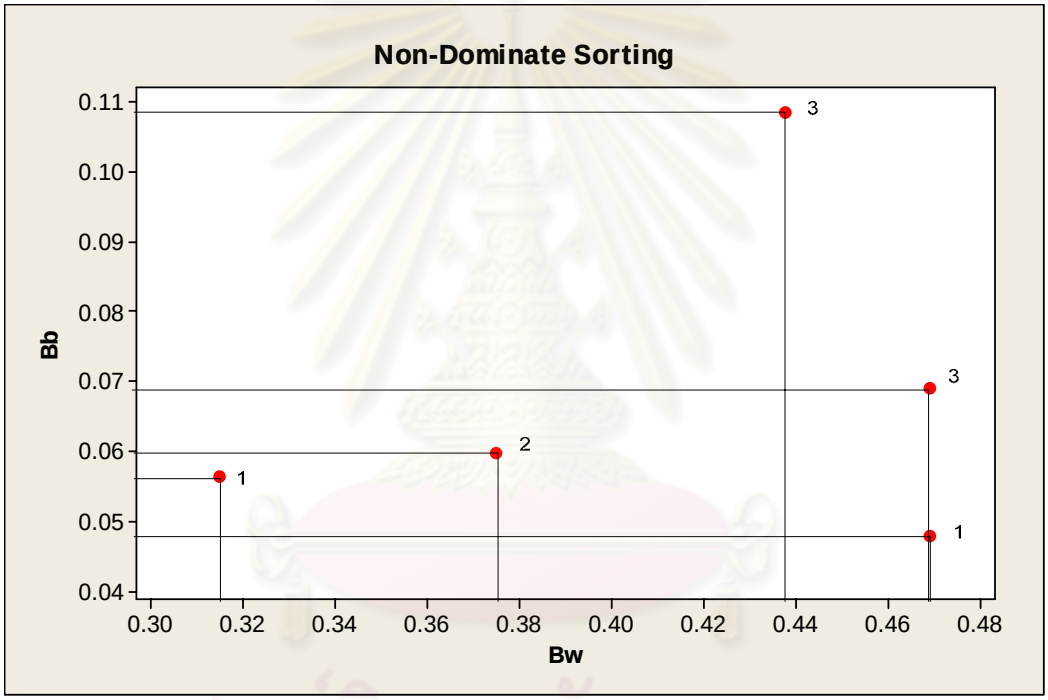
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0596	0.3750
2	8	0.0564	0.3150
3	8	0.1084	0.4375
4	8	0.0689	0.4688
5	8	0.0478	0.4688

4.3.4 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 4.12 และตารางที่ 4.16



รูปที่ 4.12 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness
5	0.0478	0.4688	1
2	0.0564	0.3150	1
1	0.0596	0.3750	2
4	0.0689	0.4688	3
3	0.1084	0.4375	3

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

การคำนวณหาค่า Crowding Distance จะทำการพิจารณาที่ละ Front ดังนั้นในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ Front ที่ 1 ก่อน จากตารางที่ 4.17 โดยทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 และ 3 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำที่สุดของ Front ที่ 1

ตารางที่ 4.17 การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	i
5	0.0478	0.4688	1	1
2	0.0564	0.3150	1	2

จากตารางที่ 4.17 มีสมาชิกคำตอบมีลำดับที่ 1 ($i=1$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับที่ 2 ($i=2$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบนี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity) ในส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 ก็เช่นกันมีกำหนดให้มีค่าเป็น อนันต์ (infinity) ส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 3 มีค่าเดียวจึงกำหนดให้มีค่าเป็น อนันต์ (infinity) ดังนั้นค่า Crowding Distance จะมีค่าดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
5	0.0478	0.4688	1	Infinity
2	0.0564	0.3150	1	Infinity
1	0.0596	0.3750	2	Infinity
4	0.0689	0.4688	3	Infinity
3	0.1084	0.4375	3	Infinity

4.3.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

คัดเลือกคำตอบรุ่นพ่อแม่โดยใช้ Binary Tournament Selection จากการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการหา Non-Dominated Sorting Selection ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี Roulette Wheel Selection โดยสตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน Popsize ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อรอการจับคู่และการดำเนินงานต่อไป

4.3.5.1 การสร้างวงล้อรูเล็ต

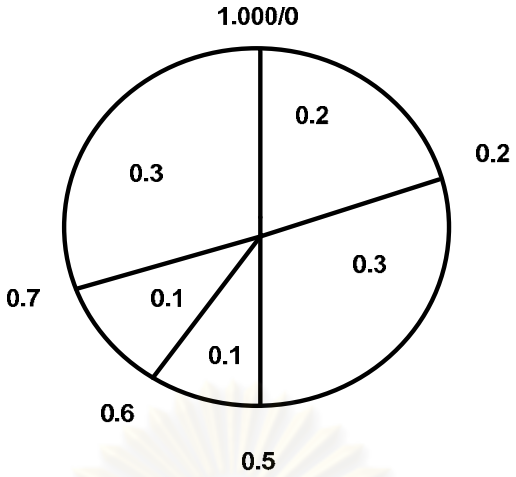
ทำการสลับค่าให้ค่าจากค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า pi และ qi ซึ่งค่า qi คือค่า pi สะสม ดังรูปที่ 4.13 และ ตารางที่ 4.19 - 4.20

ตารางที่ 4.19 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

String No	Bb	Bw	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	0.0596	0.3750	2	2	infinity
2	0.0564	0.3150	1	3	infinity
3	0.1084	0.4375	3	1	infinity
4	0.0689	0.4688	3	1	infinity
5	0.0478	0.4688	1	3	infinity

ตารางที่ 4.20 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน

String No	แปลง Fitness	pi	qi
1	2	0.2	0.2
2	3	0.3	0.5
3	1	0.1	0.6
4	1	0.1	0.7
5	3	0.3	1
รวม	10		



รูปที่ 4.13 วงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน

4.3.5.2 วิธี Tournament Selection

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัวคือ สตริงหมายเลข 4 5 2 5 2 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงหมายเลข 1 - 5 ในขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.21 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	Selected
1	0.7643	0.7	4	3	0.1121	0.2	1	2	**4**
2	0.4623	0.5	2	1	0.9872	1	5	1	**5**
3	0.2971	0.5	2	1	0.3321	0.5	2	1	**2**
4	0.3452	0.5	2	1	0.9872	1	5	1	**5**
5	0.8875	1	5	1	0.2121	0.5	2	1	**2**

ตารางที่ 4.22 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

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

4.3.6 การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pc ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $Pc = 0.7$ ดังนั้นสตริงที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 \approx 4$ ตัว การสุ่มเลือกสตริงคำตอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.22

ตารางที่ 4.23 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

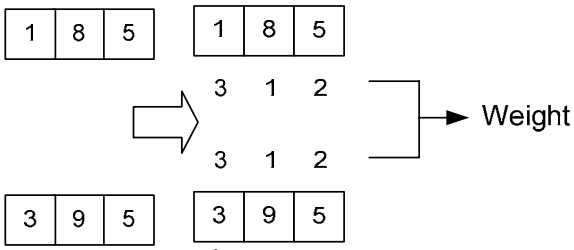
String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[8 2 11 4 9 6 5 1 7 10 3]	0.8360	-
2	[4 2 1 8 5 7 11 3 9 6 10]	0.5980	Selected
3	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.6570	Selected
4	[4 2 1 8 5 7 11 3 9 6 10]	0.1080	Selected
5	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.6745	Selected

เนื่องจากสตริงที่ถูกสุ่มเลือกไปครอสโอเวอร์มีเพียง 3 ตัวคือสตริงหมายเลข 2, 3, 4 และ 5 เพื่อทำการลดหรือเพิ่มสตริงคำตอบ

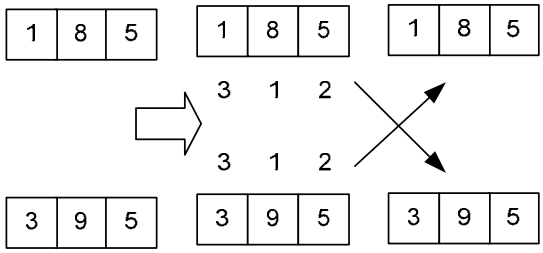
สตริงคู่ที่ 1 คือ 2, 3 นำไปครอสโอเวอร์ ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ ได้ที่ตำแหน่ง 3 และ 5

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

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [3, 5] ให้แก่สตริงพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.14



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงพ่อแม่คู่ที่ 1



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยนค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 2, 3

รูปที่ 4.14 การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก (Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

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

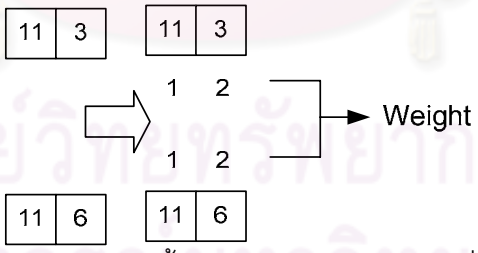
Offspring 2 = [10 2 |3 9 5| 4 11 6 1 8 7]

สตริงคู่ที่ 2 คือ 3, 4 นำไปครอสโอเวอร์ ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ ได้ที่ตำแหน่ง 7 และ 8

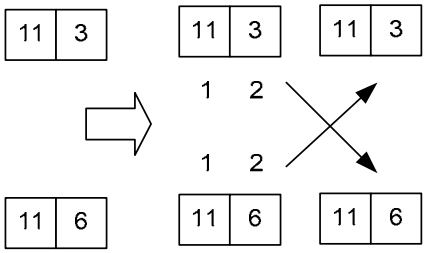
Parent 1 = [4 2 1 8 5 7 |11 3| 9 6 10]

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

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [7, 8] ให้แก่สตริงพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.15



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงพ่อแม่คู่ที่ 2



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยนค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 3, 4

รูปที่ 4.15 การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก(Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

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

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

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากหลังการทำครอสโอเวอร์เป็นสตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงานทำให้ไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ สตริงที่ได้จากการทำครอสโอเวอร์จะถูกนำไปทำการมิวเตชัน

4.3.7 การมิวเตชัน

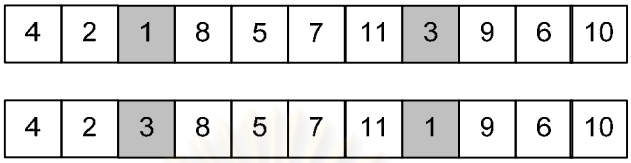
ในที่นี้กำหนดให้ $Pm = 0.3$ ซึ่งทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าน่าจะมีสตริงคำตอบ 30% หรือ $0.3 \times 5 \approx 2$ ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน สตริงตัวนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ให้กับสตริงแต่ละตัว แล้วถ้าตัวใดที่ r น้อยกว่า Pm ก็จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.24 ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[8 2 11 4 9 6 5 1 7 10 3]	0.289	Selected
2	[4 2 1 8 5 7 11 3 9 6 10]	0.557	-
3	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.821	-
4	[4 2 1 8 5 7 11 3 9 6 10]	0.152	Selected
5	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.957	-

สตริงคำตอบตัวที่ 1 และ 4 เป็นสตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยใช้วิธี Reciprocal Exchange Mutation เป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการทำการสุ่มตัว 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน ในสตริงที่ 1 สุ่มได้เลข 2 และ 7 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง และในสตริงที่ 4 สุ่มได้เลข 3 และ 8 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

รูปที่ 4.16 วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 1



รูปที่ 4.17 วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 4

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว หลังการทำมิวเตชันเพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น เพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 4.25 สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน

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

4.3.8 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

จากสตริงคำตอบเริ่มต้น (P) และสตริงคำตอบรุ่นลูก (Q) จะนำมาทำการรวมกันและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ในที่นี้จะทำการเก็บสตริงคำตอบไว้จำนวนเท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 4.26 สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก

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

สตริงคำตอบที่ได้ทำการรวมกันแล้ว จะนำไปคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์จึงต้องการแปลงค่าสตริงคำตอบทั้ง 10 คำตอบ ให้เป็นลำดับของขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ได้ค่าดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

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

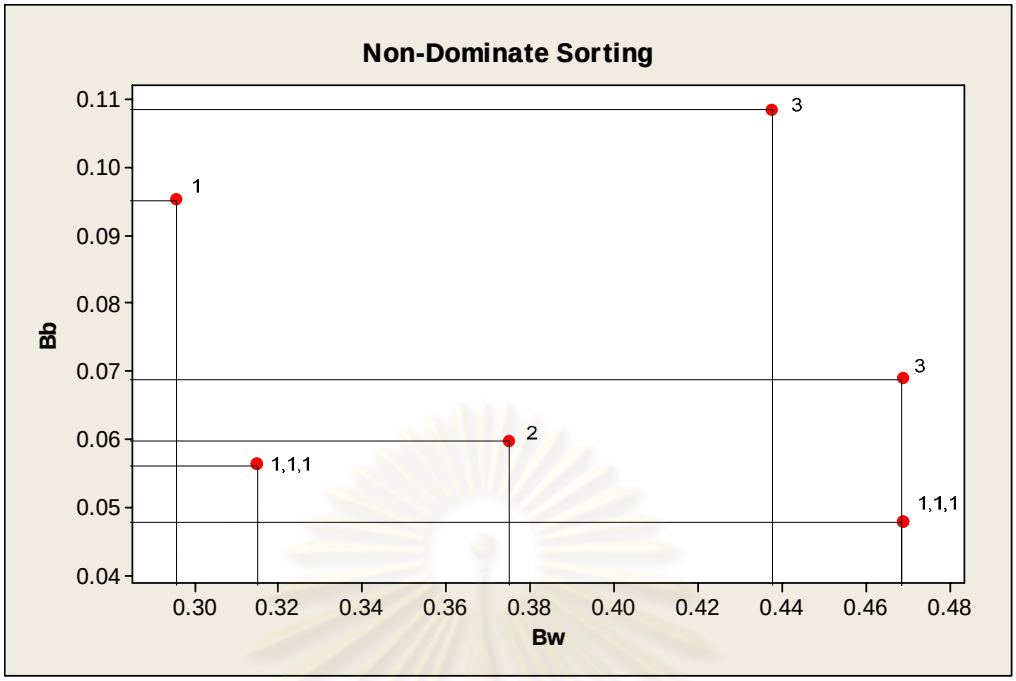
จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน จะนำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0596	0.3750
2	8	0.0564	0.3150
3	8	0.1084	0.4375
4	8	0.0689	0.4688
5	8	0.0478	0.4688
6	8	0.0952	0.2956
7	8	0.0478	0.4688
8	8	0.0564	0.3150
9	8	0.0478	0.4688
10	8	0.0564	0.3150

คำตอบที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และทำการคำนวณ Crowding Distance ได้ดังรูป 4.18 และตารางที่ 4.29

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.18 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน

ตารางที่ 4.29 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	0.0596	0.3750	2	Infinity
2	0.0564	0.3150	1	1.0694
3	0.1084	0.4375	3	Infinity
4	0.0689	0.4688	3	Infinity
5	0.0478	0.4688	1	Infinity
6	0.0952	0.2956	1	Infinity
7	0.0478	0.4688	1	Infinity
8	0.0564	0.3150	1	1.0694
9	0.0478	0.4688	1	Infinity
10	0.0564	0.3150	1	1.0694

ทำการเรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และภายใน Front ทำการเรียงค่าจามมากไปน้อยของค่า Crowding Distance ได้ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
5	0.0478	0.4688	1	Infinity
7	0.0478	0.4688	1	Infinity
9	0.0478	0.4688	1	Infinity
2	0.0564	0.3150	1	2.0000
8	0.0564	0.3150	1	2.0000
10	0.0564	0.3150	1	2.0000
6	0.0952	0.2956	1	Infinity
1	0.0596	0.3750	2	Infinity
4	0.0689	0.4688	3	Infinity
3	0.1084	0.4375	3	Infinity

การหาค่า Crowding Distance ในตารางที่ 4.30 มีวิธีการหาได้ดังนี้

จากตารางสมาชิกคำตอบที่มีลำดับที่ 1 ใน Dummy Fitness ที่ 1 ($i=1$) มีสตริงคำตอบที่เท่ากันอยู่ 3 ตัวคือ 5, 7 และ 9 จะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับสุดท้าย ใน Dummy Fitness ที่ 1 ($i=3$) มีสตริงคำตอบคือ 6 จะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบสองคำตอบนี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity) ส่วนสมาชิกคำตอบลำดับที่ 2 ที่มีสตริงคำตอบที่มีค่าเท่ากัน 3 ตัวคือ 2, 8 และ 10 จะสามารถหาค่าได้ดังนี้

$$cd_1\left(x_{[2,2]}\right)=\left|\frac{f_2\left(x_{[2+1,2]}\right)-f_2\left(x_{[2-1,2]}\right)}{f_2^{\max}-f_2^{\min}}\right|$$

$$cd_1\left(x_{[2,2]}\right)=\left|\frac{0.0952-0.0478}{0.0952-0.0478}\right|=1$$

และ

$$cd_2\left(x_{[2,3]}\right)=\left|\frac{f_3\left(x_{[2+1,3]}\right)-f_3\left(x_{[2-1,3]}\right)}{f_3^{\max}-f_3^{\min}}\right|$$

$$cd_2\left(x_{[2,3]}\right)=\left|\frac{0.2956-0.4688}{0.4688-0.2956}\right|=1$$

ลำดับที่ 2 จะมีค่า Crowding Distance เท่ากับ $1+1=2$

ส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 และ Front ที่ 3 กำหนดให้มีค่าเป็นอนันต์ (infinity) ได้เลย

เมื่อจัดเรียงเสร็จแล้ว จะทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบ และพิจารณาทีละ Front จากน้อยไปมาก จากตารางที่ 4.30 จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 7 ตัวที่มีค่าเท่ากับ 1 (Front) แต่สตริงคำตอบที่ได้จัดเก็บต้องมีไม่เกิน 5 ตัว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบออกมาเพียง 5 สตริงคำตอบดังนี้ เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนิน NSGA-II ในรอบถัดไป

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

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

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

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

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

4.3.9 สตริงคำตอบเบื้องต้นของรอบที่ 2

จะใช้สตริงคำตอบของรอบที่ 1 เป็นสตริงคำตอบเริ่มต้น จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกขั้นงานเท่ากับ 5 สตริงคำตอบ ดังนี้

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

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

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

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

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

4.3.10 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

จากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัว ยังไม่สามารถนำไปจัดลงสถานีงานได้ ต้องทำการแปลงสตริงคำตอบเป็นลำดับงาน โดยพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถเลือกทำได้ลงในตำแหน่งข้างหน้างาน (Forward Work) และตำแหน่งข้างหลังงาน (Backward Work) จากตารางแสดงความสัมพันธ์ในการทำงานแล้วจึงพิจารณาค่าสิทธิในการเลือกงาน ซึ่งขั้นงานที่สามารถถูกเลือกลงตำแหน่งข้างหน้าและข้างหลังงานใดมีค่ามากสุดจะถูกเลือกลงในลำดับขั้นงานก่อน จะได้ลำดับงานทั้ง 5 สตริงคำตอบดังนี้

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

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

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

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

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

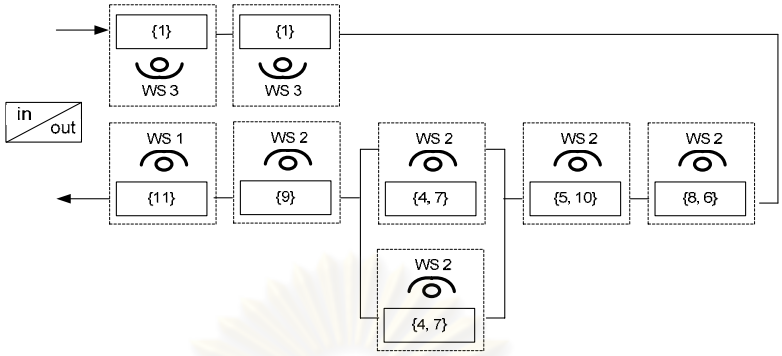
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 4.3 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 4.31 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	2	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	3	12
4*	7	3	10	3	
10	3.3333	10	13.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	4	6
5	1	3.3333	4.3333	4	
1	6	4.3333	10	เกินเวลา	
1	6	0	6	5	6
8	4	0	4	6	6
6	1.3333	4	5.3333	6	
2	2	5.3333	7	เกินเวลา	
2	2	0	2	7	6
3	3.3333	2	5.3333	7	

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 4.31 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

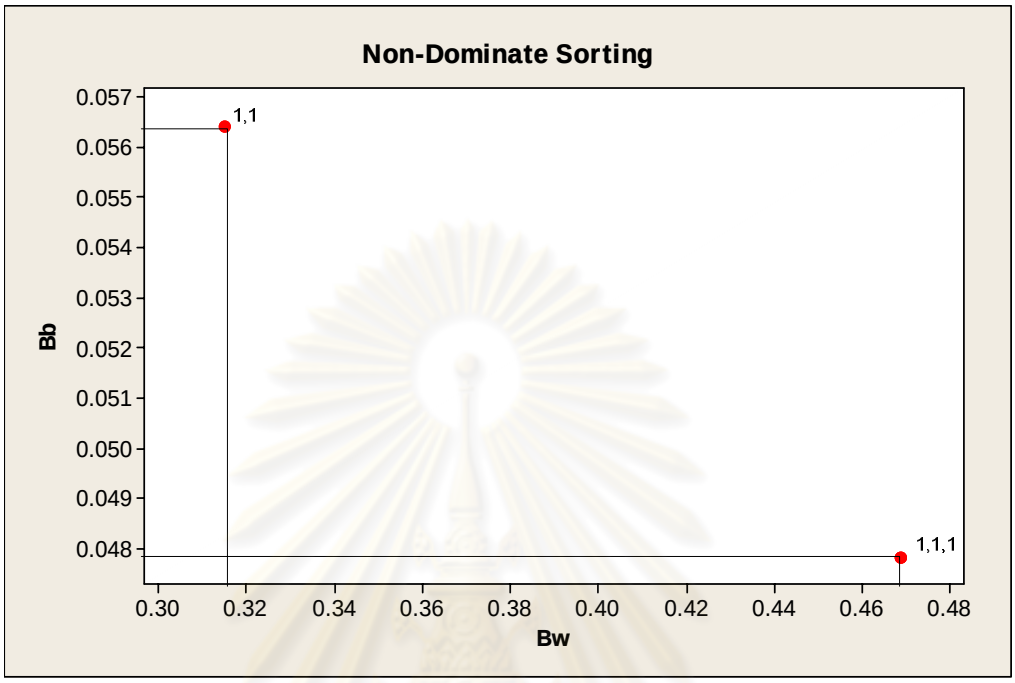
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0478	0.4688
2	8	0.0478	0.4688
3	8	0.0478	0.4688
4	8	0.0564	0.3150
5	8	0.0564	0.3150

4.3.11 การประเมินค่า

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 4.20 และตารางที่ 4.33



รูปที่ 4.20 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)

ตารางที่ 4.33 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	0.0478	0.4688	1	infinity
2	0.0478	0.4688	1	infinity
3	0.0478	0.4688	1	infinity
4	0.0564	0.3150	1	infinity
5	0.0564	0.3150	1	infinity

การคำนวณหาค่าความหนาแน่นด้วยวิธี Crowding Distance

การคำนวณหาค่า Crowding Distance จะทำการพิจารณาที่ละ Front ดังนั้นในที่นี้จะทำการพิจารณาที่ Front ที่ 1 ก่อน จากตารางที่ 4.34 โดยทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 และ 3 ที่มีค่าสูงสุดและต่ำที่สุดของ Front ที่ 1

ตารางที่ 4.34 การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	i
1	0.0478	0.4688	1	1
2	0.0478	0.4688	1	1
3	0.0478	0.4688	1	1
4	0.0564	0.3150	1	2
5	0.0564	0.3150	1	2

จากตารางที่ 4.34 มีสมาชิกคำตอบมีลำดับที่ 1 ($i=1$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และลำดับที่ 2 ($i=2$) หรือมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด คำตอบนี้จะถือว่ามีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์ (Infinity) ในส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 2 ก็เช่นกันมีกำหนดให้มีค่าเป็น อนันต์ (infinity) ส่วนค่า Crowding Distance ของ Front ที่ 3 มีค่าเดียวจึงกำหนดให้มีค่าเป็น อนันต์ (infinity) ดังนั้นค่า Crowding Distance จะมีค่าดังตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	0.0478	0.4688	1	infinity
2	0.0478	0.4688	1	infinity
3	0.0478	0.4688	1	infinity
4	0.0564	0.3150	1	infinity
5	0.0564	0.3150	1	infinity

4.3.12 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

คัดเลือกคำตอบรุ่นพ่อแม่โดยใช้ Binary Tournament Selection จากการหาค่า Fitness Value ที่ได้จากการหา Non-Dominated Sorting Selection ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี

Roulette Wheel Selection โดยสตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน Popsize ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อรอการจับคู่และการดำเนินงานต่อไป

4.4.12.1 การสร้างวงล้อรูเล็ต

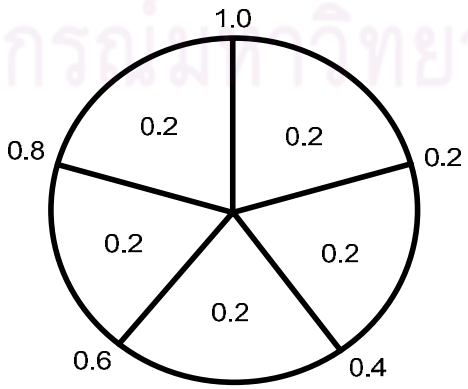
ทำการสลับค่าให้ค่าจากค่า Dummy Fitness จากค่าน้อยเป็นค่ามากและคำนวณหาค่า pi และ qi ซึ่งค่า qi คือค่า pi สะสม ดังรูปที่ 4.21 และ ตารางที่ 4.36 - 4.37

ตารางที่ 4.36 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

String No	Bb	Bw	Fitness Value	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	0.0478	0.4688	1	1	infinity
2	0.0478	0.4688	1	1	infinity
3	0.0478	0.4688	1	1	infinity
4	0.0564	0.3150	1	1	infinity
5	0.0564	0.3150	1	1	infinity

ตารางที่ 4.37 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน

String No	แปลง Fitness	pi	qi
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 4.21 วงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.3.12.2 วิธี Tournament Selection

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัวคือ สตริงหมายเลข 3 3 5 5 5 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงหมายเลข 1-5 ตามลำดับเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 4.38 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				No_String
	r_1	$q_i > r_1$	String	Fitness	r_2	$q_i > r_2$	String	Fitness	Selected
1	0.5821	0.6	3	1	0.3443	0.4	2	1	**3**
2	0.7433	0.8	4	1	0.5214	0.6	3	1	**3**
3	0.4123	0.6	3	1	0.8897	1	5	1	**5**
4	0.9231	1	5	1	0.0434	0.2	1	1	**5**
5	05912	0.6	3	1	0.8112	1	5	1	**5**

ตารางที่ 4.39 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

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

4.3.13 การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pc ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ $Pc = 0.7$ ดังนั้นสตริงที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ $0.7 \times 5 \approx 4$ ตัว การสุ่มเลือกสตริงคำตอบแสดงได้ดังตารางที่ 4.40

ตารางที่ 4.40 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[4 2 3 8 5 7 11 1 9 6 10]	0.436	Selected
2	[4 2 3 8 5 7 11 1 9 6 10]	0.387	Selected
3	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.204	Selected
4	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.142	Selected
5	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.884	-

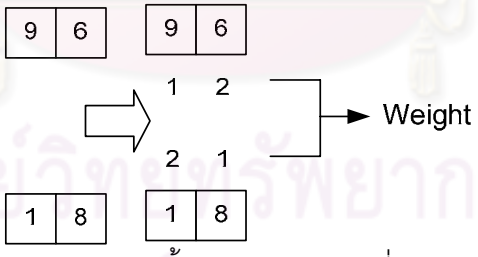
เนื่องจากสตริงที่ถูกสุ่มเลือกไปครอสโอเวอร์มี 4 ตัว ทำการจับคู่เพื่อทำการลดหรือเพิ่มสตริงคำตอบ นำไปครอสโอเวอร์ ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์

สตริงคู่ที่ 1 คือ 1, 3 นำไปครอสโอเวอร์ ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ ได้ที่ตำแหน่ง 9 และ 10

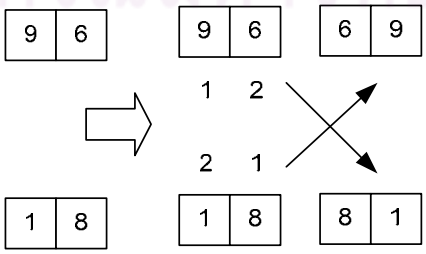
Parent 1 = [4 2 3 8 5 7 11 1 |9 6 | 10]

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

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [9, 10] ให้แก่สตริงพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.22



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงที่ 1 และ 3



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยนค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 1, 3

รูปที่ 4.22 การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก (Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

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

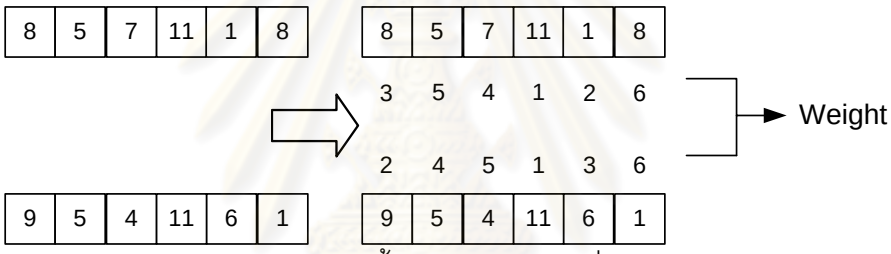
Offspring 2 = [10 2 3 9 5 4 11 6 |8 1| 7]

สตริงคู่ที่ 2 คือ 2, 4 นำไปครอสโอเวอร์ ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ ได้ที่ตำแหน่ง 4 และ 9

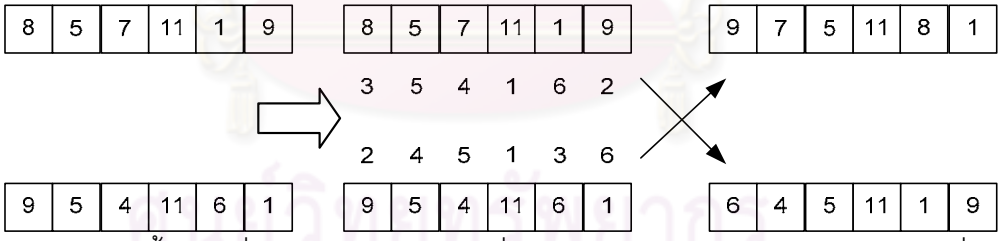
Parent 3 = [4 2 3 |8 5 7 11 1 9 | 6 10]

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

ทำการกำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [4, 9] ให้แก่สตริงพ่อแม่ (Parent) ได้ดังรูปที่ 4.23



ก) กำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงที่ 2 และ 4



ข) การสลับค่าน้ำหนักที่กำหนดและทำการเปลี่ยนค่าภายในโครโมโซมในสตริงคำตอบที่ 2, 4

รูปที่ 4.23 การครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูก (Offspring) หลังจากการทำครอสโอเวอร์วิธี Weight Mapping Crossover (WMX) คือ

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

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

4.3.14 การมิวเตชัน

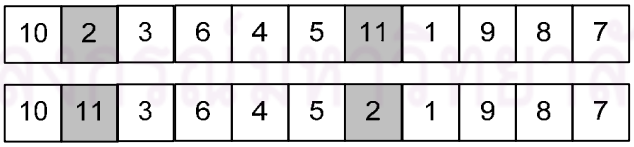
ในที่นี้กำหนดให้ $Pm = 0.3$ ซึ่งทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าน่าจะมีสตริงคำตอบ 30% หรือ $0.3 \times 5 \approx 2$ ตัว ที่จะถูกมิวเตชัน สตริงตัวนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ให้กับสตริงแต่ละตัว แล้วถ้าตัวใดที่ r น้อยกว่า Pm ก็จะถูกนำไปมิวเตชัน ดังตารางที่ 4.41

ตารางที่ 4.41 ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	[4 2 3 8 5 7 11 1 6 9 10]	0.489	-
2	[4 2 3 9 7 5 11 8 1 6 10]	0.557	-
3	[10 2 3 9 5 4 11 6 8 1 7]	0.021	Selected
4	[10 2 3 6 4 5 11 1 9 8 7]	0.152	Selected
5	[10 2 3 9 5 4 11 6 1 8 7]	0.957	-

สตริงคำตอบตัวที่ 3 และ 4 เป็นสตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้ทำการมิวเตชัน โดยใช้วิธี Reciprocal Exchange Mutation เป็นการสลับตำแหน่งของตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบ โดยเริ่มจากการทำการสุ่มตัว 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง

รูปที่ 4.24 วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 3



รูปที่ 4.25 วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 4

จะได้สตริงคำตอบในรุ่นลูกทั้งหมด 5 ตัว หลังการทำมิวเตชันเพื่อนำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น เพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบไว้

ตารางที่ 4.42 สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน

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

4.3.15 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

จากสตริงคำตอบเริ่มต้น (P) และสตริงคำตอบรุ่นลูก (Q) จะนำมาทำการรวมกันและทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนสตริงคำตอบเริ่มต้น ในที่นี้จะทำการเก็บสตริงคำตอบไว้จำนวนเท่ากับ 5 ตัว

ตารางที่ 4.43 สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก

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

สตริงคำตอบที่ได้ทำการรวมกันแล้ว จะนำไปคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์จึงต้องการแปลงค่าสตริงคำตอบทั้ง 10 คำตอบ ให้เป็นลำดับของขั้นงานให้เรียบร้อยก่อน ได้ค่าดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 ลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

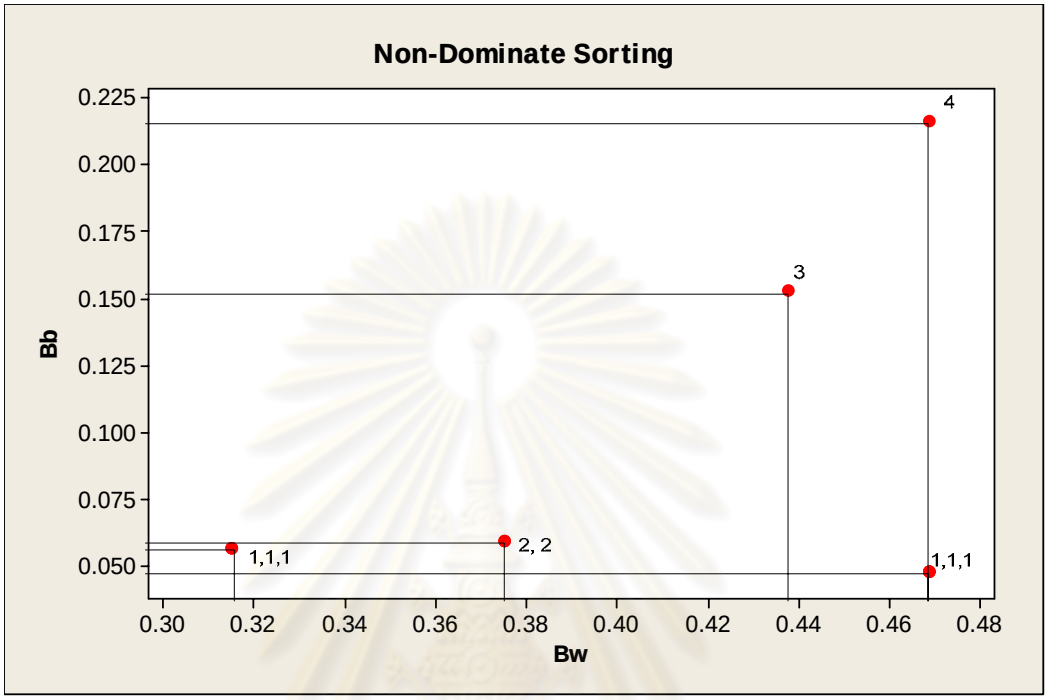
ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	Task Sequence
สตริงคำตอบเริ่มต้น(P)	1	[11 9 7 4 10 5 1 8 6 2 3]
	2	[11 9 7 4 10 5 1 8 6 2 3]
	3	[11 9 7 4 10 5 1 3 2 6 8]
	4	[1 4 11 10 8 5 6 3 7 2 9]
	5	[1 4 11 10 8 5 6 3 7 2 9]
สตริงคำตอบรุ่นลูก(Q)	6	[11 10 9 7 4 5 1 3 2 6 8]
	7	[11 10 8 6 1 4 5 3 7 2 9]
	8	[1 4 5 11 9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

จากลำดับขั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน จะนำมาคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ ซึ่งจะได้ค่าดังตารางที่ 4.45

ตารางที่ 4.45 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0478	0.4688
2	8	0.0478	0.4688
3	8	0.0478	0.4688
4	8	0.0564	0.3150
5	8	0.0564	0.3150
6	8	0.0596	0.3750
7	8	0.0596	0.3750
8	8	0.1529	0.4375
9	8	0.2160	0.4688
10	8	0.0564	0.3150

ใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และทำการคำนวณ Crowding Distance ได้ดังรูป 4.25 และตารางที่ 4.46



รูปที่ 4.26 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน

ตารางที่ 4.46 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	0.0478	0.4688	1	Infinity
2	0.0478	0.4688	1	Infinity
3	0.0478	0.4688	1	Infinity
4	0.0564	0.315	1	Infinity
5	0.0564	0.315	1	Infinity
6	0.0596	0.375	2	Infinity
7	0.0596	0.375	2	Infinity
8	0.1529	0.4375	3	Infinity
9	0.2160	0.4688	4	Infinity
10	0.0564	0.315	1	Infinity

ทำการเรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และภายใน Front ทำการเรียงค่าจามมากไปน้อยของค่า Crowding Distance ได้ดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	0.0478	0.4688	1	Infinity
4	0.0564	0.3150	1	Infinity
2	0.0478	0.4688	1	Infinity
3	0.0478	0.4688	1	Infinity
5	0.0564	0.3150	1	Infinity
10	0.0564	0.3150	1	Infinity
6	0.0596	0.3750	2	Infinity
7	0.0596	0.3750	2	Infinity
8	0.1529	0.4375	3	Infinity
9	0.2160	0.4688	4	Infinity

เมื่อทำการจัดเรียงเสร็จแล้ว จะทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบ จะทำการพิจารณาทีละ Front จากน้อยไปมาก เมื่อจัดเรียงเสร็จแล้ว จะทำการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบ และพิจารณาทีละ Front จากน้อยไปมาก จากตารางที่ 4.47 จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 6 ตัวที่มีค่าเท่ากับ 1 (Front) แต่สตริงคำตอบที่ได้จัดเก็บต้องมีไม่เกิน 5 ตัว จึงทำการคัดเลือกสตริงคำตอบออกมาเพียง 5 สตริงคำตอบดังนี้ เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนิน NSGA-II ในรอบถัดไป

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

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

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

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

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

4.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

4.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลอง

4.4.2 วิธีการคัดเลือดสตริง

วิธี Binary Tournament Selection เป็นวิธีการคัดเลือกคำตอบที่มีความแข็งแรงเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป ซึ่งพิจารณาจากค่าความแข็งแรงและความหนาแน่นร่วมกัน สตริงที่ได้รับอันดับที่ในการกำหนดให้จากวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดเป็นอันดับต่ำและมีความหนาแน่นมากระหว่างคำตอบในอันดับเดียวกัน จะมีโอกาสที่จะได้รับการคัดเลือกสูง

4.4.3 วิธีกำหนดค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบ

วิธี Crowding Distance เป็นการกำหนดค่าความหนาแน่น หรือค่าการแบ่งปันความแข็งแรง ในงานวิจัยนี้ได้ใช้วิธี ซึ่งเป็นการคำนวณระยะทางระหว่างสมาชิกประชากรคำตอบภายในอันดับเดียวกัน

4.4.4 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

4.4.5 วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover Method)

วิธี Weight Mapping Crossover เป็นวิธีการกำหนดค่าน้ำหนักให้คำสตริงคำตอบที่เป็นพ่อและแม่แล้วจึงทำการสุ่มเลือกตำแหน่งเพื่อสลับตำแหน่งกันจะทำให้ได้สตริงคำตอบที่เป็นรุ่นลูกซึ่งเป็นวิธีการครอสโอเวอร์ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด โดยจะมีความน่าจะเป็นในการหาค่าครอสโอเวอร์ซึ่งได้มีการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัญหาในหัวข้อต่อไป

4.4.6 วิธีการมิวเตชัน (Mutation Method)

วิธี Reciprocal Exchange Mutation เป็นวิธีการสุ่มตำแหน่งในสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกมาตามความน่าจะเป็นที่กำหนด โดยทำการสุ่มตำแหน่งมา 2 ตำแหน่งแล้วทำการสลับค่ากันเพื่อเตรียมเข้าสู่กระบวนการถัดไป ความน่าจะเป็นในการหามิวเตชันได้มีการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมในแต่ละปัญหาในหัวข้อต่อไป

4.5 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

4.5.1 การกำหนดข้อมูลที่ต้องการในการทดลอง

การทดลองในแต่ละระดับปัจจัยจะเก็บข้อมูลค่าวัตถุประสงค์ไว้ 3 วัตถุประสงค์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการหาค่าสมรรถนะของแต่ละการทดลองซึ่งในแต่ละการทดลองทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้งในหนึ่งการทดลอง โดยมีตัวชี้วัดสมรรถนะในการทดลองทั้งหมด 4 ตัวชี้วัด คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Computation Time to Solution)

4.5.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะที่ใช้ในการทดลอง

4.5.2.1 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

$$Convergence = \frac{1}{|S^*|} \;:\; d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}\right]^2} \qquad (4.8)$$

ซึ่ง S^* คือเซตคำตอบที่แท้จริง, $f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์, i ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ, d_{xy} เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ และ k คือจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นเป็นกลุ่มคำตอบที่ลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

4.5.2.2 **ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้** (Spread to the Pareto-Optimal Set)

$$Spread = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} \left| d_i - \bar{d} \right|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \tag{4.9}$$

ซึ่ง d_f และ d_l เป็นระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน d_i เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้, $\bar{d}$ เป็นค่าเฉลี่ยของระยะห่าง, N เป็นจำนวนคำตอบที่หาได้ ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่มีลักษณะการกระจายที่มีลักษณะสม่ำเสมอตลอดเส้นขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

4.5.2.3 **ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง** (Ratio of Non-Dominated Solution)

$$Ratio = \frac{\left| S_j - \left\{ x \in S_j \mid \exists y \in S : y \prec x \right\} \right|}{\left| S_j \right|} \tag{4.10}$$

ซึ่ง S_j เป็นเซตคำตอบที่ j, S เป็นการรวมกันของ j เซตคำตอบ, x คือคำตอบที่หาได้ในกลุ่มคำตอบที่หาได้ และ y คือคำตอบที่แท้จริงในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้จากอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่สามารถเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

4.5.2.2 **ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้** (Computation Time to Solution)

ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เป็นตัวชี้วัดด้านเวลาการหาคำตอบ โดยเปรียบเทียบที่จำนวนรอบในการทดลองที่เท่ากัน

4.5.3 การกำหนดรูปแบบการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการทดลอง แบบ Full Factorial Design มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาทั้งหมด 2 ปัจจัยและในแต่ละปัจจัยจะมีระดับปัจจัยไม่เท่ากัน โดยมีค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 ตัวเป็นตัวแปรตอบสนองในการทดลอง ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำของการทดลอง (Replication) เท่ากับ 2 ปัญหาการทดลองมีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ

1. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 11 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 20 เจนเนอเรชัน

2. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 25 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน

3. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 61 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 200 เจนเนอเรชัน

4. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 111 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 300 เจนเนอเรชัน

5. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 205 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

ตารางที่ 4.48 รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	4	ระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.6 ระดับที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.7 ระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.8 ระดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.9
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	4	ระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1 ระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.2 ระดับที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.3 ระดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.4

ในการทดลองอัลกอริทึม NSGA-II มีปัจจัยทั้งหมด 2 ปัจจัยและ Replication เท่ากับ 2 ดังนั้นจะมี Treatment Combination เท่ากับ $4 \times 4 \times 2 = 32$

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลองที่มีทั้งหมด 5 ปัญหา โดยจะทำการวิเคราะห์ความตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวคือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Computation Time to Solution) โดยจะวิเคราะห์ตามลำดับ

1. การวิเคราะห์ ANOVA เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยใดมีผลต่อการหาคำตอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์คู่ลำดับเป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าระดับปัจจัยใดมีความแตกต่างกับระดับปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์

4.6.1 ปัญหา 11 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัลกอริทึม NSGA-II โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.01907	0.01907	0.00636	0.26	0.853
Pm	3	0.02136	0.02136	0.00712	0.29	0.831
Pc*Pm	9	0.16848	0.16848	0.01872	0.77	0.649
Error	16	0.39120	0.39120	0.02445		
Total	31	0.60011				

S = 0.156365 R-Sq = 34.81% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 4.27 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to The Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for spead, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.12051	0.12051	0.04017	1.16	0.356
Pm	3	0.07394	0.07394	0.02465	0.71	0.560
Pc*Pm	9	0.27600	0.27600	0.03067	0.88	0.559
Error	16	0.55519	0.55519	0.03470		
Total	31	1.02564				

S = 0.186278 R-Sq = 45.87% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

One-way ANOVA: spead versus Pc

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Pc       3  0.1205  0.0402  1.24  0.313
Error   28  0.9051  0.0323
Total   31  1.0256

S = 0.1798   R-Sq = 11.75%   R-Sq(adj) = 2.29%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      8  0.7661  0.2196              (----------*----------)
2      8  0.6836  0.1641         (----------*----------)
3      8  0.7157  0.1618            (----------*---------)
4      8  0.5974  0.1673   (----------*----------)
                           -+---------+---------+---------+--------
                          0.48      0.60      0.72      0.84

Pooled StDev = 0.1798
```

รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 4.28 – 4.29 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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  0.22938  0.22937  0.07646  1.12  0.370
Pm       3  0.53797  0.53797  0.17932  2.63  0.086
Pc*Pm    9  0.35210  0.35210  0.03912  0.57  0.800
Error   16  1.09113  1.09113  0.06820
Total   31  2.21058

S = 0.261143   R-Sq = 50.64%   R-Sq(adj) = 4.37%
```

รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

One-way ANOVA: spead versus Pc

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Pc       3  0.1205  0.0402  1.24  0.313
Error   28  0.9051  0.0323
Total   31  1.0256

S = 0.1798   R-Sq = 11.75%   R-Sq(adj) = 2.29%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      8  0.7661  0.2196              (----------*----------)
2      8  0.6836  0.1641         (----------*----------)
3      8  0.7157  0.1618            (----------*---------)
4      8  0.5974  0.1673   (----------*----------)
                          -+---------+---------+---------+--------
                         0.48      0.60      0.72      0.84

Pooled StDev = 0.1798
```

รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

One-way ANOVA: spead versus Pm

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Pm       3  0.0739  0.0246  0.73  0.546
Error   28  0.9517  0.0340
Total   31  1.0256

S = 0.1844   R-Sq = 7.21%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev ---------+---------+---------+---------+
1      8  0.6251  0.2123 (----------*----------)
2      8  0.7595  0.1506            (----------*----------)
3      8  0.6789  0.1416      (-----------*----------)
4      8  0.6992  0.2194        (----------*----------)
                          ---------+---------+---------+---------+
                                  0.60      0.72      0.84      0.96

Pooled StDev = 0.1844
```

รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 11 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

จากรูปที่ 4.30 - 4.32 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จาก

ตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยสุดคือ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) คือ 0.7 และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) คือ 0.3

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.49

ตารางที่ 4.49 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II

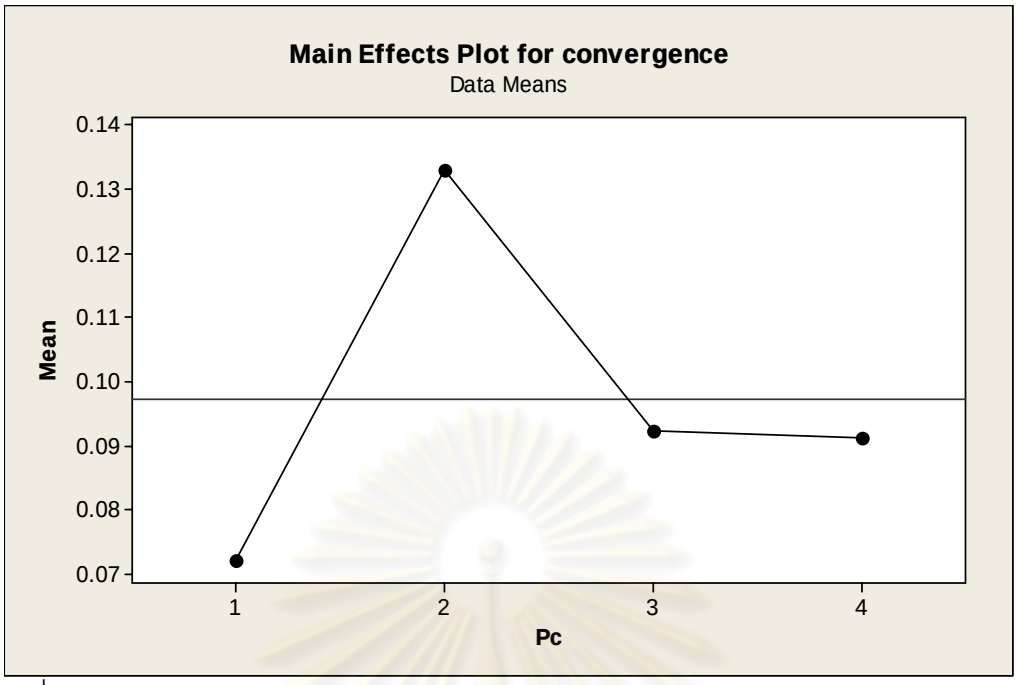
ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	0.70
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)	0.30

4.6.2 ปัญหา 25 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัลกอริทึม NSGA-II โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS     F      P
Pc       3  0.0157135  0.0157135  0.0052378  5.75  0.007
Pm       3  0.0012213  0.0012213  0.0004071  0.45  0.723
Pc*Pm    9  0.0469656  0.0469656  0.0052184  5.73  0.001
Error   16  0.0145812  0.0145812  0.0009113
Total   31  0.0784815

S = 0.0301881   R-Sq = 81.42%   R-Sq(adj) = 64.00%
```

รูปที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 4.33 – 4.34 พบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอย่างมีนัยสำคัญ

One-way ANOVA: convergence versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.01571	0.00524	2.34	0.095
Error	28	0.06277	0.00224		
Total	31	0.07848			

S = 0.04735 R-Sq = 20.02% R-Sq(adj) = 11.45%

Level	N	Mean	StDev
1	8	0.07215	0.01339
2	8	0.13293	0.08235
3	8	0.09231	0.03649
4	8	0.09116	0.02596

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
(---------*--------)
                  (---------*---------)
         (--------*---------)
        (---------*---------)
---------+---------+---------+---------+
       0.070     0.105     0.140     0.175
```

Pooled StDev = 0.04735

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.01962	0.01962	0.00654	0.28	0.842
Pm	3	0.08306	0.08306	0.02769	1.17	0.353
Pc*Pm	9	0.64924	0.64924	0.07214	3.04	0.025
Error	16	0.37960	0.37960	0.02372		
Total	31	1.13152				

S = 0.154029 R-Sq = 66.45% R-Sq(adj) = 35.00%

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 4.35 – 4.36 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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	4	0.142432	0.142432	0.035608	**	
Pm	4	0.065057	0.065057	0.016264	**	
Pc*Pm	16	0.347208	0.347208	0.021700	**	
Error	25	0.000000	0.000000	0.000000		
Total	49	0.554696				

** Denominator of F-test is zero.

S = 6.062203E-17 R-Sq = 100.00% R-Sq(adj) = 100.00%

รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

จากรูปที่ 4.37 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยสุดคือ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) คือ 0.6 และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) คือ 0.4

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.50

ตารางที่ 4.50 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	0.60
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)	0.40

4.6.3 ปัญหา 61 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัลกอริทึม โดยการใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS    F      P
Pc       3  0.015484  0.015484  0.005161  0.88  0.473
Pm       3  0.003586  0.003586  0.001195  0.20  0.892
Pc*Pm    9  0.008198  0.008198  0.000911  0.15  0.996
Error   16  0.094023  0.094023  0.005876
Total   31  0.121291

S = 0.0766578   R-Sq = 22.48%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

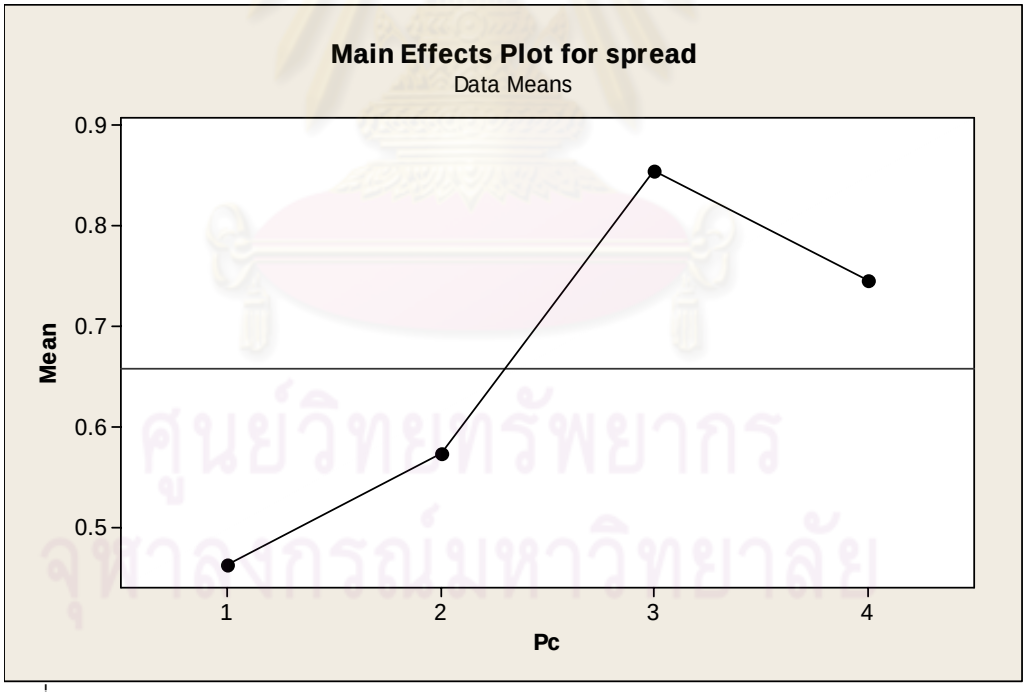
จากรูปที่ 4.38 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.73242	0.73242	0.24414	15.53	0.000
Pm	3	0.06527	0.06527	0.02176	1.38	0.284
Pc*Pm	9	0.16287	0.16287	0.01810	1.15	0.386
Error	16	0.25156	0.25156	0.01572		
Total	31	1.21213				

S = 0.125390 R-Sq = 79.25% R-Sq(adj) = 59.79%

รูปที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

One-way ANOVA: spread versus Pc

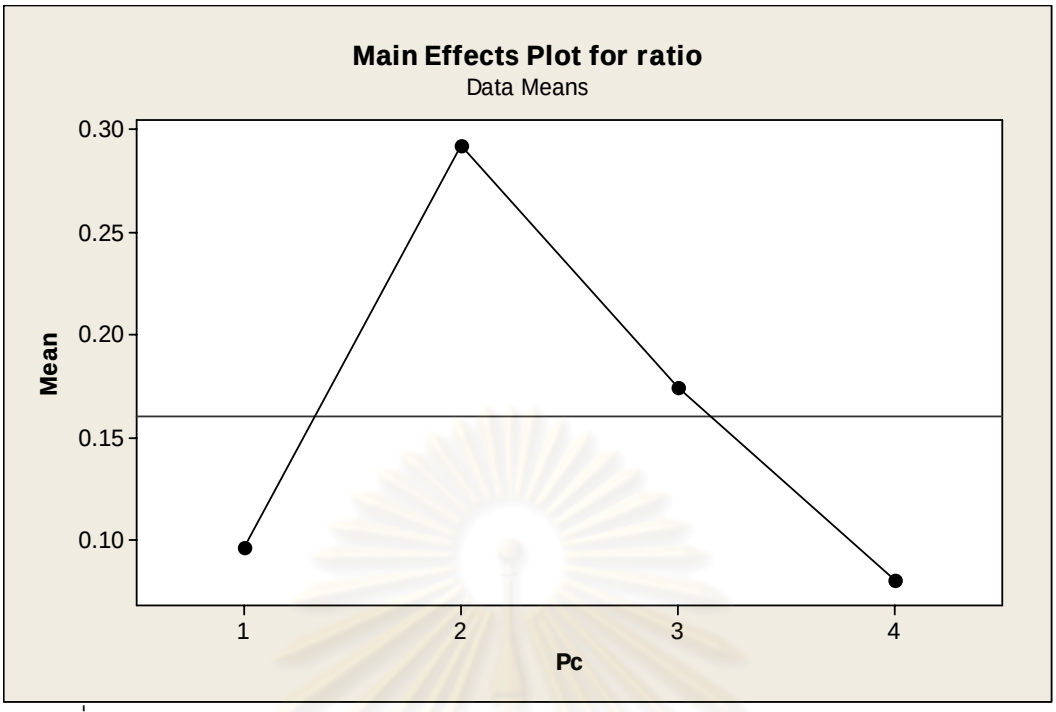
```
Source  DF      SS      MS      F      P
Pc       3  0.7324  0.2441  14.25  0.000
Error   28  0.4797  0.0171
Total   31  1.2121

S = 0.1309   R-Sq = 60.42%   R-Sq(adj) = 56.18%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      8  0.4630  0.1392  (-----*-----)
2      8  0.5728  0.1729        (-----*------)
3      8  0.8547  0.0759                        (-----*-----)
4      8  0.7450  0.1162                   (------*-----)
                          -----+---------+---------+---------+----
                             0.45      0.60      0.75      0.90

Pooled StDev = 0.1309
```

รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

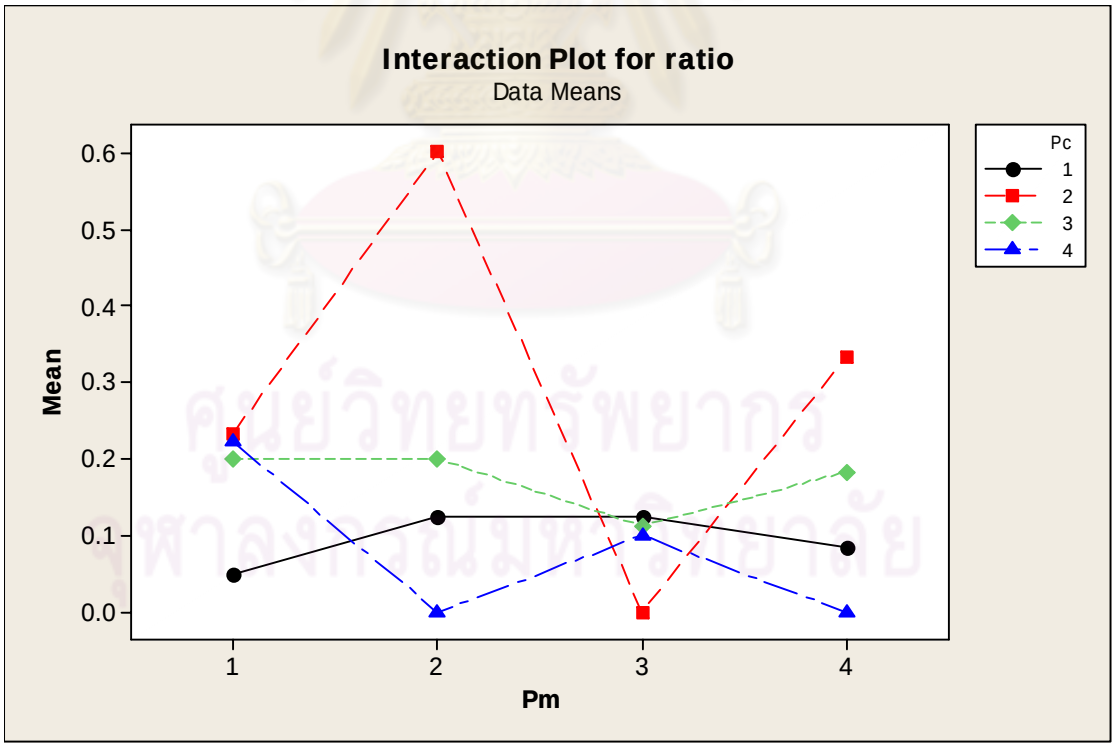
จากรูปที่ 4.49 - 4.41 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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  0.223665  0.223665  0.074555  7.65  0.002
Pm       3  0.089306  0.089306  0.029769  3.06  0.059
Pc*Pm    9  0.366439  0.366439  0.040715  4.18  0.006
Error   16  0.155832  0.155832  0.009740
Total   31  0.835241

S = 0.0986890   R-Sq = 81.34%   R-Sq(adj) = 63.85%
```

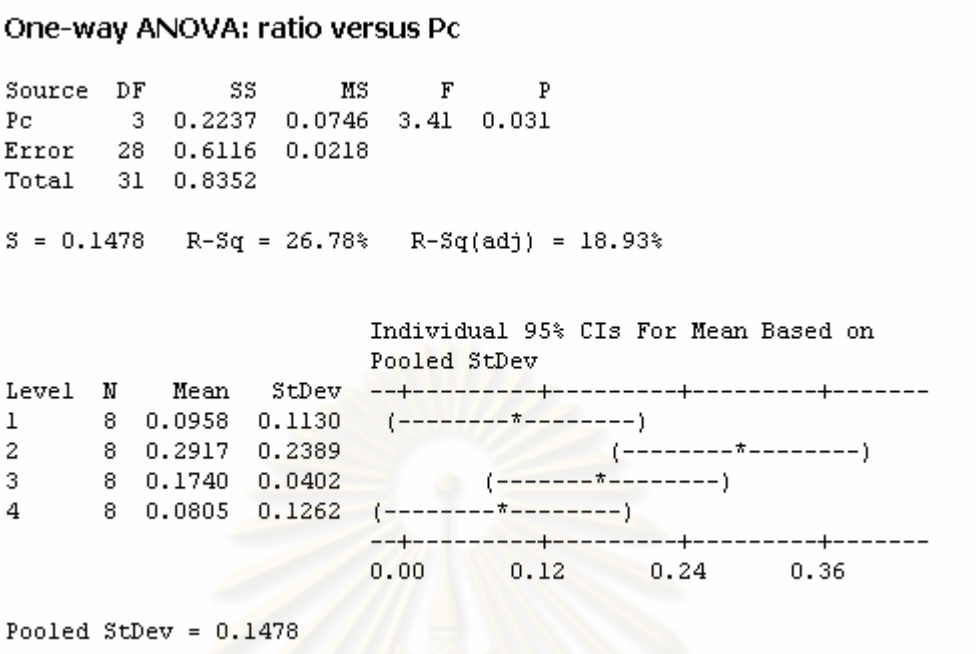
รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.43 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.44 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



One-way ANOVA: ratio versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.2237	0.0746	3.41	0.031
Error	28	0.6116	0.0218		
Total	31	0.8352			

S = 0.1478 R-Sq = 26.78% R-Sq(adj) = 18.93%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	8	0.0958	0.1130	(--------*--------)
2	8	0.2917	0.2389	(--------*--------)
3	8	0.1740	0.0402	(-------*--------)
4	8	0.0805	0.1262	(--------*--------)

0.00 0.12 0.24 0.36

Pooled StDev = 0.1478

รูปที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 61 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

จากรูปที่ 4.42 – 4.45 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยสุดคือ ความน่าจะเป็นการครอสโอเวอร์ (Pc) คือ 0.60 และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) คือ 0.40

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.51

ตารางที่ 4.51 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	0.60

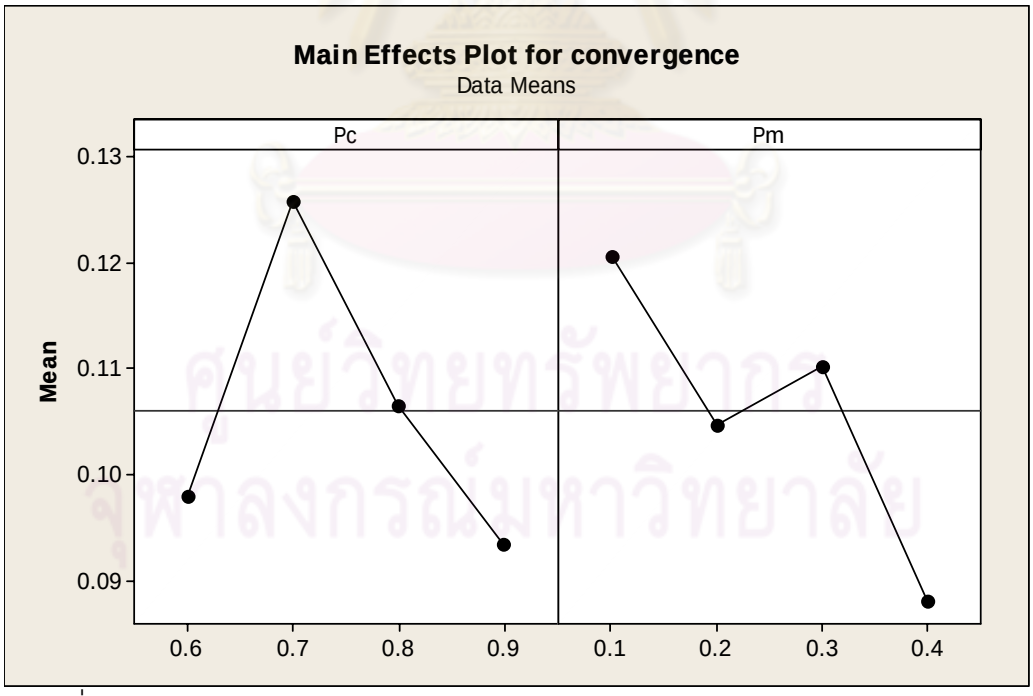
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)	0.40

4.6.4 ปัญหา 111 ขั้นงาน

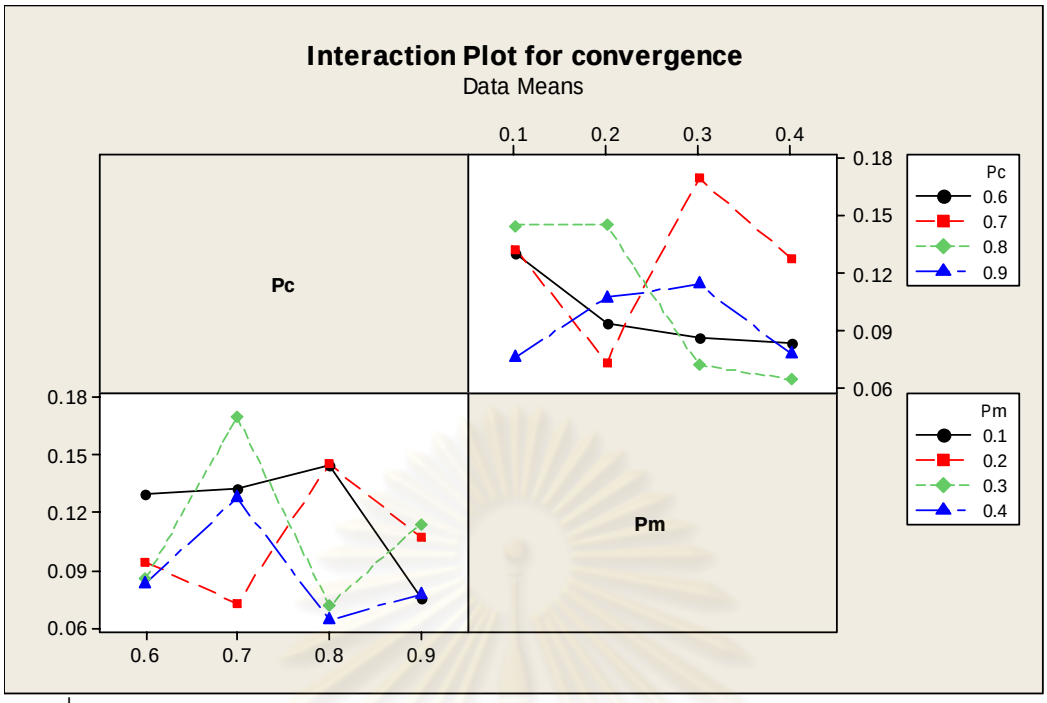
วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัลกอริทึม โดยการใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF     Seq SS     Adj SS     Adj MS      F      P
Pc       3  0.0049021  0.0049021  0.0016340  18.37  0.000
Pm       3  0.0044291  0.0044291  0.0014764  16.59  0.000
Pc*Pm    9  0.0223118  0.0223118  0.0024791  27.86  0.000
Error   16  0.0014235  0.0014235  0.0000890
Total   31  0.0330666

S = 0.00943244   R-Sq = 95.69%   R-Sq(adj) = 91.66%
```

รูปที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set



รูปที่ 4.48 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

One-way ANOVA: convergence versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.00490	0.00163	1.62	0.206
Error	28	0.02816	0.00101		
Total	31	0.03307			

S = 0.03172 R-Sq = 14.82% R-Sq(adj) = 5.70%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+---------+---------+---------+----
1	8	0.09808	0.02046	(----------*----------)
2	8	0.12588	0.03902	(----------*----------)
3	8	0.10650	0.04155	(----------*----------)
4	8	0.09356	0.01887	(----------*----------)
				-----+---------+---------+---------+----
				0.080 0.100 0.120 0.140

Pooled StDev = 0.03172

รูปที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

One-way ANOVA: convergence versus Pm

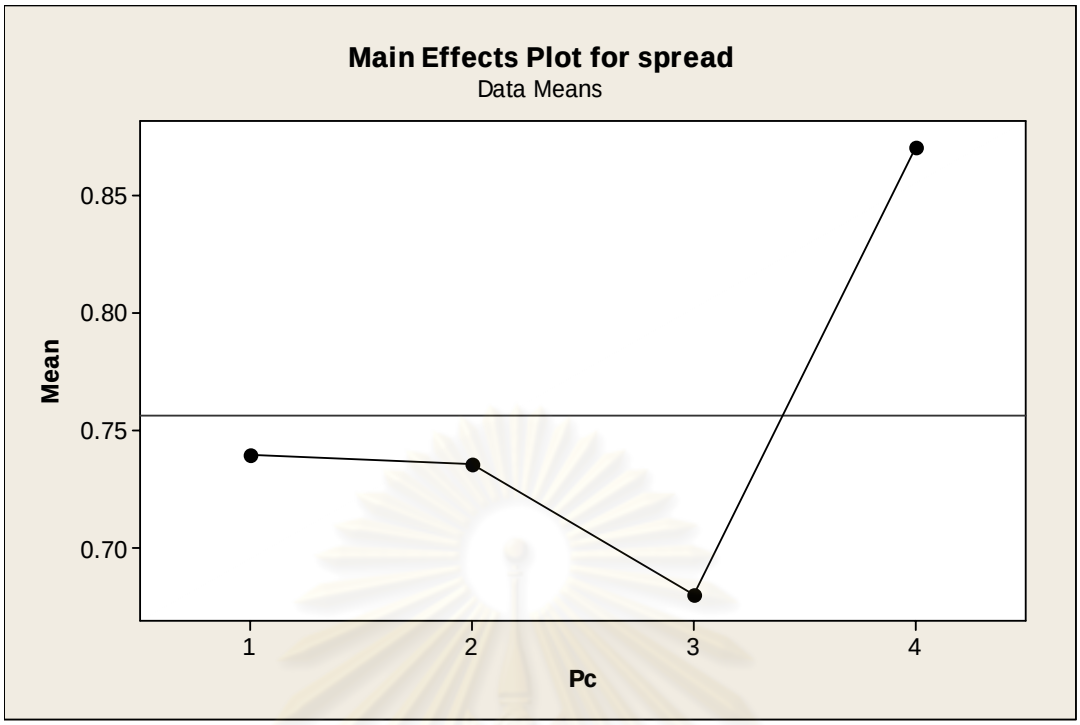
```
Source  DF       SS       MS     F      P
Pm       3  0.00443  0.00148  1.44  0.251
Error   28  0.02864  0.00102
Total   31  0.03307

S = 0.03198   R-Sq = 13.39%   R-Sq(adj) = 4.12%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      8  0.12071  0.02947                (----------*-----------)
2      8  0.10476  0.02834          (----------*-----------)
3      8  0.11034  0.04179            (----------*-----------)
4      8  0.08820  0.02595  (----------*-----------)
                             -------+---------+---------+---------+--
                                  0.080     0.100     0.120     0.140

Pooled StDev = 0.03198
```

รูปที่ 4.50 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

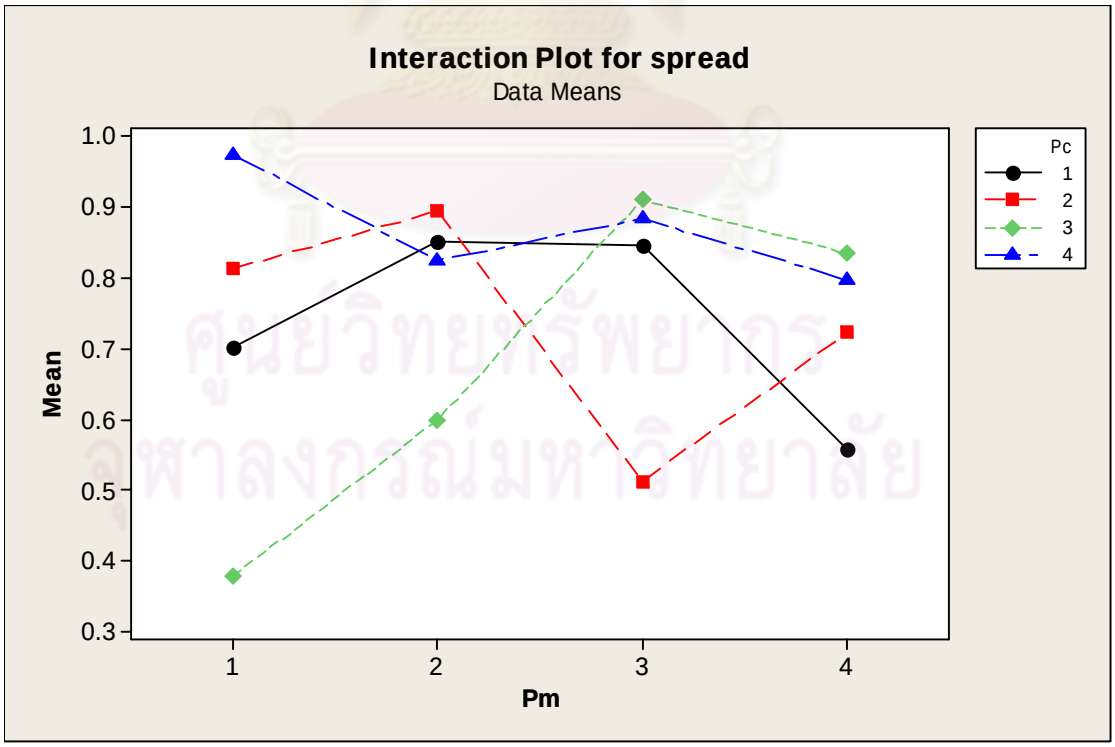
จากรูปที่ 4.46 - 4.50 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F      P
Pc       3  0.15529  0.15529  0.05176  4.92  0.013
Pm       3  0.03716  0.03716  0.01239  1.18  0.349
Pc*Pm    9  0.62928  0.62928  0.06992  6.65  0.001
Error   16  0.16834  0.16834  0.01052
Total   31  0.99007

S = 0.102573   R-Sq = 83.00%   R-Sq(adj) = 67.06%
```

รูปที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set



รูปที่ 4.52 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set



รูปที่ 4.53 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

One-way ANOVA: spread versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.1553	0.0518	1.74	0.182
Error	28	0.8348	0.0298		
Total	31	0.9901			

S = 0.1727 R-Sq = 15.68% R-Sq(adj) = 6.65%

Level	N	Mean	StDev
1	8	0.7394	0.1794
2	8	0.7357	0.1624
3	8	0.6805	0.2270
4	8	0.8701	0.0959

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
----+---------+---------+---------+-----
    (----------*---------)
    (---------*----------)
(----------*---------)
                  (----------*---------)
----+---------+---------+---------+-----
  0.60      0.72      0.84      0.96
```

Pooled StDev = 0.1727

รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

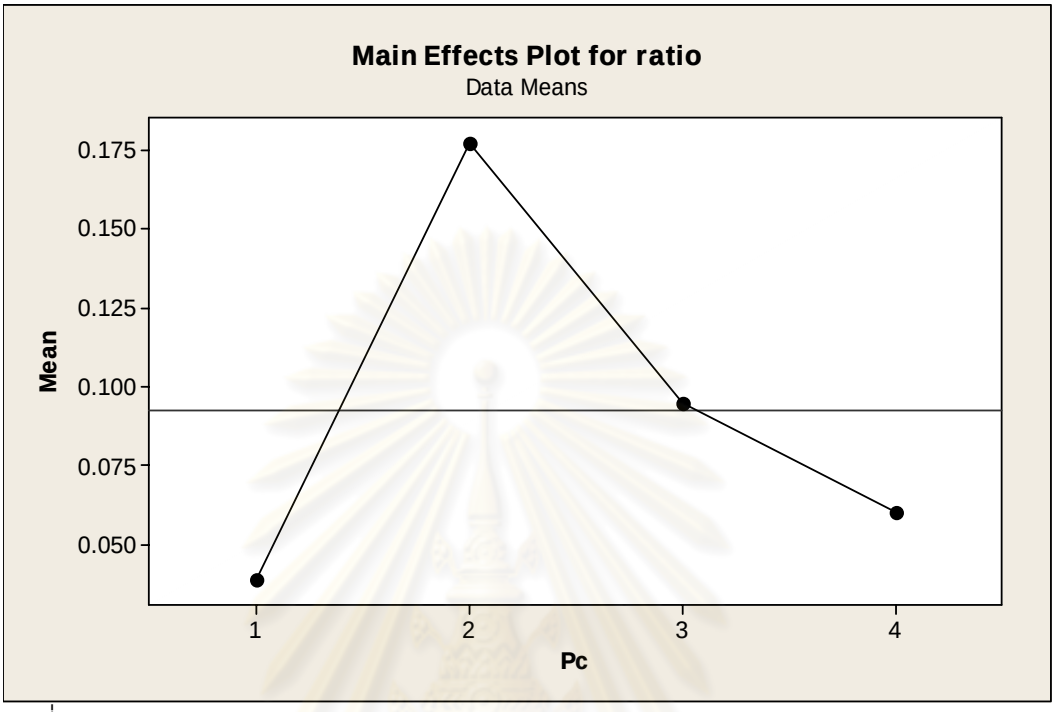
จากรูปที่ 4.51 – 4.54 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

Analysis of Variance for ratio, using Adjusted SS for Tests

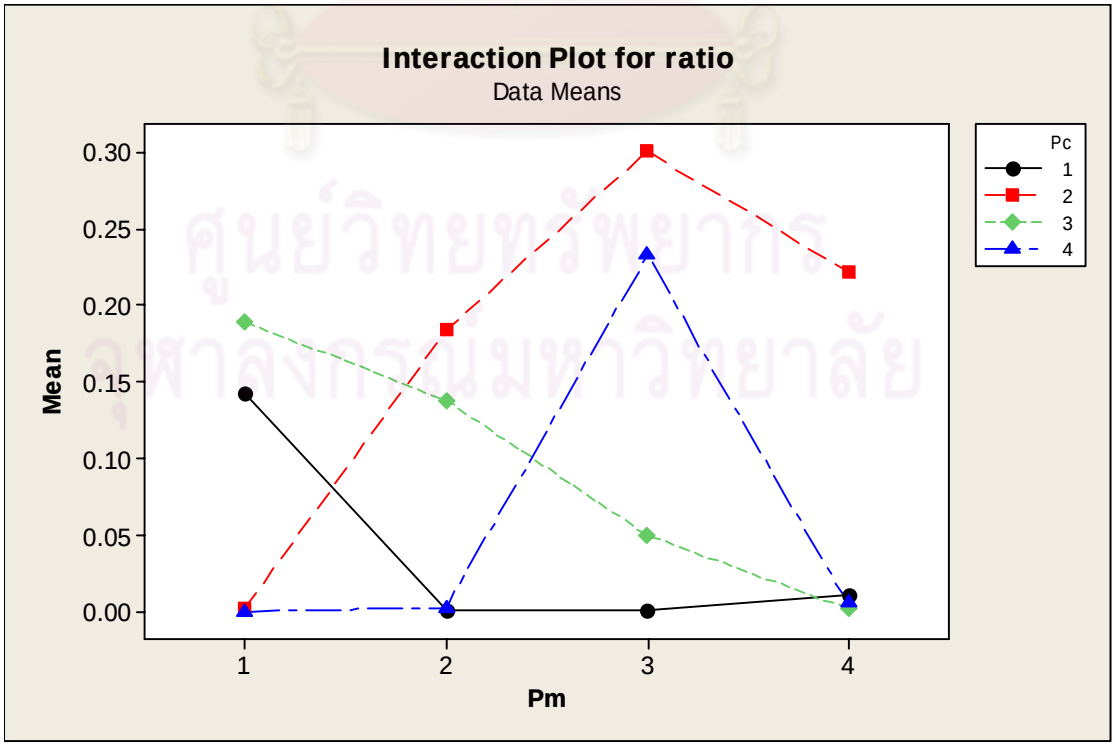
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.088202	0.088202	0.029401	8.51	0.001
Pm	3	0.032914	0.032914	0.010971	3.17	0.053
Pc*Pm	9	0.212967	0.212967	0.023663	6.85	0.000
Error	16	0.055309	0.055309	0.003457		
Total	31	0.389392				

S = 0.0587948 R-Sq = 85.80% R-Sq(adj) = 72.48%

รูปที่ 4.55 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.56 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.57 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

One-way ANOVA: ratio versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.0882	0.0294	2.73	0.062
Error	28	0.3012	0.0108		
Total	31	0.3894			

S = 0.1037 R-Sq = 22.65% R-Sq(adj) = 14.36%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	-----+---------+---------+---------+----
1	8	0.0389	0.0646	(---------*--------)
2	8	0.1768	0.1353	(--------*--------)
3	8	0.0947	0.0834	(---------*--------)
4	8	0.0603	0.1166	(---------*--------)

-----+---------+---------+---------+----
0.000 0.080 0.160 0.240

Pooled StDev = 0.1037

รูปที่ 4.58 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

จากรูปที่ 4.55 - 4.58 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยสุดคือ ความน่าจะเป็นการครอสโอเวอร์ (Pc) คือ 0.60 และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) คือ 0.40

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.52

ตารางที่ 4.52 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	0.60
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)	0.40

4.6.5 ปัญหา 205 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่ออัลกอริทึม โดยการใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal set)

Analysis of Variance for convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.14197	0.14197	0.04732	2.08	0.143
Pm	3	0.04573	0.04573	0.01524	0.67	0.583
Pc*Pm	9	0.17196	0.17196	0.01911	0.84	0.592
Error	16	0.36388	0.36388	0.02274		
Total	31	0.72354				

S = 0.150806 R-Sq = 49.71% R-Sq(adj) = 2.56%

รูปที่ 4.59 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-optimal set

จากรูปที่ 4.59 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for spread, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.08740	0.08740	0.02913	1.78	0.192
Pm	3	0.07892	0.07892	0.02631	1.60	0.228
Pc*Pm	9	0.82607	0.82607	0.09179	5.59	0.001
Error	16	0.26250	0.26250	0.01641		
Total	31	1.25488				

S = 0.128086 R-Sq = 79.08% R-Sq(adj) = 59.47%

รูปที่ 4.60 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to the Pareto-optimal set

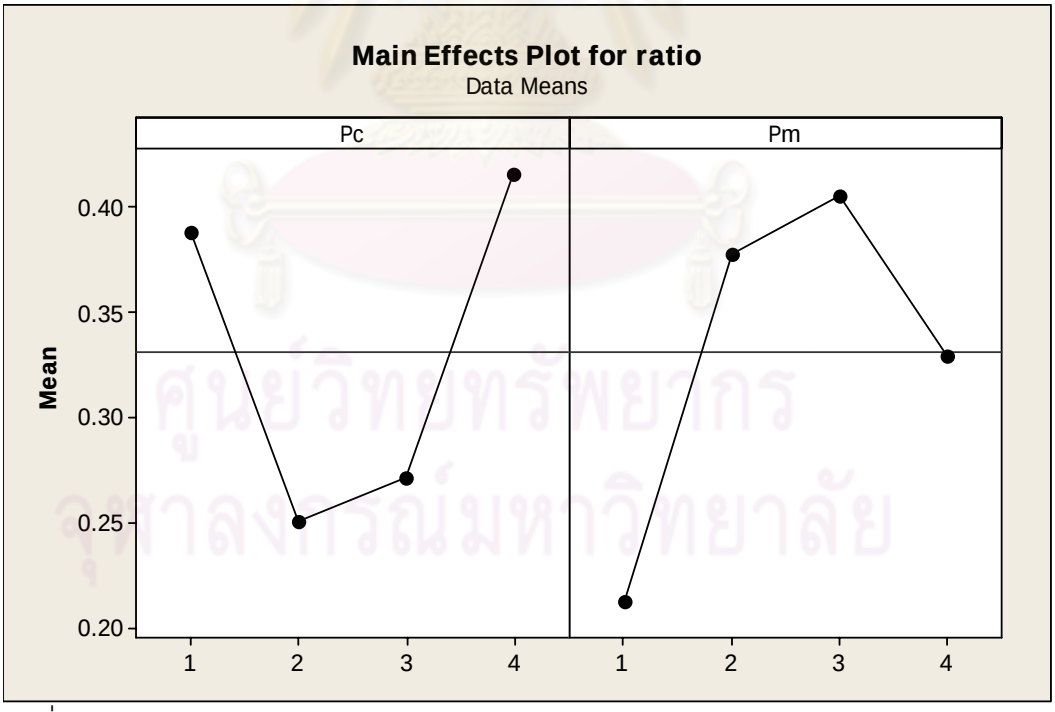
จากรูปที่ 4.60 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

Analysis of Variance for ratio, using Adjusted SS for Tests

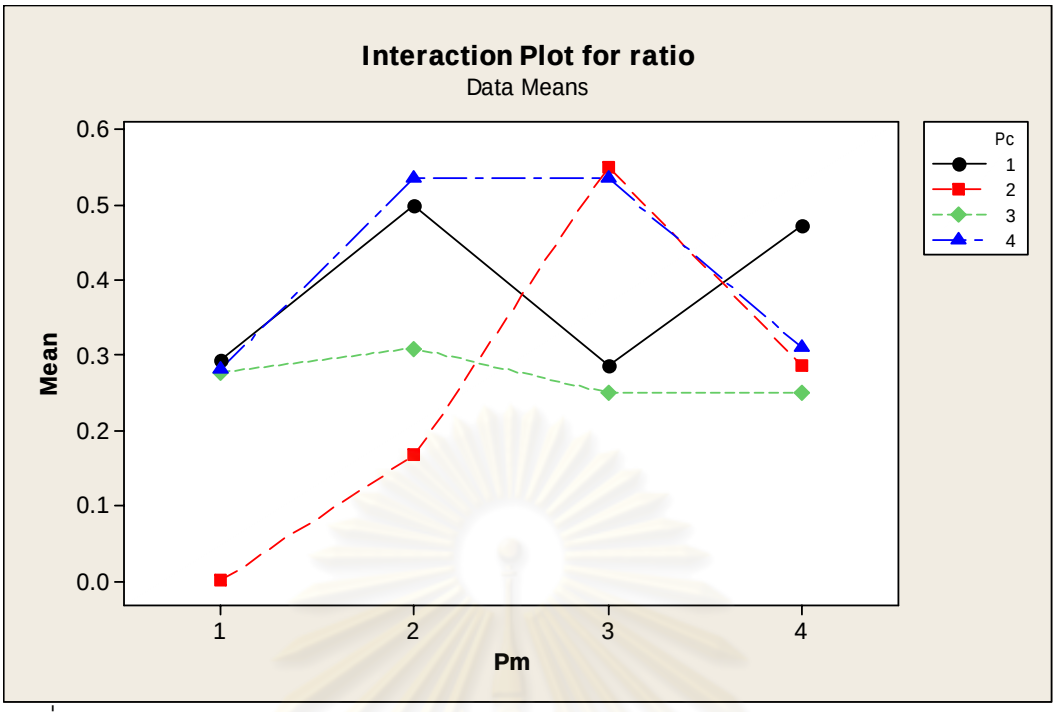
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Pc	3	0.162736	0.162736	0.054245	42.83	0.000
Pm	3	0.173251	0.173251	0.057750	45.60	0.000
Pc*Pm	9	0.346514	0.346514	0.038502	30.40	0.000
Error	16	0.020264	0.020264	0.001267		
Total	31	0.702766				

S = 0.0355882 R-Sq = 97.12% R-Sq(adj) = 94.41%

รูปที่ 4.61 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.62 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



รูปที่ 4.63 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

One-way ANOVA: ratio versus Pc

Source	DF	SS	MS	F	P
Pc	3	0.1627	0.0542	2.81	0.058
Error	28	0.5400	0.0193		
Total	31	0.7028			

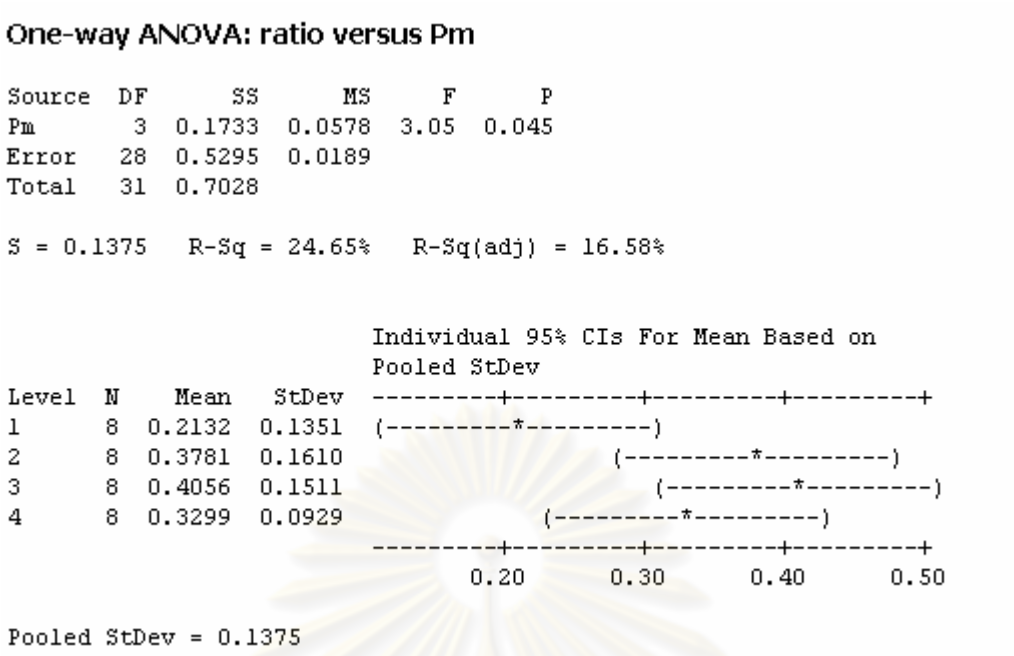
S = 0.1389 R-Sq = 23.16% R-Sq(adj) = 14.92%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

Level	N	Mean	StDev	----+---------+---------+---------+----
1	8	0.3880	0.1066	(---------*---------)
2	8	0.2511	0.2160	(---------*---------)
3	8	0.2718	0.0416	(---------*---------)
4	8	0.4159	0.1320	(---------*---------)
				----+---------+---------+---------+----
				0.20 0.30 0.40 0.50

Pooled StDev = 0.1389

รูปที่ 4.64 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution



One-way ANOVA: ratio versus Pm

Source	DF	SS	MS	F	P
Pm	3	0.1733	0.0578	3.05	0.045
Error	28	0.5295	0.0189		
Total	31	0.7028			

S = 0.1375 R-Sq = 24.65% R-Sq(adj) = 16.58%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	8	0.2132	0.1351	(---------*---------)
2	8	0.3781	0.1610	(---------*---------)
3	8	0.4056	0.1511	(---------*---------)
4	8	0.3299	0.0929	(---------*---------)

0.20 0.30 0.40 0.50

Pooled StDev = 0.1375

รูปที่ 4.65 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 205 ขั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution

จากรูปที่ 4.61 - 4.65 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อย่างมีนัยสำคัญทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณเนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด พบว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยสุดคือ ความน่าจะเป็นการครอสโอเวอร์ (Pc) คือ 0.60 และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) คือ 0.40

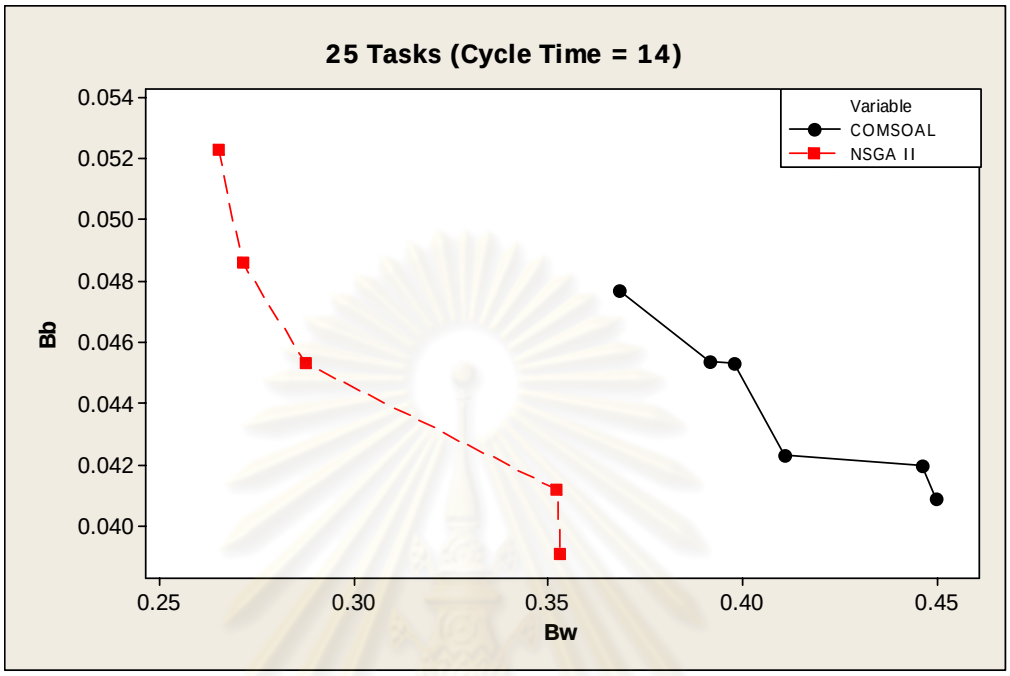
จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 4.53

ตารางที่ 4.53 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	0.60
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)	0.40

4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

เปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึม NSGA-II กับอัลกอริทึม COMSOAL ดังรูปที่ 4.65



รูปที่ 4.66 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL และ NSGA-II

4.8 สรุป

ในบทนี้เป็นทฤษฎีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ของอัลกอริทึม NSGA-II ซึ่งเป็นพื้นฐานในการนำวิธีต่างๆ มาใช้การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยทฤษฎีนี้มีการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดและใช้วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ทำให้ได้ผลลัพธ์ที่ตอบสนองต่อการตัดสินใจมากขึ้น ถึงแม้ว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวจะเป็นวิธีทางฮิวริสติก ซึ่งมีการกำหนดค่าสิทธิ์เลือกงานก่อนในการหาสตริงคำตอบแล้วจึงทำการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยผ่านกระบวนการคัดเลือกสตริงคำตอบ การครอสโอเวอร์ การมิวเตชัน และจึงทำการรวมสตริงคำตอบที่ได้รุ่นพ่อแม่และรุ่นลูกเพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดอีกครั้งหนึ่ง แล้วจึงเก็บค่าสตริงคำตอบที่ได้เพื่อใช้ในรอบถัดไป ทำจนครบทุกเจนเนอเรชัน จนได้คำตอบที่ดีที่สุด จากขั้นตอนที่กล่าวมาทำให้ได้ค่าสตริงคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยวิธีนี้ได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน และจากการเปรียบเทียบคำตอบกับอัลกอริทึม COMSOAL จะเห็นได้ว่ามีการลู่เข้าที่ดีกว่า เนื่องจากขั้นตอนของการหาคำตอบของอัลกอริทึม NSGA-II มีกระบวนการหาที่มีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึม COMSOAL

การกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเตชันจากการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 4.54 ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเตชัน

ปัญหาที่ใช้	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc)	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm)
11 ขั้นงาน (Jackson, 1956)	0.7	0.3
25 ขั้นงาน (Vilarinho and Simaria ,2002)	0.6	0.4
36 ขั้นงาน (Kim et al., 2006)	0.6	0.4
111 ขั้นงาน (Arcus, 1963)	0.6	0.4
205 ขั้นงาน (Scholl et al., 2007)	0.6	0.4

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค
(Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

5.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO) เป็นการจำลองพฤติกรรมของฝูงนกที่บินไปเป็นกลุ่มด้วยกัน มีการทำงานเป็นแบบสุ่มและทำงานด้วยกลุ่มประชากรที่มีพฤติกรรมทางสังคม วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค นี้ได้รับความนิยมในการประยุกต์ใช้ในด้านอุตสาหกรรมเป็นอย่างมาก และได้ถูกคิดค้นโดย Kennedy and Eberthart (1995)

5.2 หลักการวิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization Algorithm : PSO) เป็นอัลกอริทึมที่ได้จากการเคลื่อนที่ของฝูงนกหรือฝูงปลา ซึ่งการเคลื่อนที่ทั้งสองเป็นการเคลื่อนที่แบบกลุ่มย่อยๆ ที่เคลื่อนที่ไปตามเวลา โดยปลาหรือนกสามารถเคลื่อนที่ไปเป็นฝูงแยกตัวออกจากฝูง หรือรวมตัวกลับเข้ามาในฝูงอีกครั้งได้ ซึ่ง Kennedy and Eberhart (1995) ได้อธิบายเอาไว้ว่าการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคเป็นการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบสุ่ม (Stochastic) เป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมโดยอาศัยพื้นฐานของความน่าจะเป็น โดยได้รับแรงจูงใจมาจากพฤติกรรมทางสังคมในการอพยพของฝูงนก และการเรียนรู้ของฝูงปลา ที่อาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร แต่ละตัวดำเนินการเรียกว่า “อนุภาค (Particle)” ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Velocity) ได้ อนุภาคนี้จะรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่ม บินอยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหาระหว่างบิน อนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่งของอนุภาคใกล้เคียงที่บินผ่านมาแล้ว เพื่อใช้หาทิศทางการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization) ขึ้นเพื่อใช้ในปัญหาการจัดตารางระบบผลิต (Liao et al., 2007)

อัลกอริทึม DPSO เป็นการพัฒนามาจากวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค PSO ซึ่งเป็นการดำเนินงานตามความสัมพันธ์ของงาน ในอัลกอริทึม DPSO จะมีประสิทธิภาพมากในการคำนวณความเร็วของอนุภาคและมีการพัฒนาการย้ายอนุภาคให้ดีในลำดับงานใหม่

5.3 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนาน

1. การเตรียมข้อมูล (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในวิธี DPSO เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน รวมถึงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

การสร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize Generator) เป็นการสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในการเลือกเส้นทาง ซึ่งค่าในตารางเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ 0 โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เมื่อ n คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมดต้องไป

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Representation & Initialization)

สร้างสตริงคำตอบเบื้องตันเป็นการสุ่มเลือกเส้นทางจากตารางทิศทางการเดิน โดยทำการสุ่มเลือกที่ละตัว โดยใช้วิธีการสุ่มจำนวน Swarm ฝูงๆ ละ Particle ตัว ด้วยกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

3. การประเมินค่า (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

4. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้คำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

การคัดเลือกคำตอบเป็นการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) และคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุดในประชากรทั้งหมด (Global Best Solution : Gbest) โดยการคัดเลือกจากคำตอบที่ทำการจักกลุ่มแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting แล้วโดยเลือกกลุ่มที่น้อยที่สุดในแต่ละฝูงมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละฝูง (Lbest) และกลุ่มที่น้อยที่สุดของประชากรมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุดในประชากรทั้งหมด (Gbest) และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในประชากรทั้งหมดโดยเลือกเฉพาะกลุ่มที่ดีสุดในประชากรในการเก็บค่า

6. การปรับปรุงตาราง (Update Matrix)

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

6.1 การกำหนดค่าอนุภาค

การกำหนดค่าอนุภาคเป็นปัญหาการจัดแบบ Flowshop โดยจะแสดงลำดับงาน n เป็นตัวแปร โดยอัลกอริทึม PSO จะมีขั้นตอนการทำแบบ “Job-to-Position” สำหรับอนุภาค โดยค่าอนุภาคที่ได้จะอยู่ในรูปของตารางตำแหน่ง (Position Matrix)

6.2 การปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

กำหนดให้ Velocity ของอนุภาคเป็นค่า i คือ $V_i^t = \left(v_{i11}^t, v_{i12}^t, ..., v_{iinn}^t\right), v_{jki}^t \in R$ เมื่อ v_{ijk}^t คือ Velocity ของงานที่ j ของอนุภาคที่ i

การเคลื่อนที่ของ Velocity ของอนุภาคสามารถเขียนสมการได้ดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 \left(P_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) + c_2 r_2 \left(G_{(i,j)} - X_{(i,j)}\right) \quad (5.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (5.2)$$

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 (5.1) จะเป็นสมการการปรับปรุงค่าการเคลื่อนที่ ส่วนสมการที่ (5.2) จะเป็นการอัพเดทสมการที่ (5.1) จากนั้นทำการปรับค่าในตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคให้เป็นค่าความน่าจะเป็นโดยใช้ Sigmoid Function เพื่อใช้ในการสุ่มสตริงคำตอบในรอบถัดไป โดยตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่ได้ในรอบนี้ จะกลายเป็นตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในรอบก่อนหน้า เมื่อทำการพิจารณาในรอบถัดไป

6.3 Sigmoid Function

อนุภาคแต่ละอนุภาคจะทำการเคลื่อนย้ายตามการเปลี่ยนแปลงที่ได้จากการปรับปรุงสมการ (5.1) ซึ่งถ้าค่าการเคลื่อนที่มีค่าสูงจะสามารถทำการเลือกได้ดีกว่าค่าที่มีค่าต่ำ ดังนั้นจึงได้กำหนดเงื่อนไขในการเลือกของแต่ละอนุภาคโดยใช้สมการที่ (5.3) ทำการปรับปรุงค่าการเคลื่อนที่ที่จะใช้ในการเลือกให้มีค่าอยู่ระหว่าง [0,1]

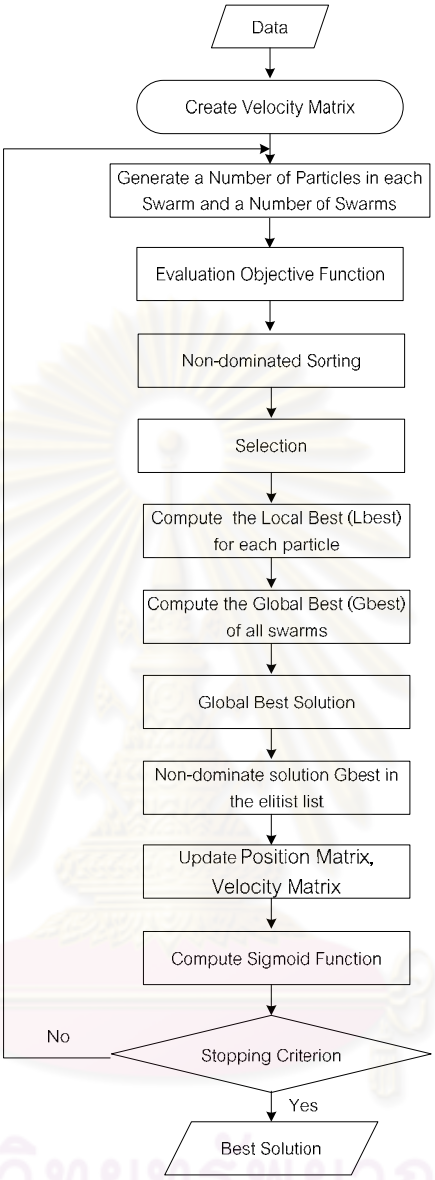
$$s\left(V_{(i,j)}\right)=\frac{1}{1+\exp\left(-V_{(i,j)}\right)} \tag{5.3}$$

7. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

8. สิ้นสุดกระบวนการ (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการทำงานของ DPSO

5.4 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากขั้นตอนของวิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

5.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

5.4.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ DPSO ที่ใช้ในตัวอย่าง

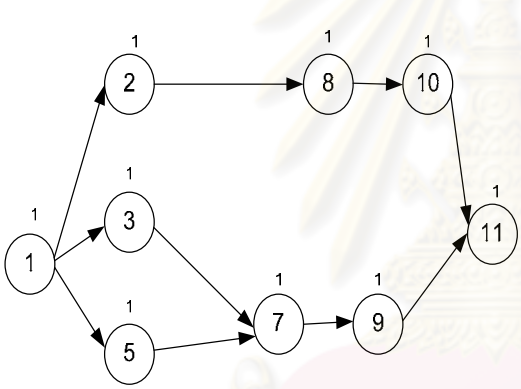
1. จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3

2. จำนวนฝูง (Number of Swarms) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2

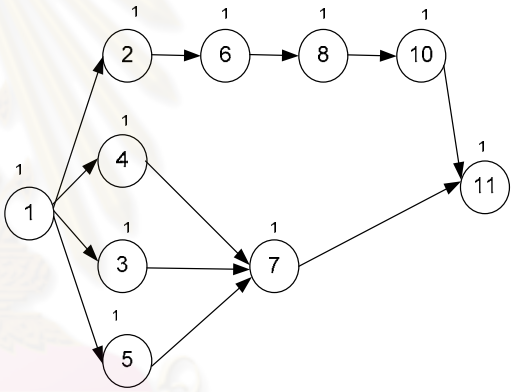
3. น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

4. ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1

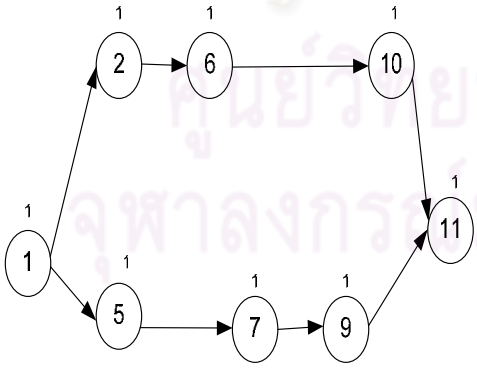
5.4.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูป



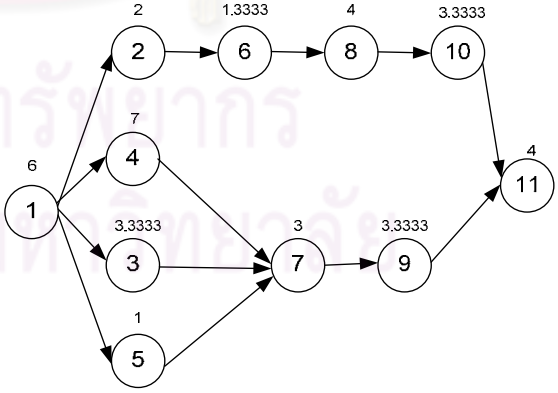
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 5.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

5.4.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงานขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

5.4.1.4 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 5.2 จะได้ดังตารางที่ 5.2-5.3

ตารางที่ 5.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

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

ตารางที่ 5.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 สุ่มสตริงคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดค่าสตริงเริ่มต้นในแต่ละฝูงมาฝูงละ 1 ตัว แล้วจึงทำการสร้างตำแหน่งของสตริงในแต่ละฝูงที่กำหนด และจึงทำการสร้างทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเริ่มต้น ซึ่งจะมีขนาด $n \times n$ โดยที่ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด ตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเริ่มต้นจะมีค่าเท่ากับ 0

First Swarm:

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

Second Swarm:

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

ตารางที่ 5.4 ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 1

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.5 ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 2

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

ขั้นตอนที่ 2 ทำการแปลงสตริงคำตอบเริ่มต้นไปเป็นลำดับงานเพื่อนำไปจัดลงสถานีงาน โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง โดยพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถเลือกทำได้ลงในตำแหน่งข้างหน้างาน (Forward Work) และตำแหน่งข้างหลังงาน (Backward Work) ก่อนโดยไม่ผิดความสัมพันธ์ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 5.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 5.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 5.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 5.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาจากสตริงคำตอบเริ่มต้นในการเลือกงานจากสตริงคำตอบที่ 1 ตามตำแหน่งของงานที่สามารถเลือกได้ งานที่ถูกสุ่มเลือกงานจากตาราง Sigmoid นำมาจัดลงลำดับขั้นงานก่อน โดยในที่นี้สุ่มได้ขั้นงานที่ 1

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 1 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 5.6 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ตารางที่ 5.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 5.6 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 5.7 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 5.6 คือขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 และในตารางที่ 5.7 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 และ 11 พิจารณาจากสตริงคำตอบเริ่มต้นในการเลือกงานจากสตริงคำตอบที่ 1 ตามตำแหน่งของงานที่สามารถเลือกได้ งานที่ถูกสุ่มเลือกงานจากตาราง Sigmoid นำมาจัดลงลำดับขั้นงานก่อน โดยในที่นี้สุ่มได้ขั้นงานที่ 4

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 4 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 4 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 4 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 4 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 5.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 1, 4

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 5.10 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	1
2	2, 3, 4, 5	11	4
3	2, 3, 5	11	3
4	2, 5	11	5
5	2, 7	11	7
6	2, 9	11	9
7	2	11	2
8	6	11	6
9	8	11	8
10	10	11	10
11	11	11	11

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานโดยใช้วิธีการข้างต้น จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 2 ตัว ดังนี้

First Swarm:

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

Second Swarm:

Task Sequence 21 = [11 1 5 10 8 2 9 3 6 4 7]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 5.11 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.11 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

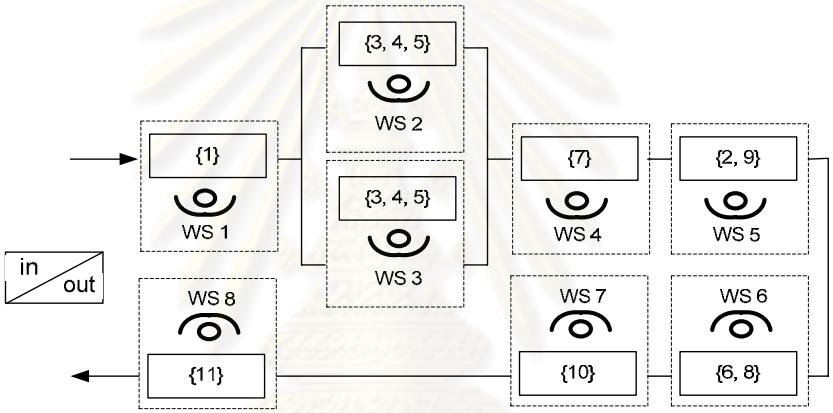
ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
4*	7	0	7	2	12
3	3.3333	7	10.3333	2	
5	1	10.3333	11.3333	2	
7	3	11.3333	14.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	3	6
9	3.3333	3	6.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	4	6
2	2	3.3333	5.3333	4	
6	1.3333	5.3333	6.6666	เกินเวลา	
6	1.3333	0	1.3333	5	6
8	4	1.3333	5.3333	5	
10	3.3333	5.3333	8.3333	เกินเวลา	

ตารางที่ 5.11 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
10	3.3333	0	3.3333	6	6
11	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
11	4	0	4	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 5.11 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \; and \; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & otherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum\ N_w \tag{5.4}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{5.5}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{5.6}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = Minimum\ N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $\quad q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $\quad q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 5.12 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	1	6	0	0	0	0	0	0	0
2	3, 4, 5	12	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
3	7	6	3	3	3	0.9999	0.9999	0.9999	2.9997
4	2, 9	6	0	4	0	0	1.3332	0	1.3332
5	6, 8	6	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
6	10	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666
7	11	6	2	2	2	0.6666	0.6666	0.6666	1.9998

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$$= \left[0 + 1.3332 + 2.9997 + 1.3332 + 1.3332 + 0.6666 + 1.9998\right] = 9.6657$$

ค่า $\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\frac{0}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\frac{1.3332}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0002$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\frac{2.9997}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0344$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{1.3332}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0002$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{1.3332}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0002$

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{0.6666}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0031$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{1.9998}{9.6657} - \frac{1}{8}\right]^2 = 0.0067$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 = 0.0603$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{8}{8-1} \times 0.0603 = 0.0689$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.0689$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 5.13 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
2	3, 4, 5	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
3	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	2, 9	0.1111	0.4444	0.1111	0.6667
5	6, 8	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
6	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
7	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{9(3-1)} \times (0.3333 + 0.6667 + 0 + 0.6667 + 0.6667 + 1.6667 + 0)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.4688$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 5.14 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	1	4
2 (มีสถานีงานขนาน)	3, 4, 5	11.3333
3	7	3
4	2, 9	5.3333
5	6, 8	5.3333
6	10	3.3333
7	11	4

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0689

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.4688

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 5.15 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.0689	0.4688
2	1	8	0.0717	0.4668

5.4.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

5.4.4.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

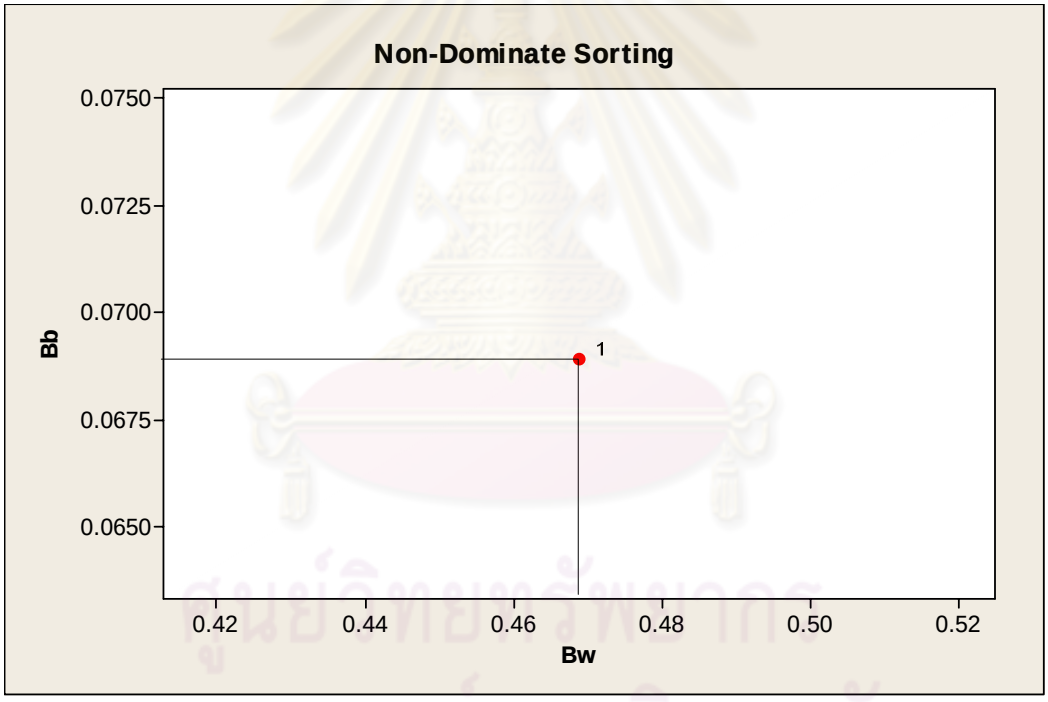
1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.4 และตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0689	0.4688



รูปที่ 5.4 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 5.17 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0689	0.4688	1	Infinity	Lbest

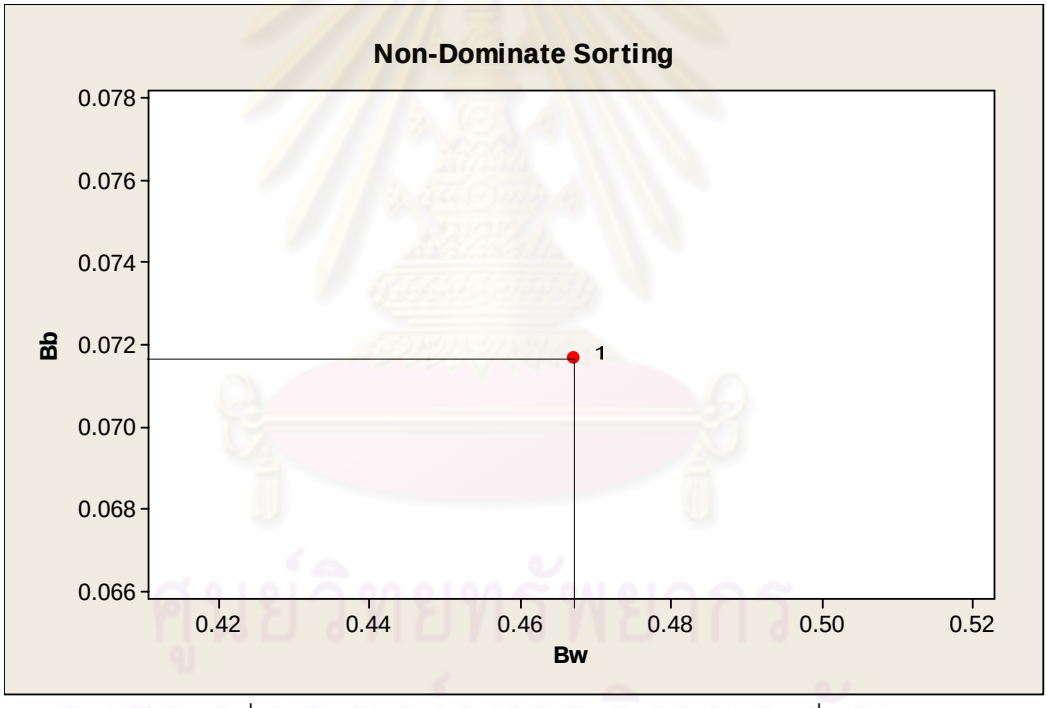
2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.5 และตารางที่ 5.19

ตารางที่ 5.18 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0717	0.4668



รูปที่ 5.5 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 5.19 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0717	0.4668	1	Infinity	Lbest

5.4.4.2 **การคัดเลือก** Global Best Solution

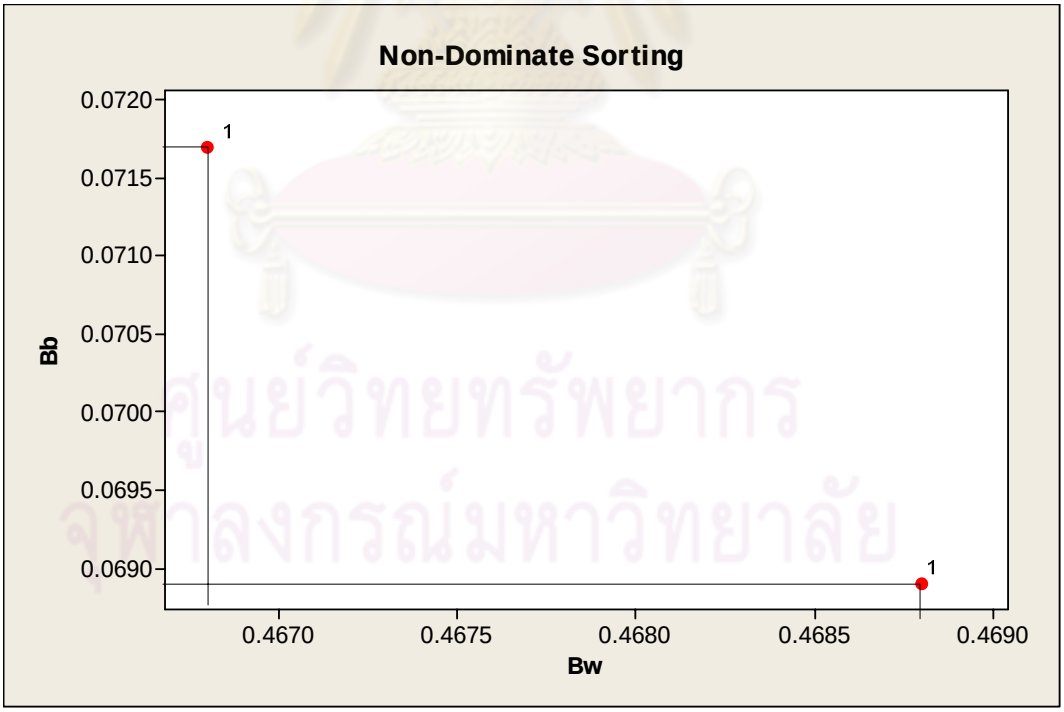
ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบเท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.6 และตารางที่ 5.21

ตารางที่ 5.20 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.0689	0.4688
2	1	8	0.0717	0.4668



รูปที่ 5.6 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 5.21 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	1	0.0689	0.4688	1	Infinity	Gbest
2	1	0.0717	0.4668	2	Infinity	-

5.4.4.3 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากร

(ฝูงที่ 1) String 1 = [11 5 9 10 8 4 7 3 6 2 1]

5.4.5 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

5.4.5.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

5.4.5.1.1 ตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ Velocity จากสมการ (5.1) ในแต่ละฝูง โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้จากค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในฝูงที่ 1 และค่าที่ดีที่สุด (Gbest) โดยมีขั้นตอนดังนี้

ขั้นแรกจะทำการคูณเมทริกซ์ Velocity โดยเมทริกซ์ Velocity นี้จะมีค่าเริ่มต้นเป็นเมทริกซ์ 0 กับค่า w น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight) ในที่นี้เรากำหนดค่าเท่ากับ 1 จะได้เป็นเมทริกซ์ 11×11 ในฝูงที่ 1

ตารางที่ 5.22 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 1

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

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ขั้นที่สองนำเมทริกซ์ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด (Local Best) ในฝูงที่ 1 ลบด้วยเมทริกซ์ของสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 แล้วนำไปคูณกับ c_1 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.1 กับ r_1 มีค่าเท่ากับ 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.23 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 2

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

2. Global Best Solution

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

ขั้นที่สามนำเมทริกซ์ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด (Global Best) ลบด้วยเมทริกซ์ของสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 แล้วนำไปคูณกับ c_2 ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ 0.1 กับ r_2 มีค่าเท่ากับ 1

ตารางที่ 5.24 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในขั้นที่ 3

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

ขั้นสุดท้ายทำการรวมขั้นที่ 1 ถึงขั้นที่ 3 จะได้เมทริกซ์ Velocity ในฝูงที่ 1 ตามสมการที่ (5.1) ดังนี้

ตารางที่ 5.25 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1

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

5.4.5.1.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 5.26 ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบก่อนหน้าในฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 5.27 ความน่าจะเป็นในตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 5.28 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1

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

5.4.5.1.3 ตาราง Sigmoid ในจัดตำแหน่ง

โดยการใช้ Sigmoid Function เป็นการเปลี่ยนค่าตัวเลขที่ได้จากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3)

ตารางที่ 5.29 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
7	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
11	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

5.4.5.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

5.4.5.2.1 ตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ Velocity จากสมการ (5.1) ในแต่ละฝูงที่ 2 โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้จากค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในฝูงที่ 2 และค่าที่ดีที่สุด (Gbest) โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Global Best Solution

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.30 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0	0	0.1
2	0	0	0	-0.1	0	0	0	0	0	0.1	0
3	0	0	0	0	0	-0.1	0	0.1	0	0	0
4	0	0	-0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0
5	0	0.1	0	0	0	0	0	0	-0.1	0	0
6	0	-0.1	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.1	-0.1	0	0	0
8	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	-0.1	0
9	0	0	0.1	0	-0.1	0	0	0	0	0	0
10	-0.1	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
11	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.1

5.4.5.2.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 5.31 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0	0	0.1
2	0	0	0	0.9	0	0	0	0	0	0.1	0
3	0	0	0	0	0	0.9	0	0.1	0	0	0
4	0	0	0.9	0	0	0.1	0	0	0	0	0
5	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0.9	0	0
6	0	0.9	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.1	0.9	0	0	0
8	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0	0.9	0
9	0	0	0.1	0	0.9	0	0	0	0	0	0
10	0.9	0	0	0.1	0	0	0	0	0	0	0
11	0.1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.9

5.4.5.2.3 ตาราง Sigmoid ในจัดตำแหน่ง

โดยการใช้ Sigmoid Function เป็นการเปลี่ยนค่าตัวเลขที่ได้จากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3)

ตารางที่ 5.32 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.4502	0.5250
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4750	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502
5	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4750	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000
7	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000
9	0.5000	0.5000	0.4750	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.5250	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
11	0.4750	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250

5.4.6 สตริงคำตอบเบื้องต้นในรอบที่ 2

เริ่มจากการสร้างสตริงคำตอบ โดยใช้ค่าความน่าจะเป็นจากตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 1 และตาราง Sigmoid ของฝูงที่ 2 ที่ได้จากรอบก่อนหน้า โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน

จะได้สตริงคำตอบทั้งหมด 6 สตริงคำตอบ ดังนี้

First Swarm:

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

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

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

Second Swarm:

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

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

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

เมื่อจัดขั้นงานโดยที่ไม่ผิดความสัมพันธ์งานจะได้ลำดับขั้นงานดังนี้

First Swarm:

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

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

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

Second Swarm:

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

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

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

ทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 5.11 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 5.33 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

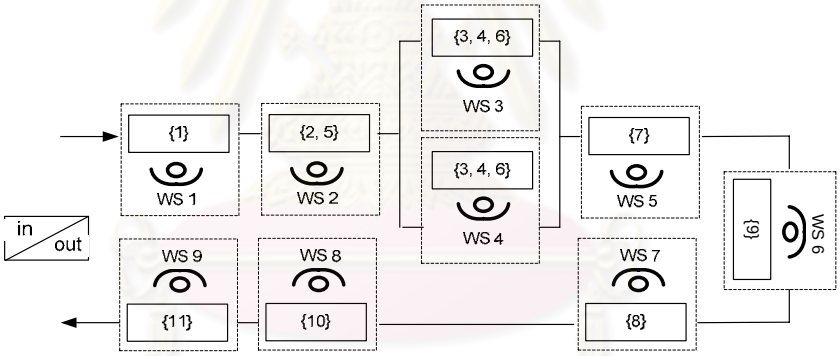
ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
2	2	0	2	2	6
5	1	2	3	2	
3	3.3333	3	6.3333	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	3	12
6	1.3333	3.3333	4.6666	3	
4*	7	4.6666	11.6666	3	
7	3	11.6666	14.6666	เกินเวลา	
7	3	0	3	4	6
9	3.3333	3	6.3333	เกินเวลา	

ตารางที่ 5.33 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
9	3.3333	0	3.3333	5	6
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	6
10	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	7	6
11	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
11	4	0	4	8	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 5.33 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

ทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังตาราง 5.34

ตารางที่ 5.34 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1128	0.2778
	2	8	0.0964	0.3463
	3	9	0.1237	0.3333
2	1	8	0.0717	0.4688
	2	9	0.0936	0.2244
	3	8	0.1888	0.5000

5.4.7 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

5.4.7.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 5.35 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

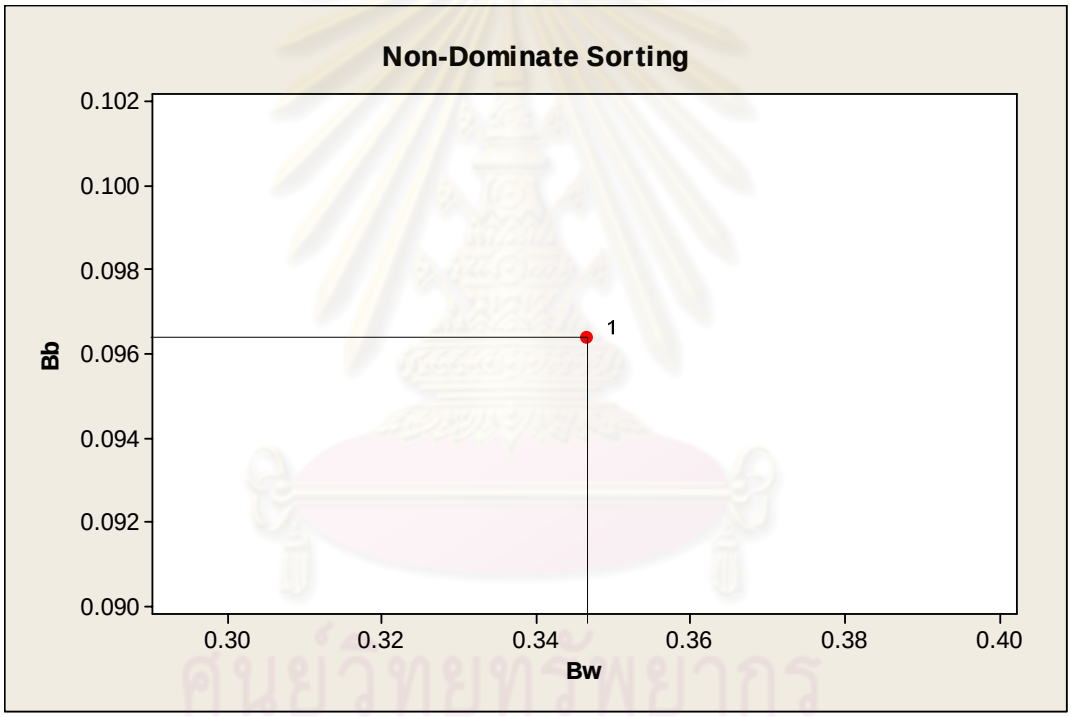
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.1128	0.2778
2	8	0.0964	0.3463
3	9	0.1237	0.3333

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 5.36 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	8	0.0964	0.3463

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.8 และตารางที่ 5.37



รูปที่ 5.8 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 5.37 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Lbest

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 5.38 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0717	0.4688
2	9	0.0936	0.2244
3	8	0.1888	0.5000

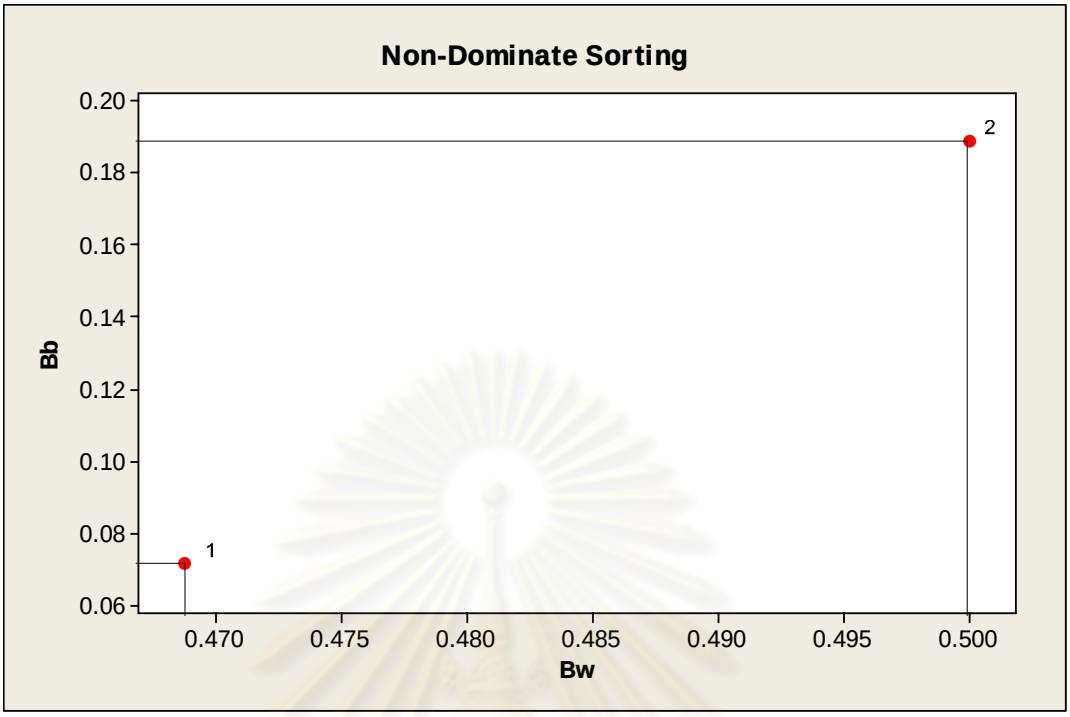
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 5.39 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.0717	0.4688
3	8	0.1888	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.9 และตารางที่ 5.40

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.9 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 5.40 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0717	0.4688	1	Infinity	Lbest
3	0.1888	0.5000	2	Infinity	-

5.4.7.2 **การคัดเลือก** Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบของประชากรทั้งหมดไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 5.41 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1128	0.2778
	2	8	0.0964	0.3463
	3	9	0.1237	0.3333
2	1	8	0.0717	0.4688
	2	9	0.0936	0.2244
	3	8	0.1888	0.5000

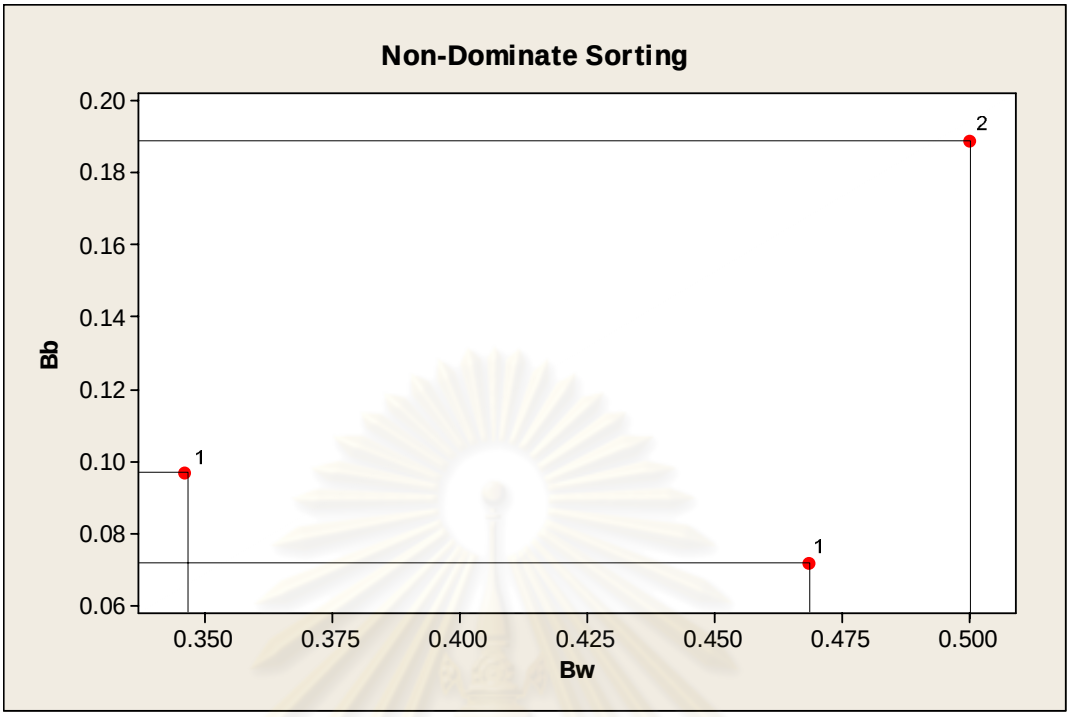
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 5.42 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดจากประชากรทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	2	8	0.0964	0.3463
2	1	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.1888	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 5.10 และตารางที่ 5.43

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.10 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 5.43 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	1	0.0717	0.4688	1	Infinity	Gbest
1	2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Gbest
2	3	0.1888	0.5000	2	Infinity	-

5.4.7.3 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 1 = [10 6 4 2 9 3 1 7 5 8 11]

(ฝูงที่ 1) String 2 = [3 2 1 4 5 7 6 9 8 10 11]

ดังนั้นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่เก็บได้ทั้งสองรอบที่ผ่านมาคือ

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมดในรอบที่ 1

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมดในรอบที่ 2

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

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

5.4.8 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

5.4.8.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

5.4.8.1.1 การปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ Velocity จากสมการ (5.1) โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้จากค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในฝูงที่ 1 และค่าที่ดีที่สุด (Gbest)

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

2. Global Best Solution

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

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

ตารางที่ 5.44 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0	0	-0.2
2	0	0.1	0	0.1	0	0	0	0	0	-0.2	0
3	0.1	0	0	0	0	0.1	0	-0.2	0	0	0
4	0	0	0.1	0.1	0	-0.2	0	0	0	0	0
5	0	-0.2	0	0	0.1	0	0	0	0.1	0	0
6	0	0.1	0	0	0	0	0.1	0	-0.2	0	0
7	0	0	0	0	0	0.1	-0.2	0.1	0	0	0
8	0	0	0	0	-0.2	0	0	0	0.1	0.1	0
9	0	0	-0.2	0	0.1	0	0	0.1	0	0	0
10	0.1	0	0	-0.2	0	0	0	0	0	0.1	0
11	-0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.2

5.4.8.1.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1 ดังนี้

ตารางที่ 5.45 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1

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

5.4.8.1.3 การปรับปรุงตาราง Sigmoid ในจัดตำแหน่ง

โดยการใช้ Sigmoid Function เป็นการเปลี่ยนค่าตัวเลขที่ได้จากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3)

ตารางที่ 5.46 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502
2	0.5000	0.5250	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000
3	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5250	0.5250	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000
7	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.4502	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5250	0.5000
9	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.5250	0.5000	0.5000	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5250	0.5000
11	0.4502	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5498

5.4.8.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

5.4.8.2.1 การปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ Velocity จากสมการ (5.1) โดยใช้สตริงคำตอบที่ได้จากค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในฝูงที่ 2 และค่าที่ดีที่สุด (Gbest)

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Global Best Solution

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

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

ตารางที่ 5.47 ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	-0.06	0	0	0	0.06
2	0	0	0	-0.06	0	0	0	0	0	0.06	0
3	0	0	0	0	0	-0.06	0	0.06	0	0	0
4	0	0	-0.06	0	0	0.06	0	0	0	0	0
5	0	0.06	0	0	0	0	0	0	-0.06	0	0
6	0	-0.06	0	0	0	0	0	0	0.06	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.06	-0.06	0	0	0
8	0	0	0	0	0.06	0	0	0	0	-0.06	0
9	0	0	0.06	0	-0.06	0	0	0	0	0	0
10	-0.06	0	0	0.06	0	0	0	0	0	0	0
11	0.06	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.06

5.4.8.2.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาคเพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.2) โดยจะได้ตารางตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 2 ดังนี้

ตารางที่ 5.48 ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0	0	0.2
2	0	0	0	0.8	0	0	0	0	0	0.2	0
3	0	0	0	0	0	0.8	0	0.2	0	0	0
4	0	0	0.8	0	0	0.2	0	0	0	0	0
5	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0.8	0	0
6	0	0.8	0	0	0	0	0	0	0.2	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0.2	0.8	0	0	0
8	0	0	0	0	0.2	0	0	0	0	0.8	0
9	0	0	0.2	0	0.8	0	0	0	0	0	0
10	0.8	0	0	0.2	0	0	0	0	0	0	0
11	0.2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.8

5.4.8.2.3 การปรับปรุงตาราง Sigmoid ในจัดตำแหน่ง

โดยการใช้ Sigmoid Function เป็นการเปลี่ยนค่าตัวเลขที่ได้จากตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) เพื่อใช้ในรอบถัดไป สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (5.3)

ตารางที่ 5.49 ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000	0.5000	0.5150
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000
7	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5150	0.4850	0.5000	0.5000	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850	0.5000
9	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000	0.4850	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
10	0.4850	0.5000	0.5000	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
11	0.5150	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4850

5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง

5.5.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลอง

5.5.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

5.5.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง

จำนวนอนุภาคเป็นจำนวนกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.5.4 จำนวนฝูง

จำนวนฝูงเป็นจำนวนอนุภาคหรือสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

5.5.5 น้ำหนักการหน่วง

น้ำหนักการหน่วงที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 น้ำหนักการหน่วงจะเป็นการกำหนดค่าของแต่ละฝูงด้วยน้ำหนักที่ได้จากการเคลื่อนที่โดยจะทำการเก็บค่าการเคลื่อนที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสำรวจค่าที่ดีที่สุด

5.5.6 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้

ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้เป็นปัจจัยที่กำหนดที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดความสำคัญของในแต่ละฝูง

5.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

5.6.1 การกำหนดข้อมูลที่ต้องการในการทดลอง

การทดลองในแต่ละระดับปัจจัยจะเก็บข้อมูลค่าวัตถุประสงค์ไว้ 3 วัตถุประสงค์ ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการหาค่าสมรรถนะของแต่ละการทดลองซึ่งในแต่ละการทดลองทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้งในหนึ่งการทดลอง โดยมีตัวชี้วัดสมรรถนะในการทดลองทั้งหมด 4 ตัวชี้วัด คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Computation Time to Solution)

5.6.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะที่ใช้ในการทดลอง

5.6.2.1 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

$$Convergence = \frac{1}{\left|S^*\right|} \;:\; d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}\right]^2} \qquad (5.7)$$

ซึ่ง S^* คือเซตคำตอบที่แท้จริง, $f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์, i ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ, d_{xy} เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้ และ k คือจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นเป็นกลุ่มคำตอบที่ลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

5.6.2.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

$$Spread = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1}\left|d_i - \bar{d}\right|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \qquad (5.8)$$

ซึ่ง d_f และ d_l เป็นระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน d_i เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้, $\bar{d}$ เป็นค่าเฉลี่ยของระยะห่าง, N เป็นจำนวนคำตอบที่หาได้ ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่มีลักษณะการกระจายที่มีลักษณะสม่ำเสมอตลอดเส้นขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

5.6.2.3 ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

$$Ratio = \frac{\left|S_j - \left\{x \in S_j \mid \exists y \in S : y \prec x\right\}\right|}{\left|S_j\right|} \qquad (5.9)$$

ซึ่ง S_j เป็นเซตคำตอบที่ j, S เป็นการรวมกันของ j เซตคำตอบ, x คือคำตอบที่หาได้ในกลุ่มคำตอบที่หาได้ และ y คือคำตอบที่แท้จริงในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าค่าตัว

สมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้จากอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่สามารถเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

5.6.2.4 ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Computation Time to Solution)

ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เป็นตัวชี้วัดด้านเวลาการหาคำตอบ โดยเปรียบเทียบที่จำนวนรอบในการทดลองที่เท่ากัน

5.6.3 การกำหนดรูปแบบการทดลอง

ในการทดลองได้ทำการทดลอง แบบ Full Factorial Design มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาทั้งหมด 2 ปัจจัยและในแต่ละปัจจัยจะมีระดับปัจจัยไม่เท่ากัน โดยมีค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 ตัวเป็นตัวแปรตอบสนองในการทดลอง ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำของการทดลอง (Replication) เท่ากับ 2 ปัญหาการทดลองมีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ

1. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 11 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 20 เจนเนอเรชัน
2. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 25 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน
3. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 61 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 200 เจนเนอเรชัน
4. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 111 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 300 เจนเนอเรชัน
5. การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมในลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานขนาน มีจำนวนขั้นงาน 205 งาน มีจำนวนเจนเนอเรชันเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

ตารางที่ 5.50 รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาค	สตริงคำตอบ
4	25	100
5	20	100
10	10	100

ทำการทดสอบหาจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคที่มีมีปัจจัย 1 ปัจจัย 3 ระดับ และมีการทำซ้ำเท่ากับ 2 ดังนั้นจะมีจำนวนทรีทเมนต์ (Treatment Combination) ในแต่ละปัญหาการทดลองเท่ากับ 3x2 = 6 การทดลอง โดยมีการกำหนดประชากรเท่ากับ 100 โดยทำการทดลองกับปัญหาที่มีอยู่ทั้งหมด และทดสอบด้วยตัวชี้วัด

5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในการทดลองแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลองที่มีทั้งหมด 5 ปัญหา โดยจะทำการวิเคราะห์ความตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวคือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาในการคำนวณจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Computation Time to Solution) โดยจะวิเคราะห์ตามลำดับ

1. การวิเคราะห์ ANOVA เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยใดมีผลต่อการหาคำตอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์

2. การวิเคราะห์คู่ลำดับเป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าระดับปัจจัยใดมีความแตกต่างกับระดับปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์

5.7.1 ปัญหา 11 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยความรู้ในเชิงลบ โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for Convergence, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
swam	2	0.03092	0.03092	0.01546	1.17	0.421
Error	3	0.03958	0.03958	0.01319		
Total	5	0.07050				

S = 0.114862 R-Sq = 43.86% R-Sq(adj) = 6.44%

รูปที่ 5.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.11 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในปัญหา 11 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

Analysis of Variance for spead, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
swam	2	0.01420	0.01420	0.00710	0.64	0.589
Error	3	0.03352	0.03352	0.01117		
Total	5	0.04772				

S = 0.105698 R-Sq = 29.76% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 5.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.12 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 11 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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
swam	2	0.02583	0.02583	0.01292	0.29	0.765
Error	3	0.13183	0.13183	0.04394		
Total	5	0.15766				

S = 0.209625 R-Sq = 16.39% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 5.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.13 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 11 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณ เนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่

มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 5.51

ตารางที่ 5.51 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนฝูง (Swarm)	10
2. จำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle)	10

5.7.2 ปัญหา 25 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยความรู้ในเชิงลบ โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS      F      P
swam     2  0.21569  0.21569  0.10785  67.43  0.003
Error    3  0.00480  0.00480  0.00160
Total    5  0.22049


S = 0.0399909   R-Sq = 97.82%   R-Sq(adj) = 96.37%
```

รูปที่ 5.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.14 พบว่าค่าจำนวนฝูงมีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ปัญหา 25 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ

One-way ANOVA: Convergence versus swam

Source	DF	SS	MS	F	P
swam	2	0.21569	0.10785	67.43	0.003
Error	3	0.00480	0.00160		
Total	5	0.22049			

S = 0.03999 R-Sq = 97.82% R-Sq(adj) = 96.37%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.9276	0.0064	(-----*-----)
2	2	1.0290	0.0078	(----*-----)
3	2	0.5857	0.0685	(-----*----)

0.64 0.80 0.96 1.12

รูปที่ 5.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.15 พบว่ามีปัจจัยค่าจำนวนฝูง (Swarm) ที่ระดับปัจจัย 10 มีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาจากตัวแปรร่วม ที่ระดับปัจจัย 10 จะทำให้ค่าตอบสนองตัวชี้สมรรถนะ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) ดีที่สุด

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 5.52

ตารางที่ 5.52 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนฝูง (Swarm)	10
2. จำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle)	10

5.7.3 ปัญหา 61 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS     F      P
swam     2  0.051817  0.051817  0.025908  2.66  0.217
Error    3  0.029241  0.029241  0.009747
Total    5  0.081058

S = 0.0987265   R-Sq = 63.93%   R-Sq(adj) = 39.88%
```

รูปที่ 5.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.16 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในปัญหา 61 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F      P
swam     2  0.01853  0.01853  0.00926  0.67  0.574
Error    3  0.04142  0.04142  0.01381
Total    5  0.05995

S = 0.117499   R-Sq = 30.91%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

รูปที่ 5.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.17 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 61 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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
swam     2  0.004354  0.004354  0.002177  0.68  0.572
Error    3  0.009635  0.009635  0.003212
Total    5  0.013989

S = 0.0566715   R-Sq = 31.13%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

รูปที่ 5.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.18 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 61 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณ เนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 5.53

ตารางที่ 5.53 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนฝูง (Swarm)	10
2. จำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle)	10

5.7.4 ปัญหา 111 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยความรู้ในเชิงลบ โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS      F      P
swam     2  0.078600  0.078600  0.039300  12.38  0.036
Error    3  0.009525  0.009525  0.003175
Total    5  0.088126


S = 0.0563475   R-Sq = 89.19%   R-Sq(adj) = 81.99%
```

รูปที่ 5.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.19 พบว่าค่าจำนวนฝูงมีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ปัญหา 111 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ

One-way ANOVA: Convergence versus swam

```
Source  DF       SS       MS      F      P
swam     2  0.07860  0.03930  12.38  0.036
Error    3  0.00953  0.00318
Total    5  0.08813

S = 0.05635   R-Sq = 89.19%   R-Sq(adj) = 81.99%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.23575  0.06512  (---------*--------)
2      2  0.47310  0.00000                    (---------*--------)
3      2  0.22520  0.07269  (--------*--------)
                              ---+---------+---------+---------+------
                               0.15      0.30      0.45      0.60

Pooled StDev = 0.05635
```

รูปที่ 5.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.20 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในปัญหา 111 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF    Seq SS    Adj SS    Adj MS     F      P
swam     2  0.023313  0.023313  0.011657  2.42  0.237
Error    3  0.014465  0.014465  0.004822
Total    5  0.037778


S = 0.0694372   R-Sq = 61.71%   R-Sq(adj) = 36.19%
```

รูปที่ 5.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.21 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 111 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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
swam     2  0.03703  0.03703  0.01851  1.00  0.465
Error    3  0.05554  0.05554  0.01851
Total    5  0.09257


S = 0.136069   R-Sq = 40.00%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

รูปที่ 5.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.22 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 111 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อทำการวิเคราะห์ด้านเวลาในการคำนวณ เนื่องจากไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้จากตัวแปรทั้ง 3 ตัวซึ่งจะพิจารณาจากคำตอบที่มีอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และใช้เวลาน้อยที่สุด

จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับ

กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการคำนวณ จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 5.54

ตารางที่ 5.54 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนฝูง (Swarm)	10
2. จำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle)	10

5.7.5 ปัญหา 205 ขั้นงาน

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัจจัยที่ส่งผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค โดยใช้ตัวแปรตอบสนองการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F      P
swam     2  0.15638  0.15638  0.07819  3.80  0.151
Error    3  0.06172  0.06172  0.02057
Total    5  0.21810

S = 0.143434   R-Sq = 71.70%   R-Sq(adj) = 52.83%
```

รูปที่ 5.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.23 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ในปัญหา 205 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญเนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตารางยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้ตัวแปรตอบสนองการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)

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

Source  DF   Seq SS   Adj SS   Adj MS     F      P
swam     2  0.08623  0.08623  0.04312  2.17  0.261
Error    3  0.05958  0.05958  0.01986
Total    5  0.14581


S = 0.140922   R-Sq = 59.14%   R-Sq(adj) = 31.90%
```

รูปที่ 5.24 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.24 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ทั้งสองปัจจัยในปัญหา 205 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเพื่อปรับปรุงตาราง ยังไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จึงทำการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยใช้อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (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
swam     2  0.085821  0.085821  0.042910  21.65  0.016
Error    3  0.005946  0.005946  0.001982
Total    5  0.091766


S = 0.0445182   R-Sq = 93.52%   R-Sq(adj) = 89.20%
```

รูปที่ 5.25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to the Pareto-optimal set

จากรูปที่ 5.25 พบว่าค่าจำนวนฝูงมีผลต่อวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ปัญหา 205 ขั้นงาน อย่างมีนัยสำคัญ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

One-way ANOVA: ratio versus swam

```
Source  DF       SS       MS      F      P
swam     2  0.08582  0.04291  21.65  0.016
Error    3  0.00595  0.00198
Total    5  0.09177

S = 0.04452   R-Sq = 93.52%   R-Sq(adj) = 89.20%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      2  0.00000  0.00000  (-------*-------)
2      2  0.00160  0.00226  (-------*-------)
3      2  0.25450  0.07707                    (-------*--------)
                            --------+---------+---------+---------+-
                                  0.00      0.12      0.24      0.36

Pooled StDev = 0.04452
```

รูปที่ 5.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio to The Pareto-Optimal Set

จากรูปที่ 5.26 พบว่ามีปัจจัยค่าจำนวนฝูง (Swarm) ที่ระดับปัจจัย 10 มีความแตกต่างกัน และเมื่อพิจารณาจากตัวแปรร่วม ที่ระดับปัจจัย 10 จะทำให้ค่าตอบสนองตัวชี้สมรรถนะ อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio to The Pareto-Optimal Set) ดีที่สุด

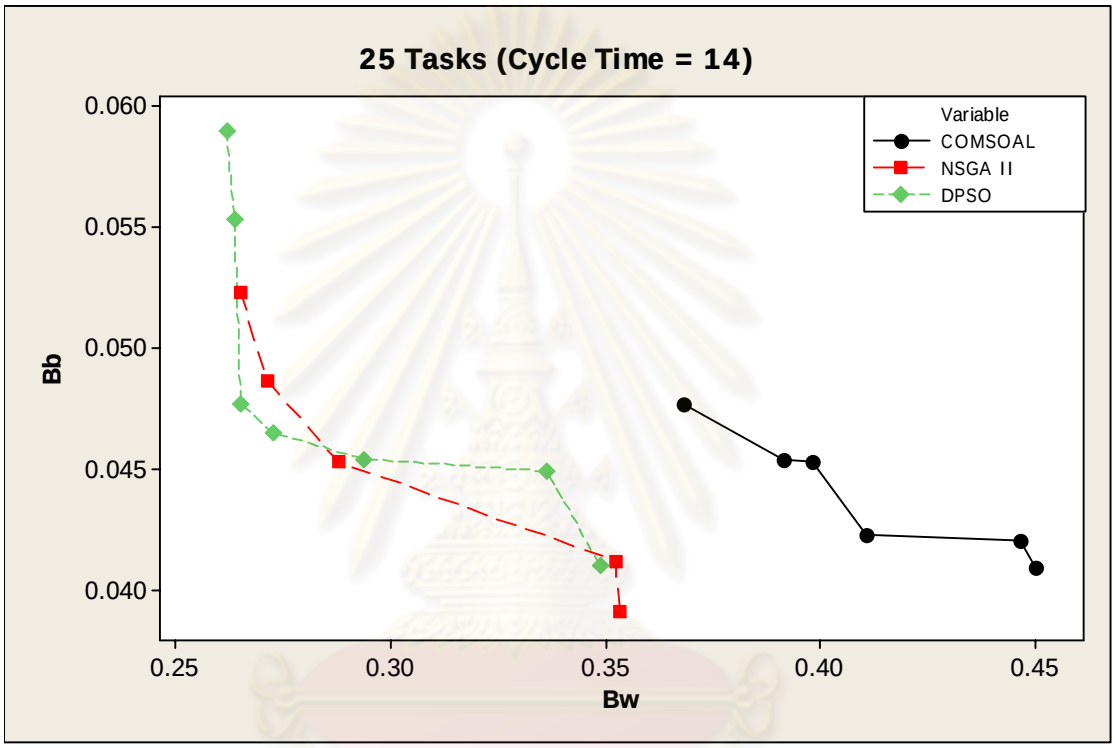
จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยที่มีตัวแปรตอบสนองคืออัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio to The Pareto-Optimal Set) จะมีพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังตารางที่ 5.55

ตารางที่ 5.55 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ขั้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. จำนวนฝูง (Swarm)	10
2. จำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle)	10

5.8 การเปรียบเทียบผลการทดลอง

กราฟการเปรียบเทียบคำตอบของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DPSO) กับอัลกอริทึมแบบ NSGA-II และอัลกอริทึม COMSOAL ที่นำมาประยุกต์ใช้การปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ในปัญหาและพารามิเตอร์เดียวกัน ดังรูปที่ 5.27



รูปที่ 5.27 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II และ DPSO

5.9 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการในการหาคำตอบวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค ที่เหมาะสมแบบใหม่ ซึ่งการหาที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาคจะเป็นการใช้เทคนิคการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบสุ่ม (Stochastic) เป็นวิธีการหาค่าความเหมาะสมโดยอาศัยพื้นฐานของความน่าจะเป็น โดยได้รับแรงจูงใจมาจากพฤติกรรมทางสังคมในการอพยพของฝูงนก และการเรียนรู้ของฝูงปลา ที่อาศัยการค้นหาแบบกลุ่มประชากร แต่ละตัวดำเนินการเรียกว่า “อนุภาค (Particle)” ซึ่งสามารถเคลื่อนย้ายตำแหน่ง (Velocity) ได้ อนุภาคนี้จะรวมกลุ่มกันเป็นกลุ่ม บินอยู่ในขอบเขตที่ต้องการค้นหาระหว่างบิน อนุภาคจะเคลื่อนย้ายตำแหน่งโดยอ้างอิงถึงตำแหน่งของตัวเอง และตำแหน่ง

ของอนุภาคใกล้เคียงที่บินผ่านมาแล้ว เพื่อใช้หาทิศทางการเคลื่อนที่ต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน จะทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็ว คำตอบที่ได้บางครั้งยังไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่เมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการอัลกอริทึมที่ผ่านมาจากบทก่อนหน้า วิธีการวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค จะให้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าอัลกอริทึมวิธีอื่น และจำนวนฝูง (Swarm) ที่มีค่าเท่ากับ 10 และจำนวนอนุภาคของแต่ละฝูง (Particle) ที่มีค่าเท่ากับ 10 จะมีความเหมาะสมที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6
การหาค่าเหมาสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ
(Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK)

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนออัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่าการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK) ซึ่งเป็นการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

6.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (PSONK) เป็นวิธีที่ถูกพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ซึ่งมีการพัฒนาโดยใช้ความรู้เชิงลบในกระบวนการหาคำตอบ จากเดิมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) จะทำการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ แต่การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะทำการหาคำตอบที่แย่ที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูงและคำตอบที่แย่ที่สุด (Gworst) ในประชากรทั้งหมด มาใช้ร่วมกับคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำมาปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ในการหาคำตอบที่ดีต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด

6.2 ขั้นตอนการทำงานการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

บทนี้เสนอวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization with Negative Knowledge: PSONK) มาใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุด โดยนำหลักการความน่าจะเป็นมาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะสมต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูล (Data Input)

ในการเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบเพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น (Representation & Initialization)

สร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1\times n$ โดยมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n$

ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางความเร็วของอนุภาค (Velocity Matrix) มีขนาด $n\times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดย Joint Probability Matrix มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1)$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนค่า Velocity Matrix เริ่มต้นจะมีเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) และจึงทำการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก เพื่อหาลำดับงานแรก และใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

3. การประเมินค่า (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

4. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงที่ได้ในจากการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

6. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix)

การปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \quad (6.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (6.2)$$

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

โดยแบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ดังนี้

6.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

ทำการปรับปรุง First Walk Probability Matrix โดยดูงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$

6.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

ค่าจากการเคลื่อนที่ (Velocity) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่าสุ่ม โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

6.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

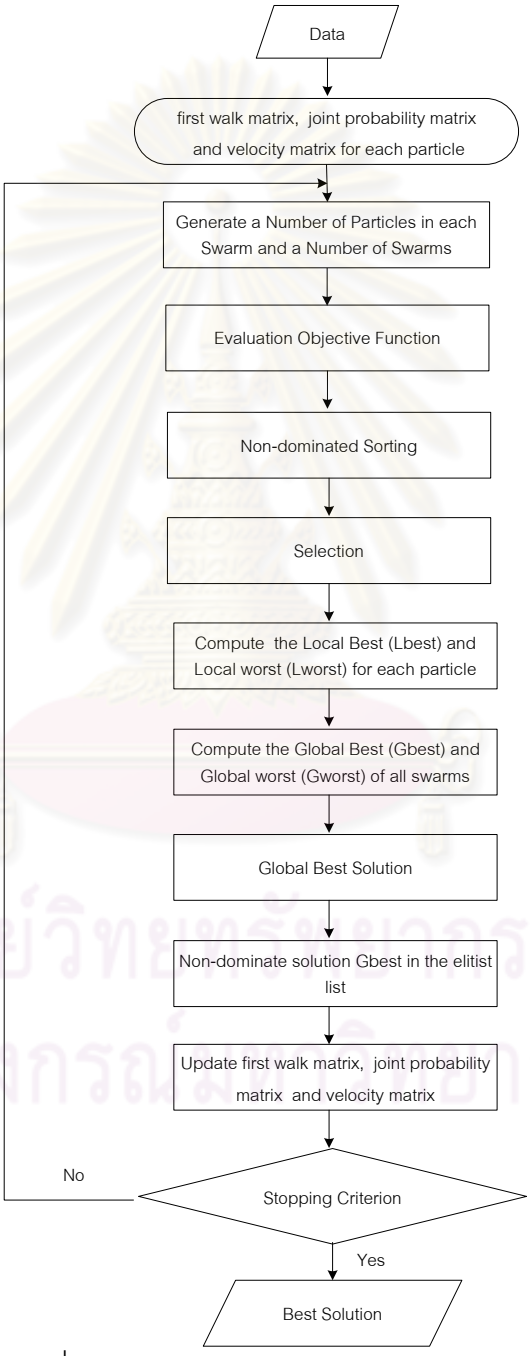
การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (6.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

7. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

8. **สิ้นสุดกระบวนการ** (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด



รูปที่ 6.1 โครงสร้างของอัลกอริทึม PSONK

6.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากขั้นตอนของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างของสายการผลิตแบบผสมของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

6.3.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

6.3.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ PSONK ที่ใช้ในตัวอย่าง

1. จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3

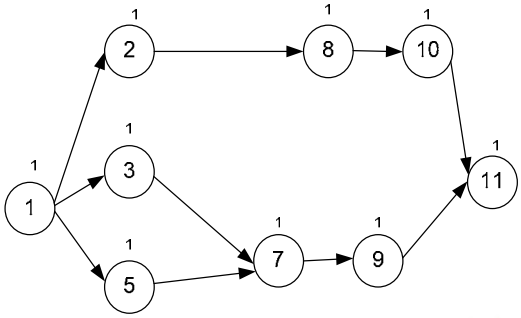
2. จำนวนฝูง (Number of Swarms) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2

3. น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

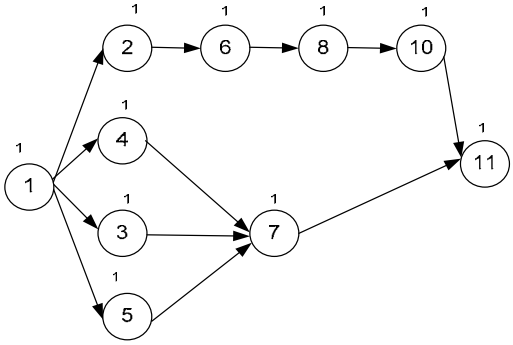
4. ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1

6.3.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 6.2

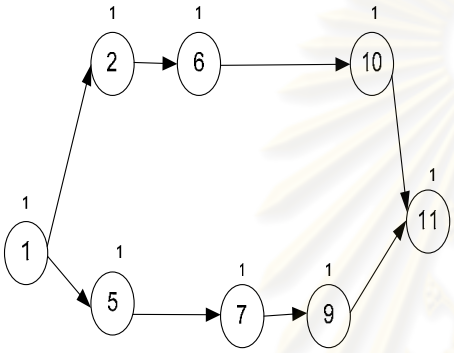
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



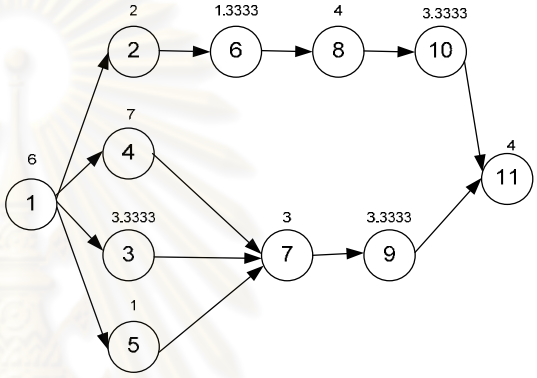
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 6.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) (ต่อ)

6.3.1.3 **การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน** จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตารางที่ 6.1

ตารางที่ 6.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงานขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

6.3.1.3 **สร้างตาราง** Precedence Matrix Font **และ** Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 6.2 จะได้ดังตารางที่ 6.2 - 6.3

ตารางที่ 6.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

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

ตารางที่ 6.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

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

6.3.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานในอันดับแรก

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ของประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการเลือกงานแรกในการจัดลำดับ การสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $1\times n = 1\times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด และมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/n = 1/11 = 0.0909$

ตารางที่ 6.4 ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)

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

การสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะมีขนาดเท่ากับ $n\times n = 11\times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ 0

การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด เส้นทแยงมุมของตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1) = 1/10 = 0.1$

ตารางที่ 6.5 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1
9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1
10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1
11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์แรกตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง โดยมีวิธีการสร้างสตริงคำตอบดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

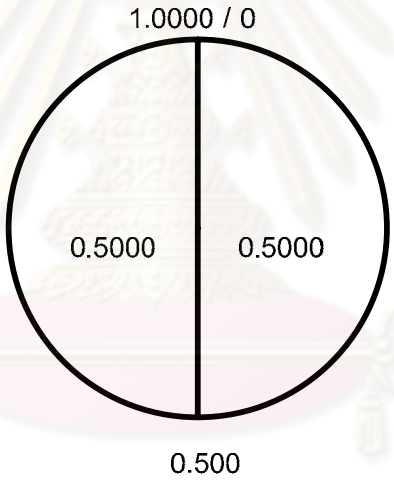
1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 6.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 6.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 6.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 6.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกในตารางที่ 6.4 พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.0909 และ 11 มีค่าเท่ากับ 0.0909 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 11 จึงนำขั้นงานที่ 11 ซึ่งเป็นขั้นงานที่สามารถทำได้แบบย้อนกลับมาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 11 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 6.6 ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกงาน

ขั้นงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	0.0909	0.5000	0.5000
11	0.0909	0.5000	1
รวม	0.1818	1	



รูปที่ 6.3 วงล้อรูเล็ต

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ตารางที่ 6.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 11

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 6.7 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 6.8 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 6.7 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 6.8 คืองานที่ 9 และ 10 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1, ขั้นงานที่ 9 มีค่าเท่ากับ 0.1 และขั้นงานที่ 10 มีค่าเท่ากับ 0.1 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 1 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 6.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ตารางที่ 6.10 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 11, 1

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 6.11 การคัดเลือกลำดับขั้นงานในสตริงที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	11
2	1	9, 10	1
3	2, 3, 4, 5	9, 10	4
4	2, 3, 5	9, 10	2
5	3, 5, 6	9, 10	10
6	3, 5, 6	8, 9	9
7	5, 6	7, 8	3
8	5, 6	7, 8	7
9	5, 6	5, 8	5
10	6	8	8
11	6	6	6

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานทั้งหมด จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

First Swarm:

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

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

String 13 = [1 5 2 6 4 11 9 8 7 10 3]

Second Swarm:

String 21 = [1 4 2 3 5 11 7 9 6 10 8]

String 22 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

String 23 = [1 3 4 11 5 7 10 9 2 6 8]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 6.11 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

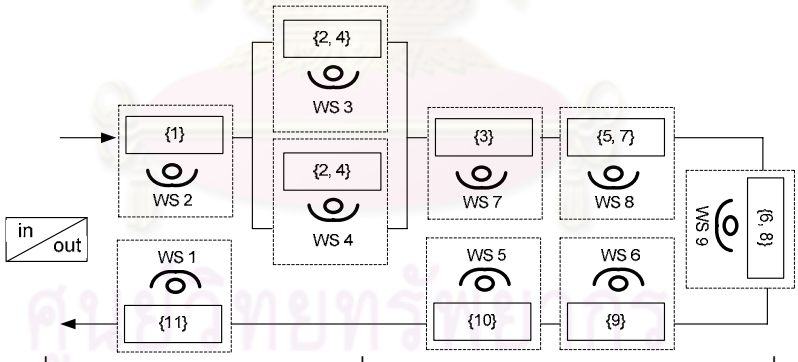
ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
1	6	4	10	เกินเวลา	
1	6	0	6	2	6
4*	7	0	7	3	12
2	2	7	9	3	
10	3.3333	9	12.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	4	6
9	3.3333	3.3333	6.6666	เกินเวลา	

ตารางที่ 6.12 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
9	3.3333	0	3.3333	5	6
3	3.3333	3.3333	6.6666	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	6	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	7	6
5	1	3	4	7	
8	4	4	8	เกินเวลา	
8	4	0	4	8	6
6	1.3333	4	5.3333	8	

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 6.12 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 6.4



รูปที่ 6.4 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \; and \; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & ortherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum \; N_w \tag{6.3}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum \; B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{6.4}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum \; B_w = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{6.5}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 9

$$f_1(X) = Minimum \; N_w = 9$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 9$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\; D_B = 1,\; D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผลิตภัณฑ์ B $q_B = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $q_C = \frac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 6.13 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	11	6	2	2	2	0.66	0.66	0.66	1.98
2	1	6	0	0	0	0	0	0	0
3	2, 4	12	3	3	3	0.99	0.99	0.99	2.97
4	10	6	1	1	0	0.33	0.33	0	0.66
5	9	6	1	0	1	0.33	0	0.33	0.66
6	3	6	1	1	0	0.33	0.33	0	0.66
7	5, 7	6	2	2	2	0.66	0.66	0.66	1.98
8	6, 8	6	0	0	4	0	0	1.32	1.32

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL} \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$= [1.98 + 0 + 2.97 + 0.66 + 0.66 + 0.66 + 0.66 + 1.98 + 1.32] = 10.23$

หาค่า $\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL} \right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\frac{1.98}{10.23} - \frac{1}{9} \right]^2 = 0.0068$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\frac{0}{10.23} - \frac{1}{9} \right]^2 = 0.0123$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\frac{2.97}{10.23} - \frac{1}{9} \right]^2 = 0.0321$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{0.66}{10.23} - \frac{1}{9} \right]^2 = 0.0022$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{0.66}{10.23} - \frac{1}{9} \right]^2 = 0.0022$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{0.66}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0022$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{1.98}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0068$

สถานีงานที่ 8 : $\left[\frac{1.32}{10.23}-\frac{1}{9}\right]^2 = 0.0003$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2 = 0.0649$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{9}{9-1}\times 0.0649 = 0.0730$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.0730$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 6.14 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km}-\frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	11	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
2	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
3	2, 4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
4	10	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
5	9	0.0278	0.1111	0.0278	0.1667
6	3	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667
7	5, 7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	6, 8	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{9(3-1)} \times (0 + 0.3333 + 0 + 0.1667 + 0.1667 + 0.1667 + 0 + 0.6667)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.2500$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 6.15 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	11	4
2	1	6
3 (มีสถานีงานขนาน)	2, 4	9
4	10	3.3333
5	9	3.3333
6	3	3.3333
7	5, 7	4
8	6, 8	5.3333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.0730

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.2500

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 6 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 6.16 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.16 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

6.3.3 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

6.3.3.1 การคัดเลือก Local Best Solution

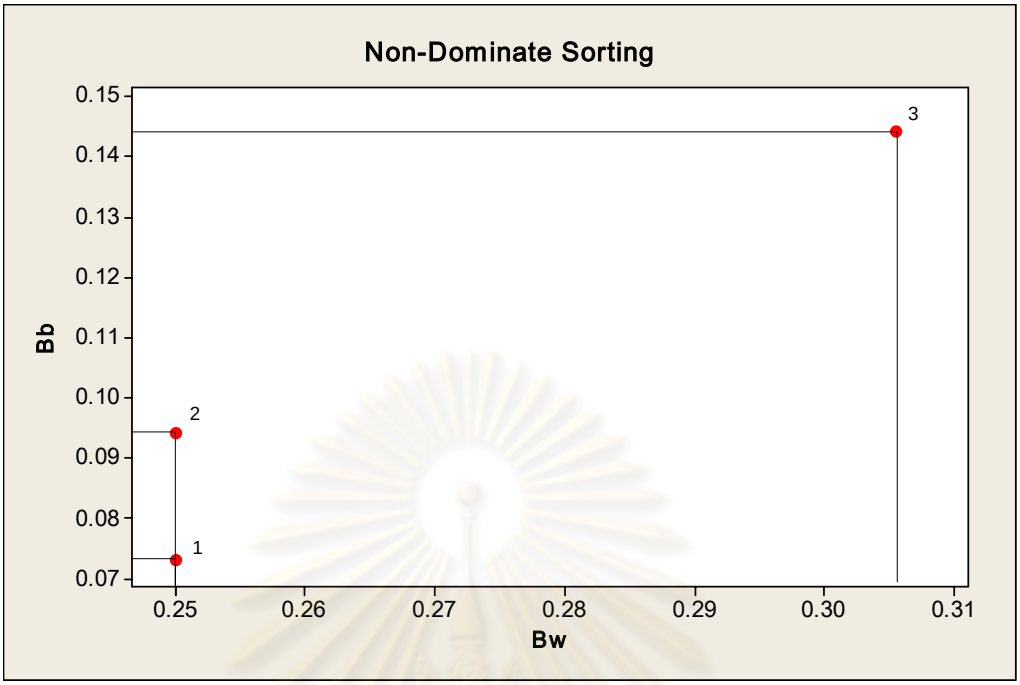
ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.5 และตารางที่ 6.17

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.5 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.17 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	Lbest
2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	3	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

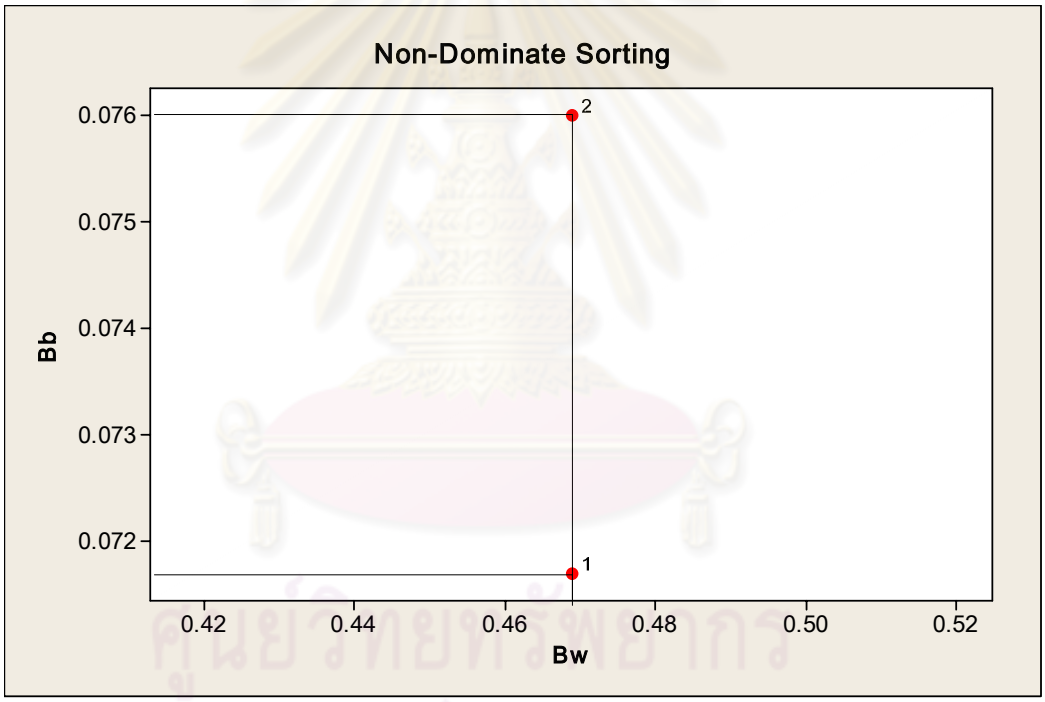
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.19 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.6 และตารางที่ 6.20



รูปที่ 6.6 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.20 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0717	0.4688	1	Infinity	Lbest
3	0.0760	0.4688	2	Infinity	-

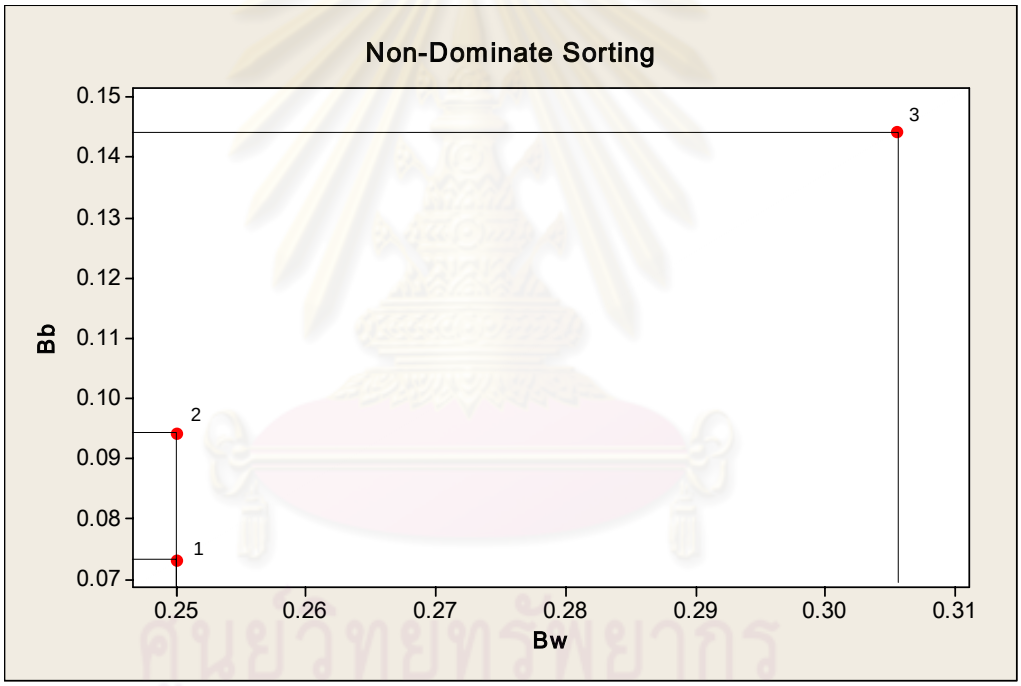
6.3.3.2 **การคัดเลือก** Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.7 และตารางที่ 6.21



รูปที่ 6.7 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.21 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078
2	8	0.0717	0.4688
3	8	0.0760	0.4688

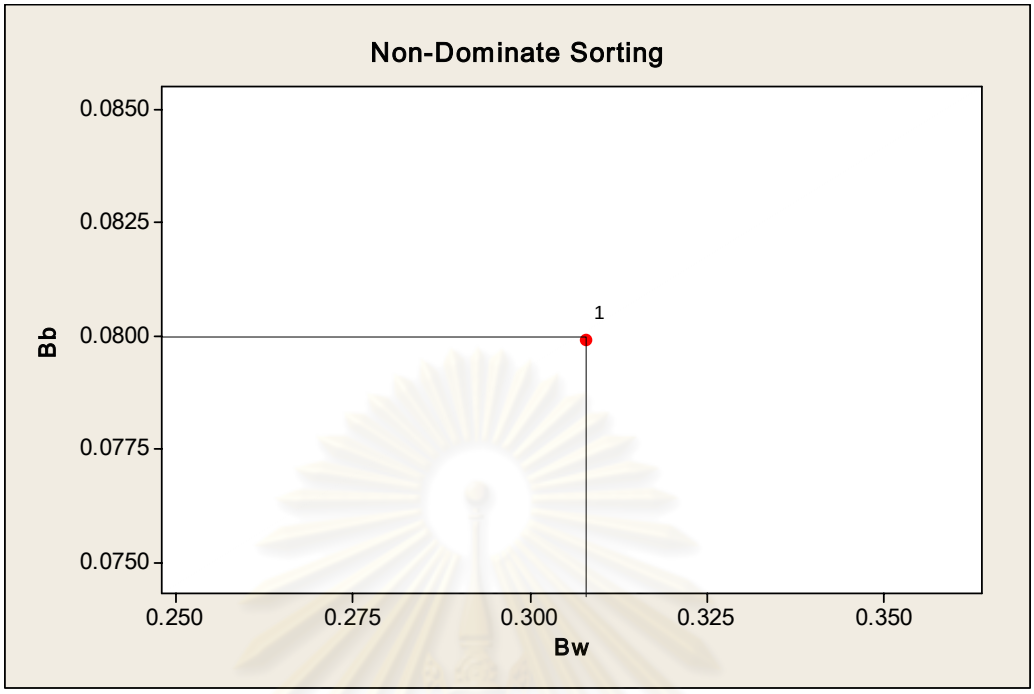
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Local Worst Solution

ตารางที่ 6.23 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0799	0.3078

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.8 และตารางที่ 6.24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.8 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.24 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0799	0.3078	1	Infinity	Lworst

6.3.3.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

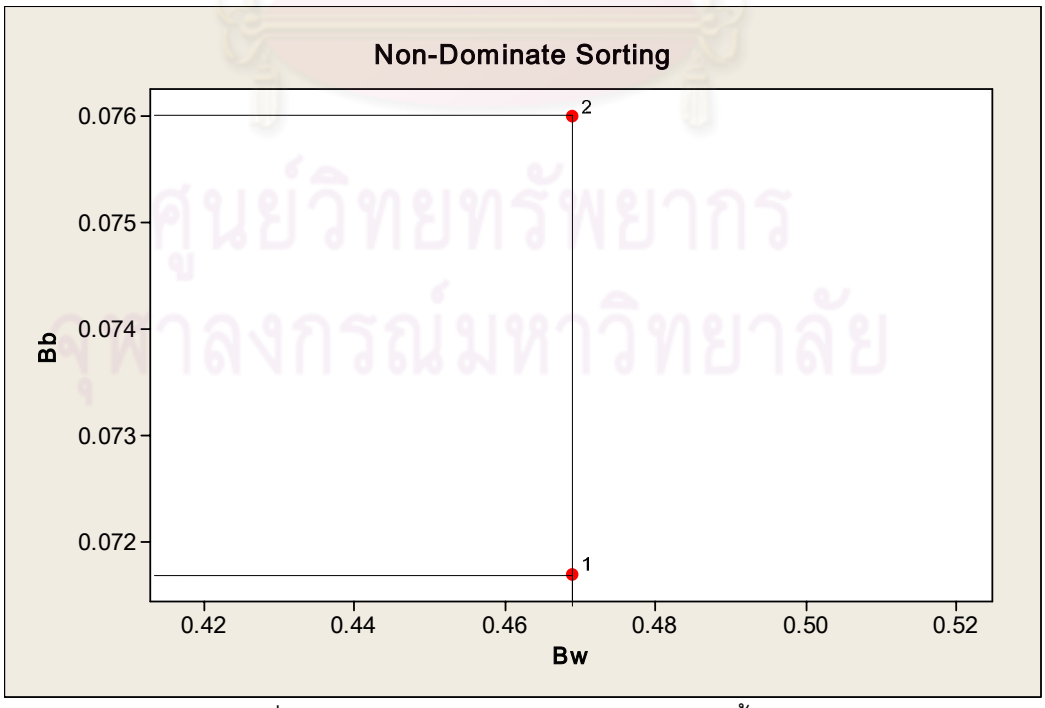
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.26 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.9 และตารางที่ 6.27



รูปที่ 6.9 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.27 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	2	0.0717	0.4688	1	Infinity	Gbest
	3	0.0760	0.4688	2	Infinity	-

6.3.3.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.28 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

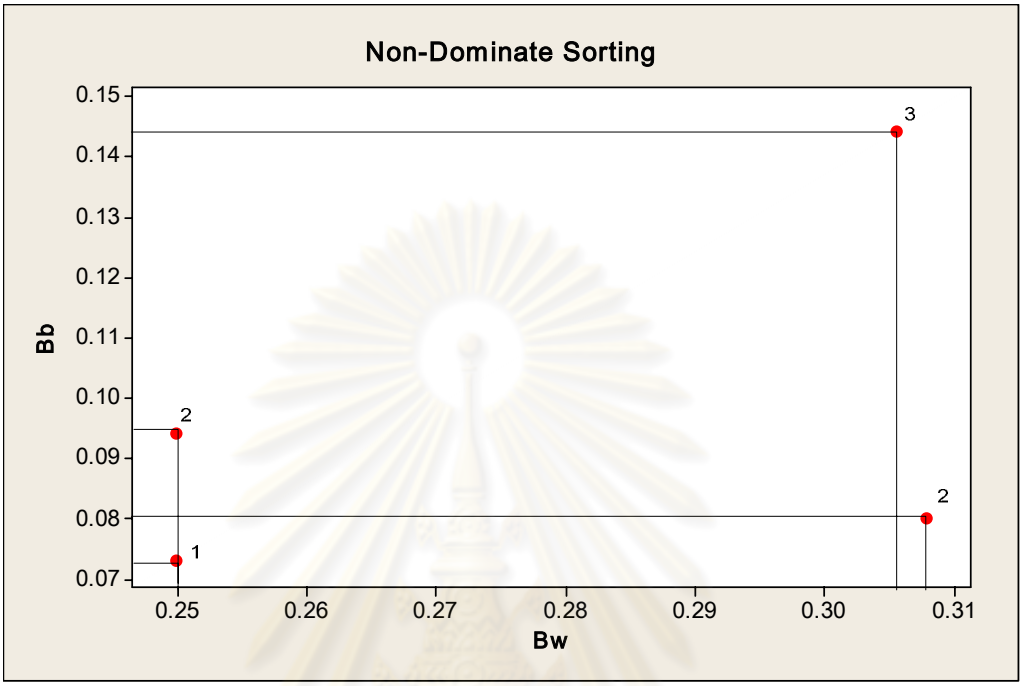
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0799	0.3078
	2	8	0.0717	0.4688
	3	8	0.0760	0.4688

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.29 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.0730	0.2500
	2	9	0.0941	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0799	0.3078

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.10 และตารางที่ 6.30



รูปที่ 6.10 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.30 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	1	0.0799	0.3078	2	Infinity	-
1	2	0.0941	0.2500	2	Infinity	-
1	3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Gworst

6.3.3.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 5 2 6 4 11 9 8 7 10 3]

6.3.4 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

6.3.4.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

6.3.4.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 11 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0.0909 + 0.01 = 0.1009 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0.0909 – 0.001 = 0.0899 ดังตารางดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909 + 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 11

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 6.31 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1009

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดท ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.01 = 0.0799

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.001 = 0.1009

ตารางที่ 6.32 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0799	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1019

3. Global Best Solution

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 11 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.1019 + 0.01 = 0.1119

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0799 - 0.001 = 0.0789

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 6.33 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0789	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1119

4. Global Worst Solution

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

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ซึ่งจะอัพเดท ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0789 - 0.01 = 0.0689

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 + 0.001 = 0.0909

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.1119 + 0.001 = 0.1129

ตารางที่ 6.34 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ดังนั้นตารางที่ 6.34 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.4.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (11, 1), (1,4), (4,2), …, (8,6) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 – 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,1) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,2) จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0+0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 1

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.35 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	0	0	-	0	0	0	0	0
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-	-0.0012
11	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,5), (5,2), (2,6), …, (10,3) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังตาราง

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,2) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = 0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,6) จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 3

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.36 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0123	***-0.0123***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0	0	0	***-0.0123***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0111***	0.0012	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	0	***-0.0123***	0
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0123***	-	0	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0	0	***-0.0123***	-	0	0
10	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0123***	0	-

3. Global Best Solution

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

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (11,10), (10,1), (1,4), …, (3,7) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,10) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ 0.0123 - 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (10,1) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (10,1) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (10,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,3) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (10,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,5) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (10,9) มีค่าเท่ากับ 0.0123 - 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (10,10) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (10,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0123 + 0.0111 = 0.0234

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 2

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0123 - 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.37 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	***0.0234***	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0135
5	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	-0.0123	***0.0123***	-	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	0	-0.0123	0
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0135	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0135	-	-0.0012	-0.0012
10	***0.0111***	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-	-0.0012
11	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0135	***0.0111***	-

4. Global Worst Solution

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

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,5), (5,2), (2,6), …, (10,3) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0111 = -0.0246

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0234 + 0.0012 = 0.0246

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,2) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0111 = -0.0123

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (2,6) จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (2,6) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0111 = -0.0246

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 13

ตำแหน่งที่ (2,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,2) มีค่าเท่ากับ 0

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งที่ (2,3) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ตำแหน่งที่ (2,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0012 = 0.0123

ตำแหน่งที่ (2,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0012 = 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 6.38 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0246	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0123	0	0	***-0.0246***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0.0123	0	0	***-0.0246***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0135	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0012
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0246***	-	0.0123	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	***-0.0246***	-	0	0
10	0.0123	0	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0246***	0.0123	-

ดังนั้นตารางที่ 6.38 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.4.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.39 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1246	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000
3	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.1000	0.1123	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1012	0.1012	0.1012	0.0766	0.1135	-	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.1012	0.1012	0.0766	0.1012
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.0754	-	0.1123	0.1000	0.1000
9	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0754	-	0.1000	0.1000
10	0.1123	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	-	0.1000
11	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1123	-

6.3.4.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

6.3.4.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.40 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

6.3.4.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.41 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.0123	-0.0123	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0.0123	0	0	-0.0123	0	0	0	0	0
3	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0136	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	-0.0123	0	0	0	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0123
6	0	0	0	-0.0123	0.0247	0	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0	0.0025	-0.0099	-0.0099	0.0025
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0235	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0.0123	0	-0.0123	0	0	0
10	0.0247	0	-0.0123	0	0	0	0	-0.0123	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0.0247	0

6.3.4.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.42 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
3	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0864	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0877
5	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877
6	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1247	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000
7	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	-	0.1025	0.0901	0.0901	0.1025
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1235	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0877	-	0.1000	0.1000
10	0.1247	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.0877	0.1247	-

6.3.6 การสร้างสตริงเบื้องต้นในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 1 จากรอบที่ 1 จะได้ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) และ การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) สำหรับการสร้างสตริงในแต่ละฝูง

ตารางที่ 6.43 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ตารางที่ 6.44 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

ตารางที่ 6.45 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0	0.0246	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0123	0	0	***-0.0246***	0	0	0	0.0123	0
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0	0.0123	0	-	0	0	0	0.0123	0	0	***-0.0246***
5	0	***-0.0123***	0	0	-	0	0	0.0123	0	0	0
6	0.0012	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0135	-	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
7	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0012	***-0.0234***	0.0012
8	0	0	0	0	0	0.0123	***-0.0246***	-	0.0123	0	0
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	***-0.0246***	-	0	0
10	0.0123	0	***-0.0246***	0	0	0	0	0	0.0123	-	0
11	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	***-0.0246***	0.0123	-

ตารางที่ 6.46 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0	0	0.0123	-0.0123	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0.0123	0	0	-0.0123	0	0	0	0	0
3	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0136	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	0	-0.0123	0	0	0	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	0	0	0	0	0	0	0	-0.0123
6	0	0	0	-0.0123	0.0247	0	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	0	0.0025	-0.0099	-0.0099	0.0025
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0235	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0.0123	0	-0.0123	0	0	0
10	0.0247	0	-0.0123	0	0	0	0	-0.0123	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0.0247	0

ตารางที่ 6.47 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1246	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000
3	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.1000	0.1123	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000
6	0.1012	0.1012	0.1012	0.0766	0.1135	-	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.1012	0.1012	0.0766	0.1012
8	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.0754	-	0.1123	0.1000	0.1000
9	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0754	-	0.1000	0.1000
10	0.1123	0.1000	0.0754	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	-	0.1000
11	0.1123	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1123	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.48 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1000	0.1123	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.1000	-	0.1123	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
3	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0864	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0877
5	0.1000	0.1123	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877
6	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1247	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000
7	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	-	0.1025	0.0901	0.0901	0.1025
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1235	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1123	0.1000	0.0877	-	0.1000	0.1000
10	0.1247	0.1000	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	-	0.1000
11	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0877	0.1000	0.0877	0.1247	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์ตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงโดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน ในแต่ละฝูงจะได้สตริงคำตอบ ดังนี้

First Swarm:

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

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

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

Second Swarm:

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

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

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

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 6.9 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time)

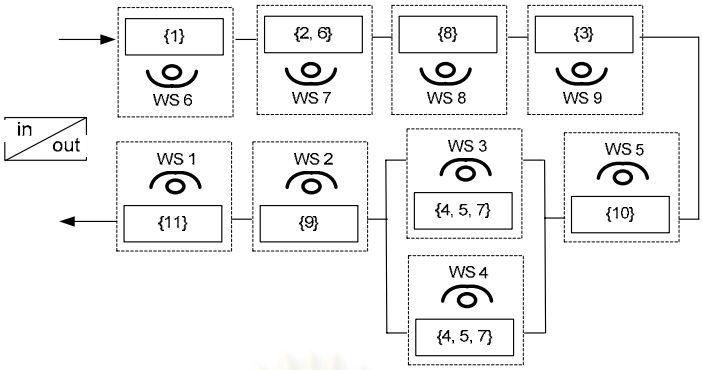
จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 6.49 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
11	4	0	4	1	6
9	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	2	6
7	3	3	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	3	12
4*	7	7	10	3	
5	1	10	11	3	
10	3.3333	11	14.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	4	6
1	6	3.3333	9.3333	เกินเวลา	
1	6	0	6	5	6
2	2	0	2	6	6
6	1.3333	2	3.3333	6	
8	4	3.3333	7.3333	เกินเวลา	
8	4	0	4	7	6
3	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	8	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 6.45 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 6.11



รูปที่ 6.11 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

ตารางที่ 6.50 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

6.3.7 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

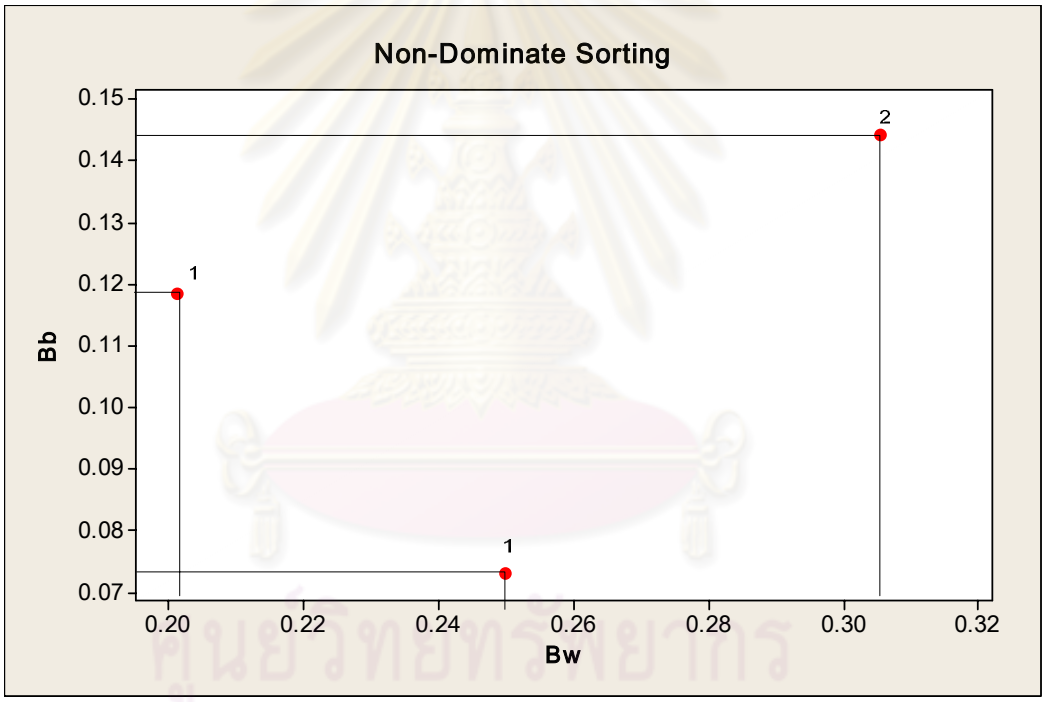
6.3.7.1 **การคัดเลือก** Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.12 และตารางที่ 6.51



รูปที่ 6.12 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.51 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0730	0.2500	1	Infinity	Lbest
1	0.1184	0.2014	1	Infinity	Lbest
3	0.1440	0.3056	2	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.52 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
2	8	0.1084	0.5313
3	9	0.1011	0.2847

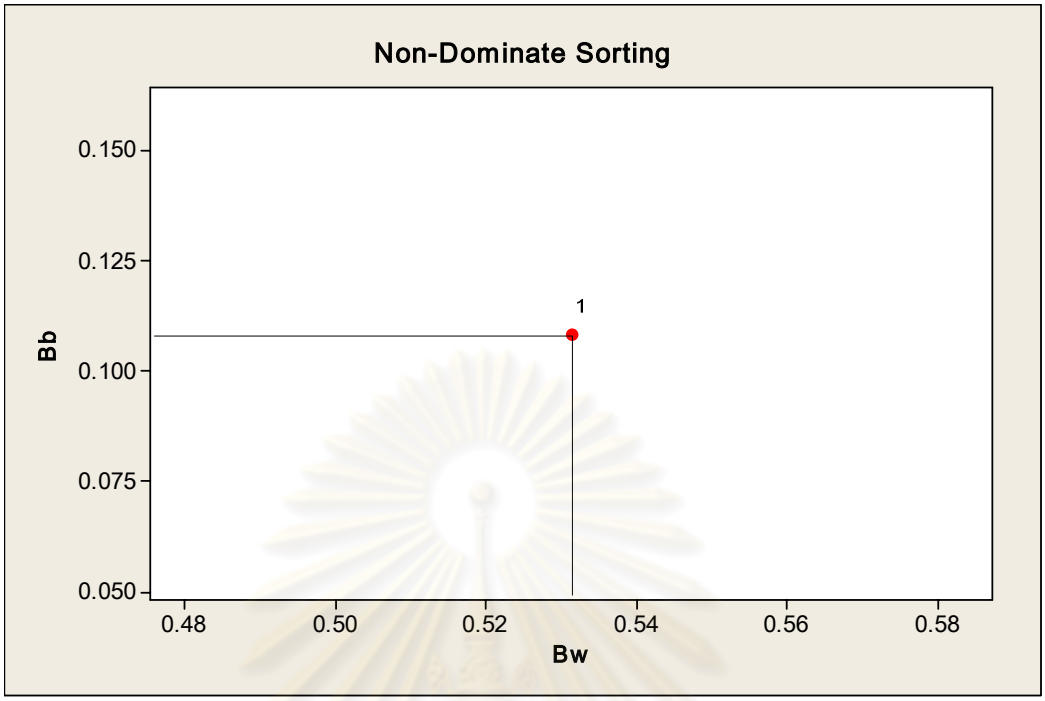
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.53 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	8	0.1084	0.5313

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.13 และตารางที่ 6.54

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.13 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.54 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.1084	0.5313	1	Infinity	Lbest

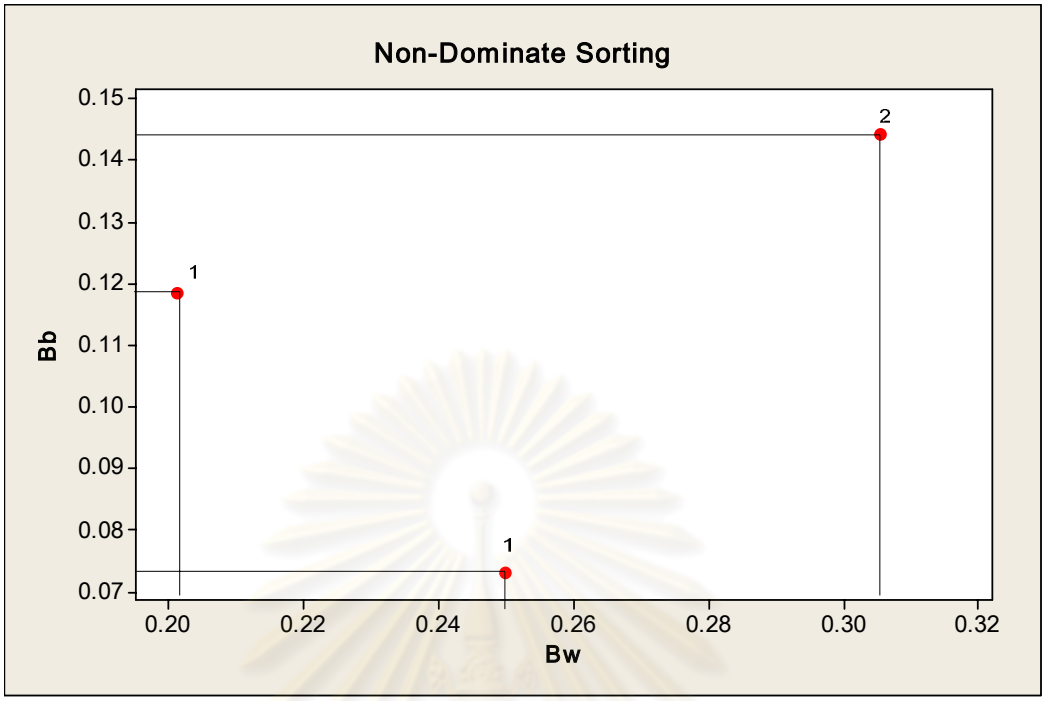
6.3.7.2 **การคัดเลือก** Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.14 และตารางที่ 6.55



รูปที่ 6.14 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 6.55 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
1	0.1184	0.2014	1	Infinity	-
3	0.1440	0.3056	2	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.56 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

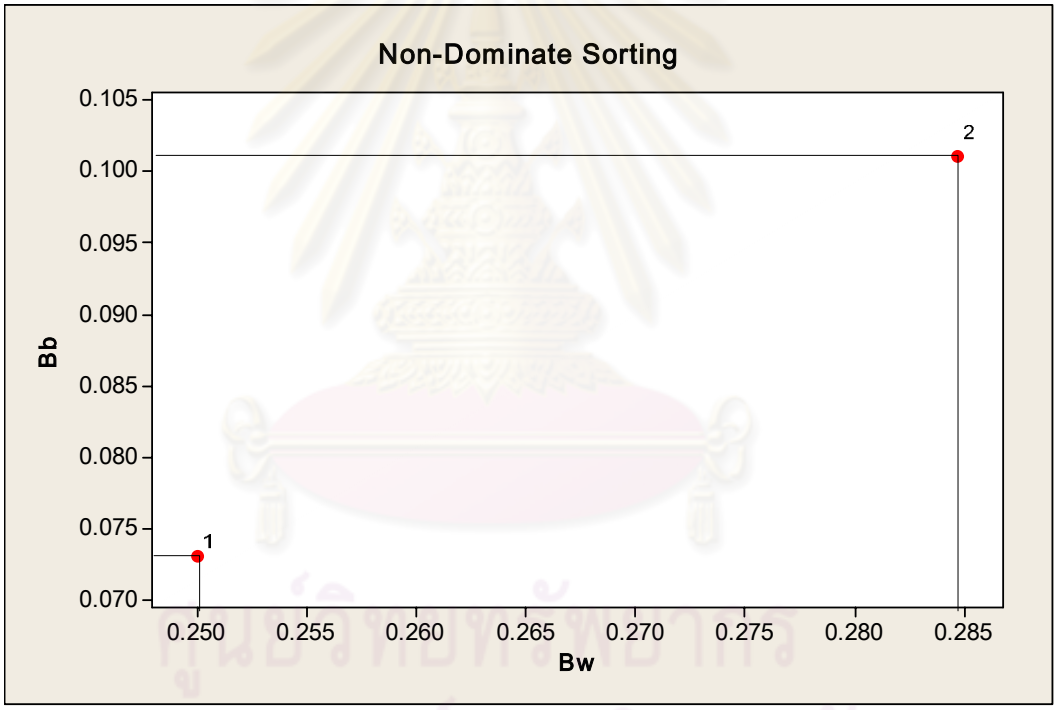
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
2	8	0.1084	0.5313
3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 6.57 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0730	0.2500
3	9	0.1011	0.2847

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.15 และตารางที่ 6.58



รูปที่ 6.15 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 6.58 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
3	0.1011	0.2847	2	Infinity	Lworst

6.3.7.3 **การคัดเลือก** Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.59 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

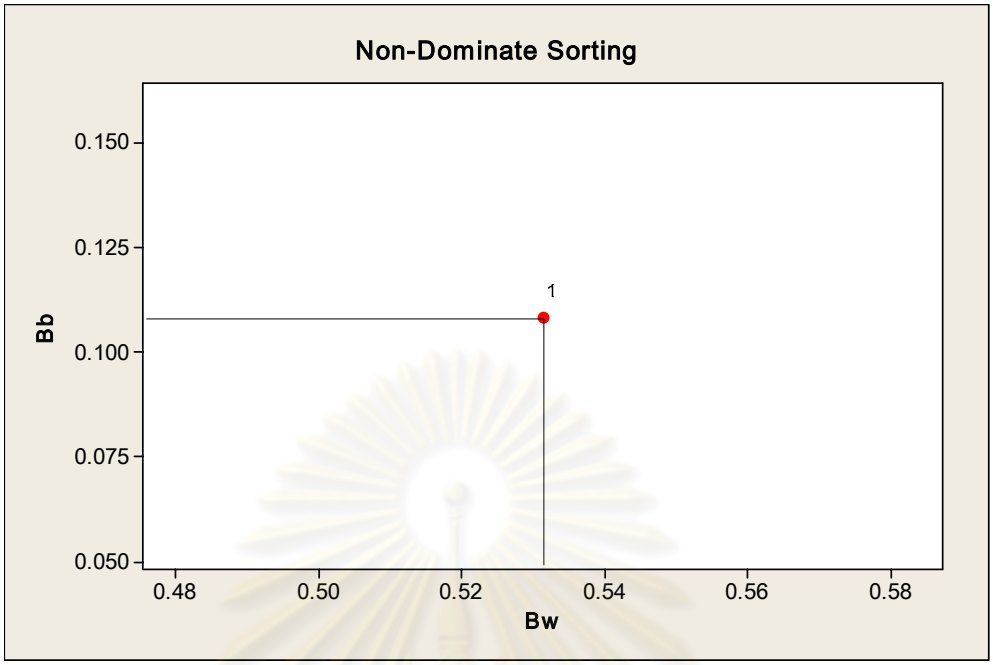
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.60 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	2	8	0.1084	0.5313

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.16 และตารางที่ 6.61



รูปที่ 6.16 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.61 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	2	0.1084	0.5313	1	Infinity	Gbest

6.3.3.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056

ตารางที่ 6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	1	9	0.0730	0.2500
	2	8	0.1084	0.5313
	3	9	0.1011	0.2847

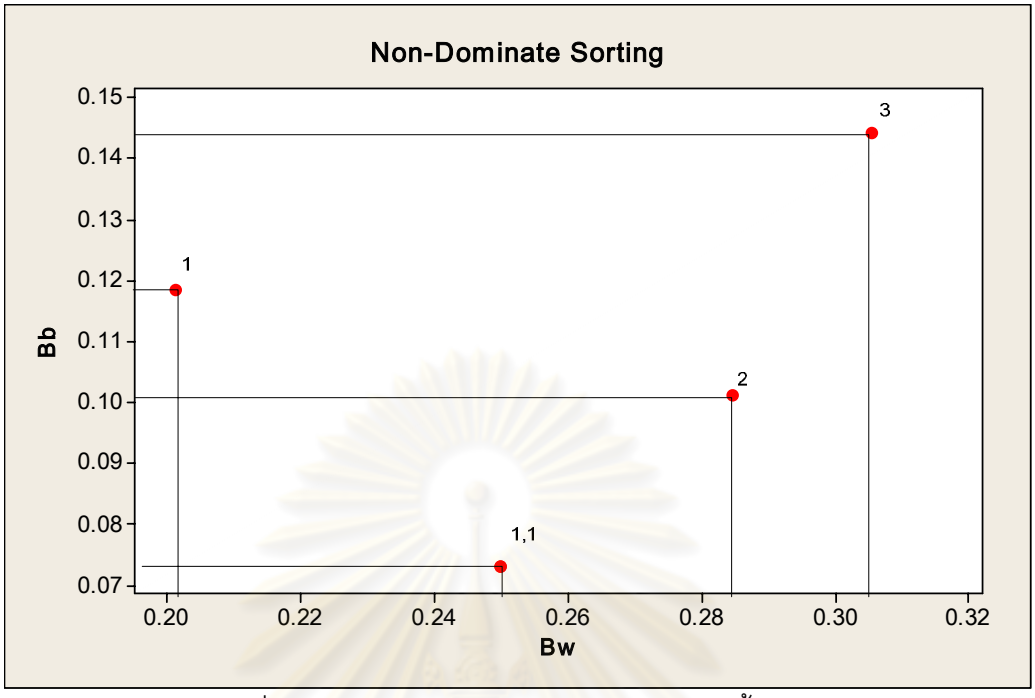
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 6.63 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	9	0.1184	0.2014
	2	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1440	0.3056
2	1	9	0.0730	0.2500
	3	9	0.1011	0.2847

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 6.17 และตารางที่ 6.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.17 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.64 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	2	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
1	1	0.1184	0.2014	1	Infinity	-
2	1	0.0730	0.2500	1	Infinity	-
2	3	0.1011	0.2847	2	Infinity	-
1	3	0.1440	0.3056	3	Infinity	Gworst

6.3.7.5 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

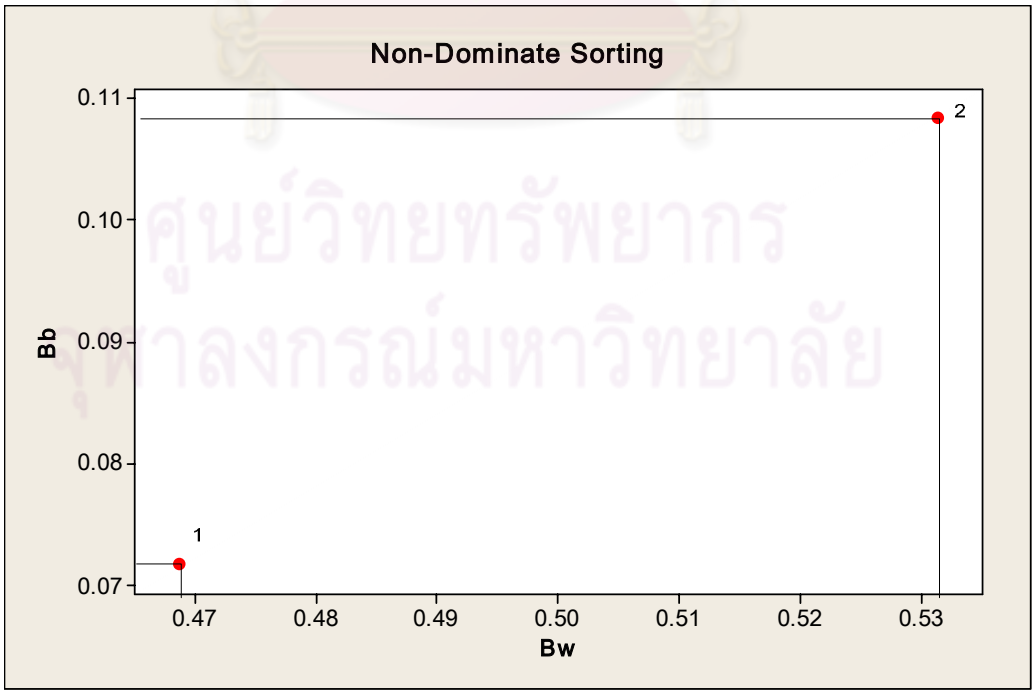
สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 1 3 2 9 4 7 6 5 8 10]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [11 10 1 5 4 2 6 3 8 9 7]

ทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุด ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ากับรอบนี้ ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting



รูปที่ 6.18 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.65 Non-Dominated Sorting ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด

รอบที่	ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance
1	1	2	0.0717	0.4688	1	Infinity
2	2	2	0.1084	0.5313	2	Infinity

สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้ในรอบต่อคือ

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

(ฝูงที่ 2) String 2 = [11 10 1 4 8 9 6 5 2 3 7]

6.3.8 การปรับปรุงตาราง

6.3.8.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

6.3.8.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 6.66 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0679	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.1229

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 6.67 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0699	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.1029

3. Global Best Solution

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

ตารางที่ 6.68 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.69 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0699	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.0919	0.1029

ดังนั้นตารางที่ 6.69 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.8.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 6.70 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	0.0234	***-0.0135***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0234***	-0.0012	-0.0012	-0.0258	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012
3	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036
4	-0.0012	***0.0234***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0258
5	-0.0012	-0.0135	-0.0012	***0.0111***	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
6	0	0	0	-0.0246	0.0123	-	***0.0123***	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0.0123	0	-	0	***0.0123***	-0.0246	0
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0234***	-0.0258	-	0.0111	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0.0123	0	0	0.0123	0	-0.0246	-	0	0
10	***0.0234***	-0.0012	-0.0258	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-	-0.0012
11	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0258	***0.0234***	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 6.71 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0111	0.0012	0.0258	***-0.0234***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
2	0.0012	-	0.0258	0.0012	0.0012	***-0.048***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	***-0.0024***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0.0012	***0.0135***	0.0012	-	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	0.0012	-0.0234
5	0.0012	-0.0111	0.0012	***0.0012***	-	0.0012	0.0012	0.0135	0.0012	-0.0111	0.0012
6	0.0024	0.0024	***-0.0099***	-0.0222	0.0147	-	0.0147	-0.0099	0.0024	0.0024	0.0024
7	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0135	0.0012	-	0.0012	0.0135	-0.0234	0.0012
8	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0258	-0.0234	-	***0.0012***	0.0012	0.0012
9	0.0024	0.0024	0.0147	0.0024	0.0024	0.0147	***-0.0222***	-0.0222	-	0.0024	0.0024
10	***0.0012***	0.0012	-0.0234	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	-	0.0012
11	0.0135	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0357	***0.0135***	-

3. Global Best Solution

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

ตารางที่ 6.72 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0123	***0.0123***	0.0246	-0.0246	0	0	0	0	0	0
2	0	-	0.0246	0	0	-0.0492	0	0	***0.0123***	0.0123	0
3	-0.0036	***0.0087***	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
4	0	0.0123	0	-	-0.0123	0	***0.0123***	0.0123	0	0	-0.0246
5	0	-0.0123	0	0	-	0	0	***0.0246***	0	-0.0123	0
6	0.0012	0.0012	-0.0111	-0.0234	***0.0258***	-	0.0135	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0012
7	0	0	0	-0.0123	0.0123	***0.0123***	-	0	0.0123	-0.0246	0
8	0	0	-0.0123	0	0	0.0246	-0.0246	-	0	***0.0123***	0
9	0.0012	0.0012	0.0135	***0.0135***	0.0012	0.0135	-0.0234	-0.0234	-	0.0012	0.0012
10	0.0012	0.0012	-0.0234	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0135	-	0.0012
11	***0.0246***	0	0	0	0	0	0	0	-0.0369	0.0123	-

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.73 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0111	0.0135	0.0258	***-0.0357***	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012
2	0.0012	-	0.0258	0.0012	0.0012	***-0.0603***	0.0012	0.0012	0.0135	0.0135	0.0012
3	-0.0024	0.0099	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	***-0.0147***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
4	0.0012	***0.0012***	0.0012	-	-0.0111	0.0012	0.0135	0.0135	0.0012	0.0012	-0.0234
5	0.0012	-0.0111	0.0012	***-0.0111***	-	0.0012	0.0012	0.0258	0.0012	-0.0111	0.0012
6	0.0024	0.0024	***-0.0222***	-0.0222	0.027	-	0.0147	-0.0099	0.0024	0.0024	0.0024
7	0	0	0	-0.0123	0.0123	0.0123	-	0	0.0123	-0.0246	0
8	0.0012	0.0012	-0.0111	0.0012	0.0012	0.0258	-0.0234	-	***-0.0111***	0.0135	0.0012
9	0.0024	0.0024	0.0147	0.0147	0.0024	0.0147	***-0.0345***	-0.0222	-	0.0024	0.0024
10	***-0.0099***	0.0024	-0.0222	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0024	0.0147	-	0.0024
11	0.0258	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	0.0012	-0.0357	***0.0012***	-

ดังนั้นตารางที่ 6.73 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

6.3.7.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.74 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0889	0.1135	0.1504	0.0397	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012
2	0.1012	-	0.1381	0.1012	0.1012	0.0151	0.1012	0.1012	0.1135	0.1258	0.1012
3	0.0952	0.1075	-	0.0952	0.0952	0.0952	0.1444	0.0829	0.0952	0.0952	0.0952
4	0.1012	0.1135	0.1012	-	0.0889	0.1012	0.1135	0.1258	0.1012	0.1012	0.0520
5	0.1012	0.0766	0.1012	0.0889	-	0.1012	0.1012	0.1381	0.1012	0.0889	0.1012
6	0.1036	0.1036	0.0790	0.0544	0.1405	-	0.1159	0.0913	0.1036	0.1036	0.1036
7	0.1012	0.1012	0.1012	0.0889	0.1258	0.1135	-	0.1012	0.1135	0.0520	0.1012
8	0.1012	0.1012	0.0889	0.1012	0.1012	0.1381	0.0520	-	0.1012	0.1135	0.1012
9	0.1024	0.1024	0.1270	0.1147	0.1024	0.1270	0.0655	0.0532	-	0.1024	0.1024
10	0.1024	0.1024	0.0532	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024	0.1024	0.1270	-	0.1024
11	0.1381	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.1012	0.0397	0.1135	-

6.3.8.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

6.3.8.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.75 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.0689	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.0909	0.1129

6.3.8.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

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

4. Global Worst Solution

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

ตารางที่ 6.76 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0	0.0247	0.0123	-0.0246	-0.0123	0	0	0	0	0
2	-0.0012	-	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0259	-0.0012	-0.0012	0.0235	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	0.0235	-	-0.0012	-0.0259	-0.0012	0.0235	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0123	-0.0246	0	-	0	0	0.0247	0.0247	0	0	-0.0123
5	0	0.0123	0	-0.0247	-	0	0	0.0247	0	0	-0.0123
6	0	-0.0123	-0.0123	-0.0123	0.0494	-	0	0	0	-0.0123	0
7	0.0013	0.0013	-0.0111	0.0013	0.0013	0.026	-	0.0013	-0.0111	-0.0111	0.0013
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0259	-	0.0112	0.0235	-0.0012
9	0	0	0	0.0247	0	0.0123	-0.0123	-0.0246	-	0	0
10	0.0148	0.0025	-0.0098	0.0025	0.0025	0.0025	0.0025	-0.0098	-0.0099	-	0.0025
11	0.0247	0	0	0	0	0	-0.0123	0	-0.0123	0	-

6.3.8.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (6.2) ดังนี้

ตารางที่ 6.77 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1000	0.1247	0.1246	0.0631	0.0877	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000
2	0.0988	-	0.1234	0.0988	0.0988	0.0618	0.0988	0.0988	0.1235	0.0988	0.0988
3	0.0976	0.1223	-	0.0976	0.0605	0.0976	0.1470	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976
4	0.0877	0.0631	0.1000	-	0.1000	0.1000	0.1247	0.1494	0.1000	0.1000	0.0754
5	0.1000	0.1246	0.1000	0.0753	-	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1000	0.0754
6	0.1000	0.0877	0.0877	0.0754	0.1741	-	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000
7	0.1038	0.1038	0.0914	0.1038	0.1038	0.1285	-	0.1038	0.0790	0.0790	0.1038
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0605	-	0.1347	0.1223	0.0976
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1247	0.1000	0.1246	0.0877	0.0631	-	0.1000	0.1000
10	0.1395	0.1025	0.0779	0.1025	0.1025	0.1025	0.1025	0.0779	0.0901	-	0.1025
11	0.1247	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.0754	0.1000	0.0754	0.1247	-

6.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

6.4.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลอง

6.4.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

6.4.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง

จำนวนอนุภาคเป็นจำนวนกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4.4 **จำนวนฝูง**

จำนวนฝูงเป็นจำนวนอนุภาคหรือสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

6.4.5 **น้ำหนักการหน่วง**

น้ำหนักการหน่วงที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 น้ำหนักการหน่วงจะเป็นการกำหนดค่าของแต่ละฝูงด้วยน้ำหนักที่ได้จากการเคลื่อนที่โดยจะทำการเก็บค่าการเคลื่อนที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสำรวจค่าที่ดีที่สุด

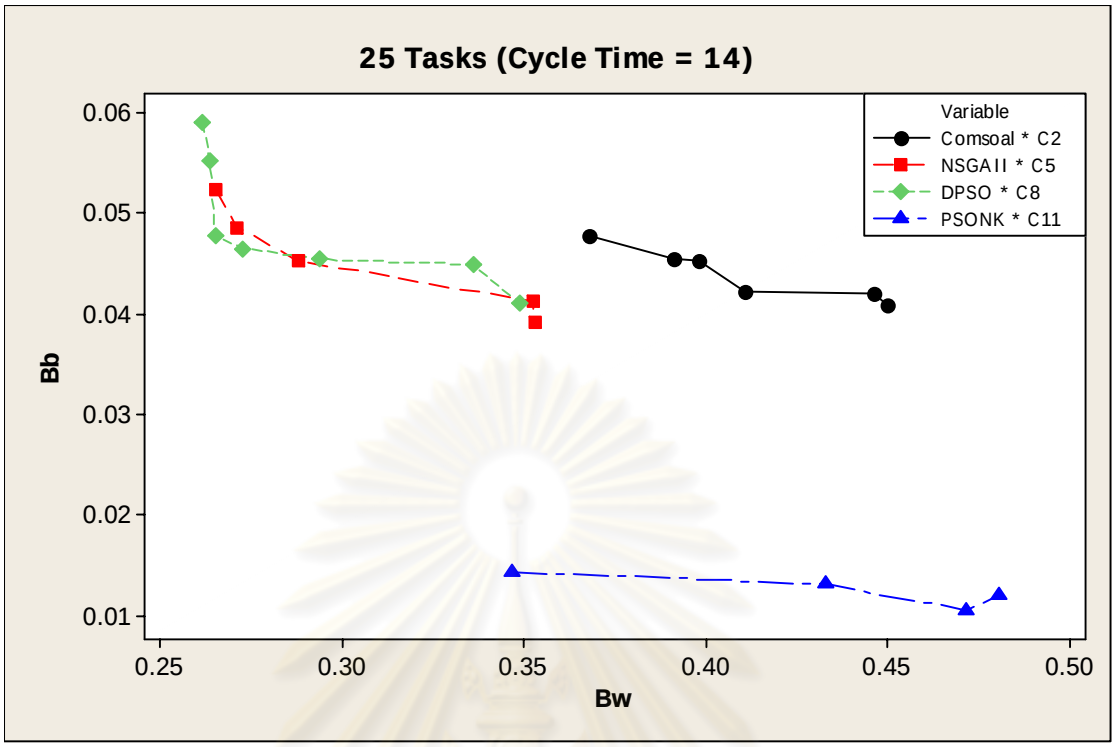
6.4.6 **ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้**

ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้เป็นปัจจัยที่กำหนดที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดความสำคัญของในแต่ละฝูง

6.5 **การเปรียบเทียบผลการทดลอง**

การเปรียบเทียบคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ผ่านมาคือ อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II และการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ดังรูปที่ 6.18

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.18 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO และ PSONK

6.6 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการในการหาคำตอบอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการพัฒนาการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็วและได้คำตอบที่ดีที่สุดและเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการอัลกอริทึมที่ผ่านมาจากบทก่อนหน้านี้ ทำให้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าอัลกอริทึมวิธีอื่น

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมร่วมกับการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (M-PSONK) ซึ่งใช้ในการประยุกต์การคัดเลือกคำตอบ โดยใช้หลักความน่าจะเป็น ในบทนี้จะเสนอหลักการวิธีอัลกอริทึม แนวคิด ลักษณะการตัดทอนคำตอบอัลกอริทึมและตัวอย่างอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

7.1 เมมเมติกอัลกอริทึม

เมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ เป็นวิธีการทำให้เกิดการผสมพันธ์หรือลูกผสมเพื่อให้ได้คำตอบที่หลากหลายเพื่อนำไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด หลักการของเมมเมติกอัลกอริทึมมีพื้นฐานจากการคัดเลือกตามธรรมชาติ โดยใช้คำตอบที่ได้จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในการกำหนดความแข็งแรงของสตริงคำตอบเพื่อค่าที่ดีที่สุด ขั้นตอนการหาเมมเมติกอัลกอริทึม (Merz and Freisleben, 1999) สามารถหาค่าได้ดังนี้

1. การเตรียมข้อมูลรายละเอียดที่ใช้ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้น (Initial Population)

3. คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ

4. การหาค่าที่เหมาะสม ใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. การค้นหาเฉพาะที่ ทำการค้นหาเฉพาะตามจำนวนที่กำหนดค่าไว้ต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุด

6. ปรับประชากรให้เหมาะสมเพื่อใช้ในการหาสตริงคำตอบเริ่มต้นต่อไป

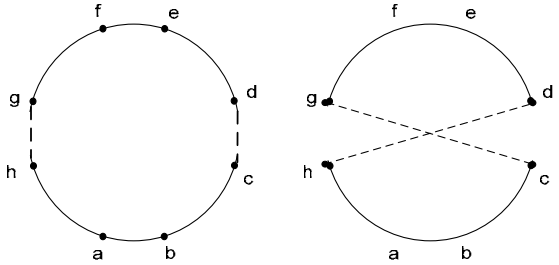
7.2 การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ เป็นฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุด ที่มีวิธีการทำซ้ำอย่างง่าย เพื่อการหาคำตอบที่ดี โดยมีแนวคิดมาจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) ที่มีการเริ่มต้นด้วยการสุ่มเลือกสมาชิกคำตอบเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งหรือการเคลื่อนย้ายจากตำแหน่งเดิมไปสู่ตำแหน่งอื่น ๆ เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งจะมีรูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ตามที่กำหนด คำตอบที่ได้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) และทำการค้นหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนครั้งในการทำการซ้ำ หรือไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดีกว่าเดิม

7.2.1 รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ในปัญหาการเดินของพนักงานขาย

ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย(Traveling Salesman Problem: TSP) เป็นการหาคำค่าเหมาะสมที่สุดเชิงจัด มีลักษณะปัญหาแบบ NP-hard คือพนักงานขายต้องเดินทางไปพบลูกค้าซึ่งลูกค้าแต่ละรายจะอยู่ในเมืองที่แตกต่างกัน โดยจำนวนเมืองทั้งหมดเท่ากับ n พนักงานขายที่จะต้องเลือกเส้นทางในการเดินทางที่สามารถไปยังแต่ละเมืองได้เพียงเมืองละ 1 ครั้งเท่านั้น และย้อนกลับมายังเมืองเริ่มต้นอีกครั้งหนึ่ง โดยกำหนดระยะทางแต่ละคู่ของเมืองให้ พนักงานขายจะมีหน้าที่ในการหาเส้นทางที่มีการเดินทางทั้งหมดที่น้อยที่สุด วิธีในการค้นหาเฉพาะที่ได้มีการมาใช้ในปัญหาการเดินทางของพนักงานมีทั้งหมด 7 วิธี (Kumar and Singh, 2007) คือ วิธี Pairwise Interchange (PI), วิธี Adjacent Pairwise Interchange (API), วิธี Shift Procedure หรือ Insertion Procedure, วิธี 2-Opt, วิธี 3-Opt, วิธี Or-Opt และ วิธี Double-bridge ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีการค้นหาที่แตกต่างกันขึ้นอยู่กับสถานการณ์ของปัญหา โดยงานวิจัยนี้ได้มีการนำวิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่มาใช้ในงานวิจัย คือวิธี 2-Opt

การค้นหาเฉพาะที่ด้วย วิธี 2-Opt เป็นการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้ โดยวิธีนี้เป็นวิธีที่นิยมกันมาก เพราะสามารถหาคำตอบที่ต้องการได้และเป็นคำตอบที่ดีและยังใช้เวลาในการคำนวณน้อยมาก



ก่อนทำวิธี 2-Opt หลังทำวิธี 2-Opt

รูปที่ 7.1 ก่อนและหลังการแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt

จากรูปที่ 7.1 จะเห็นได้ว่าลำดับทางเดินจะเปลี่ยนไป ก่อนทำวิธี 2-Opt จะมีลำดับทางเดิน a – b – c – d – e – f – g – h เมื่อทำวิธี 2-Opt แล้วลำดับทางเดินจะเป็น a – b – c – g – f – e – d – h

7.2.2 **ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่**

ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่มี 2 รูปแบบคือ

7.2.2.1 **การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก** (First improvement)

หลักการค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรกนี้จะทำการสุ่มประชากรที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ ที่ไม่อิงลำดับตำแหน่งการค้นหาเฉพาะที่ แล้วการค้นหาคำตอบไป *k* คำตอบ จนกระทั่งพบคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมจะหยุดทำการค้นหาเฉพาะที่

7.2.2.2 **การค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุด** (Best improvement)

หลักการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุดนี้จะทำการค้นหาคำตอบทุกคำตอบใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบัน และยอมรับค่าที่ดีที่สุดของวัตถุประสงค์ และดำเนินการค้นหาคำตอบจนไม่สามารถให้คำตอบที่ดีกว่านี้ได้ ดังนั้นสมรรถนะของการค้นหาแบบปรับปรุงดีที่สุดนั้นค่อนข้างจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดแบบวงกว้าง อาจจะทำให้สูญเสียเวลาในการค้นหามาก

7.2.3 **ความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่**

ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ ในที่นี้จะกำหนดให้ใช้การค้นหาเฉพาะที่ในทุกๆ 10 รอบ

7.2.4 คำตอบที่ทำการค้นหาเฉพาะที่

คำตอบที่นำไปใช้ในการค้นหาเฉพาะที่ ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (P_{LS}) ที่ทำการกำหนดขึ้นมา โดยคำตอบที่ทำการเลือกมานั้นจะต้องเป็นคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงน้อยที่สุด

7.2.5 การทำซ้ำในแต่ละรอบ

จำนวนการทำซ้ำในแต่ละรอบจะขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่กำหนด คือค่า k และถ้าการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงคำตอบที่ดีได้ใน k ครั้งติดต่อกัน จะทำการหยุดการค้นหาเฉพาะที่

7.3 การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีโครงสร้างการคำนวณเช่นเดียวกับวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบที่ได้กล่าวไว้ในตอนต้น โดยทำการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่เข้าไปหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นและหลังการสิ้นสุดกระบวนการ เพื่อเพิ่มความหลากหลายของประชากรคำตอบเบื้องต้นก่อนเข้าสู่กระบวนการ ในการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่หลังสิ้นสุดกระบวนการค้นหาคำตอบเป็นการปรับปรุงคำตอบสุดท้ายให้ดีขึ้นจนไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้นได้อีก วิธีการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้คือ 2-Opt

เมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการทางฮิวริสติกที่ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด โดยใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ เป็นวิธีการทำให้เกิดการผสมพันธ์หรือลูกผสม โดยมีวัตถุประสงค์

7.4 ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. **การเตรียมข้อมูล** (Data Input)

การเตรียมข้อมูลที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เพื่อใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลจะใช้จำนวนผลิตภัณฑ์ แผนภาพแสดงความสัมพันธ์ของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงาน และเวลาที่ใช้จะใช้เวลาเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน

2. **การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น** (Representation & Initialization)

สร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1\times n$ โดยมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n$

ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางความเร็วของอนุภาค (Velocity Matrix) มีขนาด $n\times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดย Joint Probability Matrix มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1)$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนค่า Velocity Matrix เริ่มต้นจะมีเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) และจึงทำการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก เพื่อหาลำดับงานแรก และใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

3. **การค้นหาเฉพาะที่** (Local Search Heuristic)

จำนวนในการค้นหาเฉพาะที่นี้จะใช้จำนวน k ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบเริ่มต้นแล้ว

4. **การซ่อมแซมสตริงคำตอบ** (Repair String)

ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

5. **การประเมินค่า** (Evaluation)

คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ต้องการ ในที่นี้จะใช้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้แก่ จำนวนสถานีงานที่มีสถานีขนาน จำนวนสถานีงาน ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงานของประชากรคำตอบ

6. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach)

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

7. การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงที่ได้ในจากการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

8. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix)

การปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \tag{7.1}$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \tag{7.2}$$

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

โดยแบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ดังนี้

8.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix)

ทำการปรับปรุง First Walk Probability Matrix โดยดูงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$

8.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix)

ค่าจากการเคลื่อนที่ (Velocity) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่าสุ่ม โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

8.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix)

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (7.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

9. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population)

นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated

Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

10. **สิ้นสุดกระบวนการ** (Stopping Criteria)

เมื่อการคำนวณตามขั้นตอนครบแล้ว ดูว่าครบตามจำนวนเจนเนอเรชันที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ครบให้วนใหม่ซ้ำอีกจนกว่าจะครบตามเจนเนอเรชันที่กำหนด เมื่อครบกำหนดแล้วจึงนำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดมาเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

11. **การค้นหาเฉพาะที่** (Local Search Heuristic)

จำนวนในการค้นหาเฉพาะที่นี้จะใช้จำนวน k ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่หลังจากที่ได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อสิ้นสุดกระบวนการหาคำตอบแล้ว

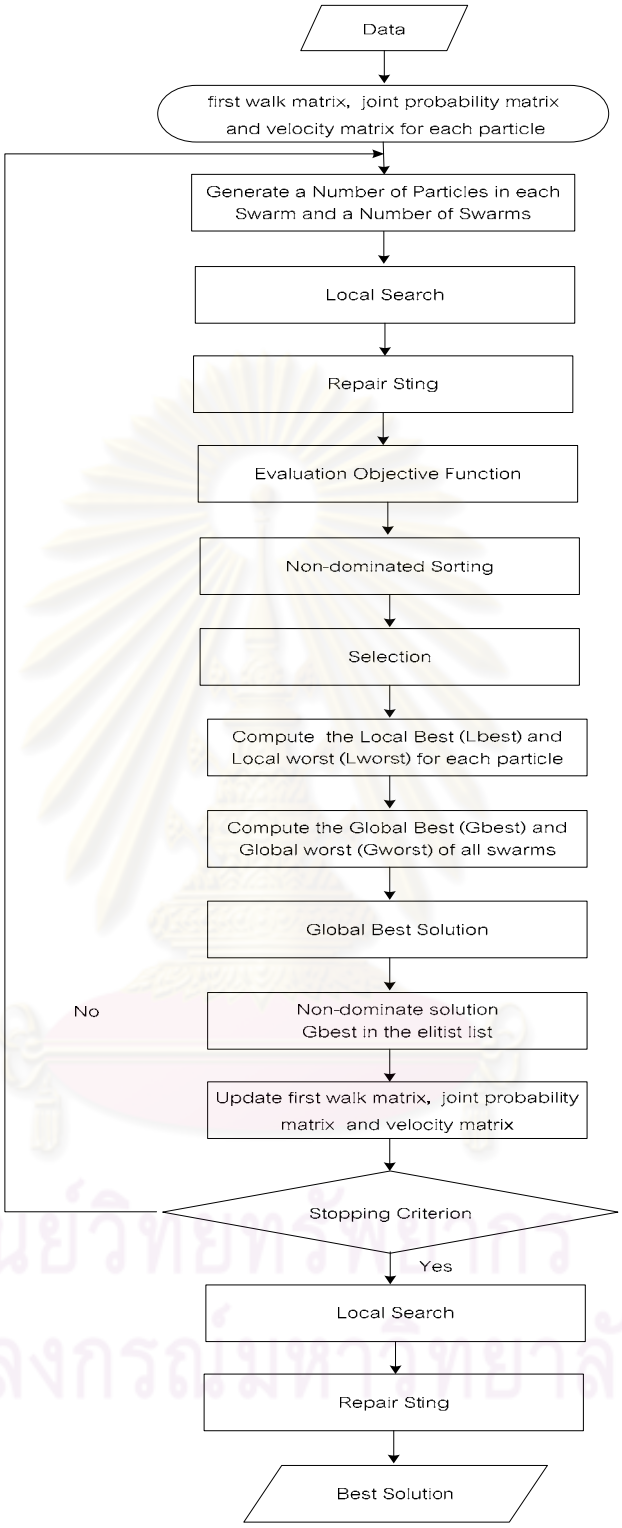
12. **การซ่อมแซมสตริงคำตอบ** (Repair String)

ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

13. **คำตอบที่ดีที่สุด** (Best Solution)

หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในการซ่อมแซมสตริงคำตอบมาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 7.2 ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากขั้นตอนของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน จากที่ได้นำเสนอขั้นตอนมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างของสายการผลิตแบบผสมของปัญหา Jackson (1956) มีงานทั้งหมด 11 งาน จำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ได้แก่ A, B และ C มีรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานีงานเท่ากับ 6 ซึ่งมีความสัมพันธ์ของแต่ละงานดังนี้

7.5.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

7.5.1.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ M-PSONK ที่ใช้ในตัวอย่าง

1. จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarm) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 3

2. จำนวนฝูง (Number of Swarms) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 2

3. น้ำหนักการหน่วง (Inertia Weight : w) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

4. ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ (Learning Factor : c_1, c_2) กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 0.1

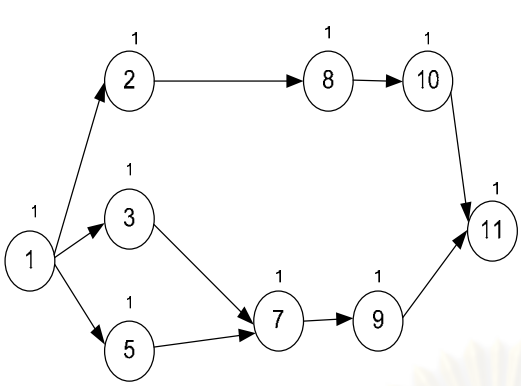
5. การค้นหาเฉพาะที่

   5.1 ใช้วิธีแบบ 2-Opt

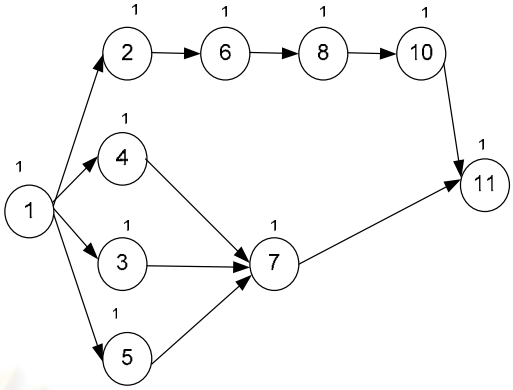
   5.2 ความถี่ที่ใช้ใช้ทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงาน

   5.3 จำนวนซ้ำในการค้นหาเฉพาะที่ ใช้จำนวน 5 ครั้งต่อการค้นหาเฉพาะที่

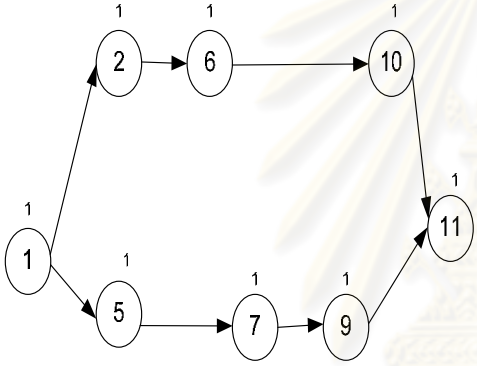
7.5.1.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 7.3



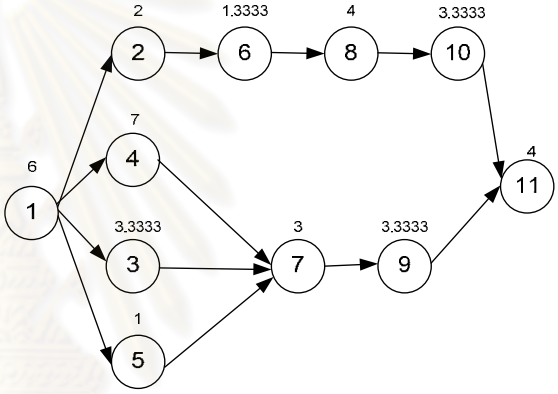
แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B, C

รูปที่ 7.3 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956)

7.5.1.3 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละขั้นงาน จากปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นงานของ Jackson (1956) ได้ทำการประยุกต์เวลาการทำงานจากเดิมงานที่ 4 มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 7 และผลิตภัณฑ์ A, C มีค่าเท่ากับ 0 เนื่องจากเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ B เกินรอบเวลาในการทำงานในแต่ละสถานี (Cycle Time = 6) งานที่ 4 จึงสามารถมีสถานีขนานได้ จึงทำการปรับค่าเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ในงานที่ 4 จากเดิมที่มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A เท่ากับ 7 ผลิตภัณฑ์ B เท่ากับ 0 และผลิตภัณฑ์ C เท่ากับ 0 ให้มีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ที่สูงที่สุดคือ 7 ทั้งหมด ดังนั้นงานที่ 4 จะมีเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ A, B และ C เท่ากับ 7 จากนั้นจึงทำการจัดงานลงสถานีงานโดยจะใช้ค่าเฉลี่ยเวลาการทำงานของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดจากเวลาที่ได้ทำการปรับแล้ว (Modified Time Model) ดังตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละขั้นงาน

Task	Time Model (Jackson, 1956)			Modified Time Model			สถานีงานขนาน	Mean
	A	B	C	A	B	C		
1	6	6	6	6	6	6	-	6.0000
2	2	2	2	2	2	2	-	2.0000
3	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
4	***0***	***7***	***0***	***7***	***7***	***7***	***1***	***7***
5	1	1	1	1	1	1	-	1.0000
6	0	2	2	0	2	2	-	1.3333
7	3	3	3	3	3	3	-	3.0000
8	6	6	0	6	6	0	-	4.0000
9	5	0	5	5	0	5	-	3.3333
10	5	5	0	5	5	0	-	3.3333
11	4	4	4	4	4	4	-	4.0000

7.5.1.4 สร้างตาราง Precedence Matrix Font และ Precedence Matrix Back จากแผนภาพความสัมพันธ์รวม รูปที่ 7.3 จะได้ดังตารางที่ 7.2 – 7.3

ตารางที่ 7.2 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)

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

ตารางที่ 7.3 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)

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

7.5.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้น ขั้นตอนนี้จะทำการเลือกขั้นงานมาจากตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) และตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) เพื่อใช้ในการเลือกงานในอันดับแรก

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเมทริกซ์ของประชากรเริ่มต้นเพื่อใช้ในการเลือกงานแรกในการจัดลำดับการสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $1\times n = 1\times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด และมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมด ซึ่งมีค่าเท่ากับ $1/n = 1/11 = 0.0909$

ตารางที่ 7.4 ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)

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

การสร้างตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะมีขนาดเท่ากับ $n\times n = 11\times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ 0

การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) จะมีขนาดเท่ากับ $n \times n = 11 \times 11$ โดย n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด เส้นทแยงมุมของตารางความน่าจะเป็นร่วมจะมีค่าเท่ากับ 0 และมีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1) = 1/10 = 0.1$

ตารางที่ 7.5 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
2	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
3	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
4	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
5	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
6	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1
7	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1	0.1
8	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1	0.1
9	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1	0.1
10	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-	0.1
11	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์แรกตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง โดยมีวิธีการสร้างสตริงคำตอบดังนี้

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 1

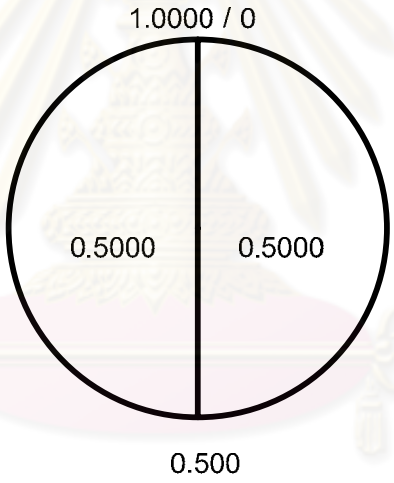
1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ในตารางที่ 7.2 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ในตารางที่ 7.3 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 7.2 คือขั้นงานที่ 1 และในตารางที่ 7.3 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 และ 11 พิจารณาจากตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรกในตารางที่ 7.4 พบว่าขั้นงานที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.0909 และ 11 มีค่าเท่ากับ 0.0909 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 1 ได้คือขั้นงานที่ 1 จึงนำขั้นงานที่ 1 ซึ่งเป็นขั้นงานที่สามารถทำได้แบบย้อนกลับมาจัดลำดับเป็นขั้นงานแรก

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 1 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 7.6 การสร้างวงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกงาน

ขั้นงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงาน	ค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือก	ค่าความน่าจะเป็นสะสม
1	0.0909	0.5000	0.5000
11	0.0909	0.5000	1
รวม	0.1818	1	



รูปที่ 7.4 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกขั้นงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.7 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

ตารางที่ 7.8 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 1 คือ 1

สตริงคำตอบที่ 1: ลำดับงานที่ 2

1. ทำการเลือกงานจากความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 7.7 และความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1 ในตารางที่ 7.8 ที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าในตารางที่ 7.7 คือขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 และในตารางที่ 7.8 คืองานที่ 11 เป็นขั้นงานทีสามารถเลือกได้

2. ขั้นงานที่สามารถเลือกลงลำดับงานที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 1, 9 และ 10 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) โดยการพิจารณาในแถวที่ 1 ซึ่งเป็นงานที่จัดลำดับไว้ก่อนหน้า พบว่าขั้นงานที่ 2, 3, 4, 5 มีค่าเท่ากับ 0.1, 0.1, 0.1, 0.1 ตามลำดับ และขั้นงานที่ 11 มีค่าเท่ากับ 0.1 ทำการสุ่มเลือกงาน โดยใช้วิธีการสุ่มเลือกแบบลูเล็ต (Roulette Wheel Selection) ของ Goldberg (1989) โดยทำการสุ่มค่ามา 1 ตัวเพื่อเลือกขั้นงานที่จะลงในลำดับที่ 2 ได้คือขั้นงานที่ 2

3. ปรับปรุงตารางของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) โดยทำการเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 2 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 2 เป็น 1 ทั้งหมด ส่วนในตารางความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการเปลี่ยนให้คอลัมน์ที่ 2 เป็น 1 ทั้งหมดและในแถวที่ 2 ให้เปลี่ยนเป็น 0 ทั้งแถว

ตารางที่ 7.9 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

ตารางที่ 7.10 ความสัมพันธ์ของขั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2

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

4. จะได้สตริงคำตอบที่ 1 ในลำดับงานที่ 2 คือ 1, 2

ทำซ้ำขั้นตอนเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในสตริงคำตอบของลำดับขั้นงานโดยสามารถสรุปเป็นตารางการคัดเลือกของลำดับขั้นงานที่ 1 ได้ดังนี้

ตารางที่ 7.11 การคัดเลือกลำดับขั้นงานที่ 1

No	ลำดับขั้นงานข้างหน้า	ลำดับขั้นงานข้างหลัง	Selected
1	1	11	1
2	2, 3, 4, 5	11	2
3	3, 4, 5, 6	11	11
4	3, 4, 5, 6	9, 10	10
5	3, 4, 5, 6	8, 9	6
6	3, 4, 5, 8	8, 9	9
7	3, 4, 5, 8	7, 8	7
8	3, 4, 5, 8	8	8
9	3, 4, 5	3, 4, 5	4
10	3, 5	3, 5	5
11	3	3	3

ทำการหาลำดับขั้นงานในการทำงานทั้งหมด จะได้สตริงลำดับงานทั้ง 6 ตัว ดังนี้

First Swarm:

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

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

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

Second Swarm:

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

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

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

7.5.3 การค้นหาเฉพาะที่

ทำการค้นหาเฉพาะที่ในแต่ฝูง โดยจะทำการค้นหาเฉพาะที่ฝูงละ 5 รอบ (ซึ่งจะกำหนดให้ทำการค้าหาเฉพาะที่ในทุก 10% ของจำนวนรอบการทำงาน)

7.5.3.1 วิธี 2-Opt

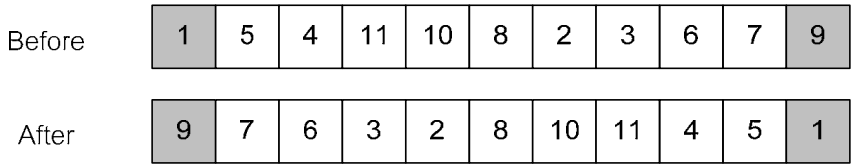
การค้นหาเฉพาะที่ด้วย วิธี 2-Opt เป็นการค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้ โดยทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมา 2 ตำแหน่งและทำการสลับตำแหน่ง และสลับตำแหน่งที่เหลือภายในที่อยู่ระหว่าง 2 ตำแหน่งที่สุ่มมาได้ดังนี้

Before	1	2	11	10	6	9	7	8	4	5	3
After	1	2	11	10	6	9	7	8	5	4	3

รูปที่ 7.5 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt

Before	1	11	3	9	10	5	2	6	7	8	4
After	1	11	3	9	10	8	7	6	2	5	4

รูปที่ 7.6 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 2 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt



รูปที่ 7.7 การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 3 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt

ทำการค้นหาเฉพาะที่เป็นจำนวน 5 ครั้งได้ดังนี้

ตารางที่ 7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1	0	1	[1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]
		2	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 8 4]
		3	[1 5 4 11 10 8 2 3 6 7 9]
	1	4	[1 2 11 10 6 9 7 8 5 4 3]
		5	[1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]
		6	[9 7 6 3 2 8 10 11 4 5 1]
	2	7	[7 9 6 10 11 2 1 8 4 5 3]
		8	[1 11 3 9 10 5 2 6 8 7 4]
		9	[1 6 3 2 8 10 11 4 5 7 9]
	3	10	[10 11 2 1 6 9 7 8 4 5 3]
		11	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 4 8]
		12	[1 4 5 11 10 8 2 3 6 7 9]
	4	13	[1 2 7 9 6 10 11 8 4 5 3]
		14	[1 11 3 9 8 7 6 2 5 10 4]
		15	[1 5 7 6 3 2 8 10 11 4 9]
	5	16	[1 5 4 8 7 9 6 10 11 2 3]
		17	[1 11 9 3 10 5 2 6 7 8 4]
		18	[1 5 8 10 11 4 2 3 6 7 9]
2	0	1	[1 4 3 2 6 11 10 5 8 7 9]
		2	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		3	[11 1 3 2 5 9 10 6 4 8 7]

ตารางที่ 7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt (ต่อ)

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
2 (ต่อ)	1	4	[8 5 10 11 6 2 3 4 1 7 9]
		5	[11 9 2 5 1 6 10 3 8 4 7]
		6	[11 1 3 2 5 9 7 8 4 6 10]
	2	7	[1 4 3 2 6 5 10 11 8 7 9]
		8	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 7 4]
		9	[11 1 3 2 5 9 7 8 4 6 10]
	3	10	[1 4 3 2 6 11 10 8 5 7 9]
		11	[11 9 1 5 2 6 10 8 3 4 7]
		12	[11 8 4 6 10 9 5 2 3 1 7]
	4	13	[1 4 8 5 10 11 6 2 3 7 9]
		14	[11 9 5 1 2 6 10 3 8 4 7]
		15	[11 1 3 2 5 9 10 4 6 8 7]
	5	16	[1 4 3 8 5 10 11 6 2 7 9]
		17	[11 9 1 5 2 7 4 8 3 10 6]
		18	[11 1 3 2 4 6 10 9 5 8 7]

7.5.4 การซ่อมแซมคำตอบ

เมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่แล้วต้องมีการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ใช้เป็นสตริงคำตอบที่มีการจัดเรียงตามความสัมพันธ์ก่อนหลังแล้ว และเมื่อทำการค้นหาเฉพาะที่อาจจะทำให้ผิดหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังได้ จึงทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบก่อนที่จะนำไปใช้ ดังเช่นตัวอย่างในการซ่อมแซมสตริงคำตอบที่ 5 ของฝูงที่ 1

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

ทำการตรวจสอบความสัมพันธ์ของขั้นงานในสตริงคำตอบที่ 5 โดยตรวจดูว่าลักษณะความสัมพันธ์ของงานก่อหน้าและความสัมพันธ์งานจากด้านหลัง ในการเรียงคำตอบผิดความสัมพันธ์หรือไม่ จากการตรวจสอบพบว่า

ในลำดับที่ 1 ขั้นงานที่ 1 เมื่อพิจารณาดูจากตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าสามารถทำได้จริงจึงทำการเปลี่ยนเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 1 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 1 เป็น 1 ทั้งในตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าและข้างหลัง

ในลำดับที่ 2 ขั้นงานที่ 11 เมื่อพิจารณาดูจากตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าที่มีผลรวมของคอลัมน์เท่ากับ 0 พบว่าสามารถทำได้จริงจึงทำการเปลี่ยนเปลี่ยนเป็น 0 ในแถวที่ 11 ทั้งแถว และให้คอลัมน์ที่ 11 เป็น 1 ทั้งในตารางความสัมพันธ์แบบข้างหน้าและข้างหลัง

ทำการตรวจสอบทุกลำดับขั้นงาน ถ้ามีขั้นงานไหนที่ผิดลำดับความสัมพันธ์ของงานให้เลื่อนไปทำงานถัดไปจนกว่าจะทำงานในขั้นงานนั้นได้จากการตรวจสอบพบว่า สตริงคำตอบที่ 5 ไม่ผิดความสัมพันธ์ของงานสามารถใช้งานได้

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

ตารางที่ 7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1	0	1	[1 2 11 10 6 9 7 8 4 5 3]
		2	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 8 4]
		3	[1 5 4 11 10 8 2 3 6 7 9]
	1	4	[1 2 11 10 6 9 7 8 5 4 3]
		5	[1 11 3 9 10 8 7 6 2 5 4]
		6	[11 9 7 3 10 8 6 2 4 5 1]
	2	7	[11 9 7 10 1 2 6 8 4 5 3]
		8	[1 11 3 9 10 5 2 6 8 7 4]
		9	[1 3 2 6 8 10 11 4 5 7 9]
	3	10	[11 10 1 2 6 9 7 8 4 5 3]
		11	[1 11 3 9 10 5 2 6 7 4 8]
		12	[1 4 5 11 10 8 2 3 6 7 9]
	4	13	[1 2 6 11 9 7 10 8 4 5 3]
		14	[1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]
		15	[1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]
	5	16	[1 5 4 11 9 7 10 8 6 2 3]
		17	[1 11 9 3 10 5 2 6 7 8 4]

ตารางที่ 7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่ (ต่อ)

ฝูงที่	ครั้งที่	String No.	Task Sequence
1 (ต่อ)	5	18	[1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]
2	0	1	[1 4 3 2 6 11 10 5 8 7 9]
		2	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		3	[11 1 3 2 5 9 10 6 4 8 7]
	1	4	[11 10 8 6 2 1 5 3 4 7 9]
		5	[11 9 1 2 5 6 10 3 8 4 7]
		6	[11 1 3 2 5 9 7 4 6 8 10]
	2	7	[1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]
		8	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 7 4]
		9	[11 1 3 2 5 9 7 4 6 8 10]
	3	10	[1 4 3 2 6 11 10 8 5 7 9]
		11	[11 9 1 5 2 6 10 8 3 4 7]
		12	[11 10 8 6 9 2 1 4 5 3 7]
	4	13	[1 4 5 11 10 8 6 2 3 7 9]
		14	[11 9 1 5 2 6 10 3 8 4 7]
		15	[11 1 3 2 5 9 10 4 6 8 7]
	5	16	[1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]
		17	[11 9 1 5 2 7 4 3 10 8 6]
		18	[11 1 3 2 4 6 10 9 5 8 7]

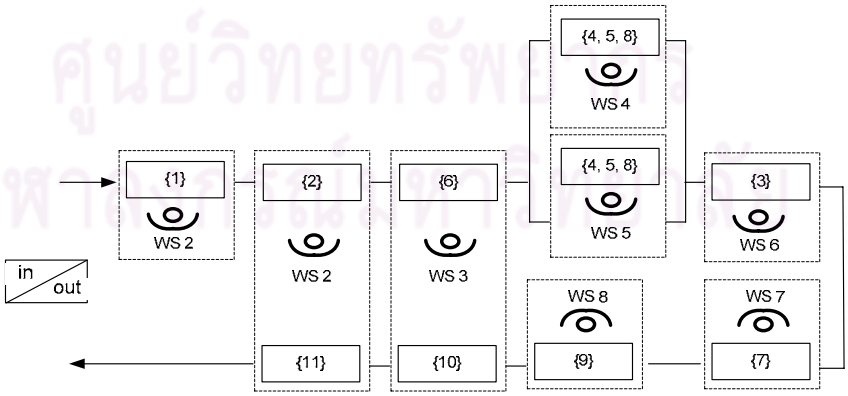
จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 7.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time) จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 7.14 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
2	2	0	2	2	6
11	4	2	6	2	
10	3.3333	0	3.3333	3	6
6	1.3333	3.3333	4.6666	3	
9	3.3333	4.6666	7.9999	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	4	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	5	6
8	4	3	4	เกินเวลา	
8	4	0	4	6	12
4*	7	4	11	6	
5	1	11	12	6	
3	3.3333	0	3.3333	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 7.14 จะได้สถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 7.8



รูปที่ 7.8 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

กำหนดให้

LL คือ จำนวนสถานีงานทั้งหมด (รวมสถานีงานขนานด้วย)

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์

D_m คือ ความต้องการของผลิตภัณฑ์ m

q_m คือ อัตราส่วนของผลิตภัณฑ์ m ในสายการประกอบ

$$q_m = \frac{D_m}{\sum_{m=1}^{M} D_m} \;;0 \le q_m \le 1 \; and \; \sum_{m=1}^{M} q_m = 1$$

s_{km} คือ เวลาว่างงานของผลิตภัณฑ์ m ในสถานีงาน k

IT คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยของสายการประกอบ $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

S_{km} คือ สัดส่วนของเวลาว่างงานในสถานีงาน k ในผลิตภัณฑ์ m

$$S_{km} = \begin{cases} 0 & if \sum_{m=1}^{M} q_m s_{km} \\ \dfrac{q_m s_{km}}{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}, & otherwise \end{cases}$$

1. จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดน้อยที่สุด

$$f_1(X) = Minimum \; N_w \tag{7.3}$$

2. ความสมดุลระหว่างสถานีงาน

$$f_2(X) = Minimum \; B_b = \frac{LL}{LL-1}\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \frac{1}{LL}\right]^2 \tag{7.4}$$

3. ความสมดุลภายในสถานีงาน

$$f_3(X) = Minimum \; B_w \; = \frac{M}{LL(M-1)}\sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M}\left(S_{km} - \frac{1}{M}\right)^2 \tag{7.5}$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะมีสถานีงานทั้งหมดเท่ากับ 8

$$f_1(X) = Minimum \; N_w = 8$$

ความสมดุลระหว่างสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 2 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ค่า LL จะมีค่าเท่ากับ $N_w = 8$

กำหนดให้ค่า D_m มีค่าเท่ากับ $D_A = 1,\ D_B = 1,\ D_C = 1$

ค่า q_m มีวิธีการคำนวณดังนี้

ผลิตภัณฑ์ A $\quad q_A = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ B $\quad q_B = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ผลิตภัณฑ์ C $\quad q_C = \dfrac{1}{(1+1+1)} = 0.3333$

ค่า s_{km} เป็นการหาเวลาว่างงานในสถานีงานแต่ละผลิตภัณฑ์สามารถหาได้ดังนี้

ตารางที่ 7.15 ตารางการหาค่า s_{km}

สถานีงาน	งาน	Cycle Time	s_{km}			$q_m s_{km}$			$\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$
			A	B	C	A	B	C	
1	1	6	0	0	0	0	0	0	0
2	2, 11	6	0	0	0	0	0	0	0
3	6, 10	6	1	0	4	0.3333	0	1.3332	1.6665
4	9	6	1	0	1	0.3333	0	0.3333	0.6666
5	7	6	3	3	3	0.9999	0.9999	0.9999	2.9997
6	4, 5, 8	12	0	0	4	0	0	1.3332	1.3332
7	3	6	1	1	0	0.3333	0.3333	0	0.6666

ค่า $IT = \sum_{k=1}^{LL}\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}$

$= [0 + 0 + 1.6665 + 0.6666 + 2.9997 + 1.3332 + 0.6666] = 7.3326$

ค่า $\left[\dfrac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT} - \dfrac{1}{LL}\right]^2$ ทุกสถานีงาน

สถานีงานที่ 1 : $\left[\dfrac{0}{7.3326} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 2 : $\left[\dfrac{0}{7.3326} - \dfrac{1}{8}\right]^2 = 0.0156$

สถานีงานที่ 3 : $\left[\frac{1.6665}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0105$

สถานีงานที่ 4 : $\left[\frac{0.6666}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0012$

สถานีงานที่ 5 : $\left[\frac{2.9997}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0807$

สถานีงานที่ 6 : $\left[\frac{1.3332}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0032$

สถานีงานที่ 7 : $\left[\frac{0.6666}{7.3326}-\frac{1}{8}\right]^2 = 0.0012$

ดังนั้น $\sum_{k=1}^{LL}\left[\frac{\sum_{m=1}^{M} q_m s_{km}}{IT}-\frac{1}{LL}\right]^2 = 0.1280$

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_b = \frac{8}{8-1}\times 0.1280 = 0.1463$$

$$f_2(X) = Minimum\ B_b = 0.1463$$

ความสมดุลภายในสถานีงานในวัตถุประสงค์ที่ 3 มีวิธีการคำนวณดังนี้

ตารางที่ 7.16 ตารางการคำนวณค่า B_w

สถานีงาน	งาน	$\left(S_{km}-\frac{1}{M}\right)^2$			Total
		A	B	C	
1	1	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
2	2, 11	0.1111	0.1111	0.1111	0.3333
3	6, 10	0.0178	0.1111	0.2178	0.3467
4	9	0.0278	0.1111	0.0278	0.1667
5	7	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	4, 5, 8	0.1111	0.1111	0.4444	0.6667
7	3	0.0278	0.0278	0.1111	0.1667

ดังนั้นค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 จะมีค่าเท่ากับ

$$B_w = \frac{3}{8(3-1)} \times (0.3333 + 0.3333 + 0.3467 + 0.1667 + 0 + 0.6667 + 0.1667)$$

$$f_3(X) = Minimum\ B_w = 0.3775$$

จากสตริงลำดับงานที่ 1 จะได้

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

2. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 8 สถานีงาน (รวม 1 สถานีงานขนาน) มีลำดับงานขั้นในแต่ละสถานี และเวลาการทำงานดังนี้

ตารางที่ 7.17 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1

สถานีงาน	งานในสถานี	เวลาในการทำงานในสถานี
1	1	6
2	2, 11	6
3	6, 10	4.6666
4	9	3.3333
5	7	3
6 (มีสถานีงานขนาน)	4, 5, 8	12
7	3	3.3333

3. ความสมดุลระหว่างสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.1463

4. ความสมดุลภายในสถานีงานมีค่าเท่ากับ 0.3775

วัตถุประสงค์ของลำดับขั้นงานที่ได้จากสตริงคำตอบทั้ง 38 ตัวมีดังนี้

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750
	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2 (ต่อ)	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

7.5.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

7.5.5.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จำ Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.19 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
2	9	0.0575	0.3403
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
5	9	0.0929	0.2122

ตารางที่ 7.19 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ)

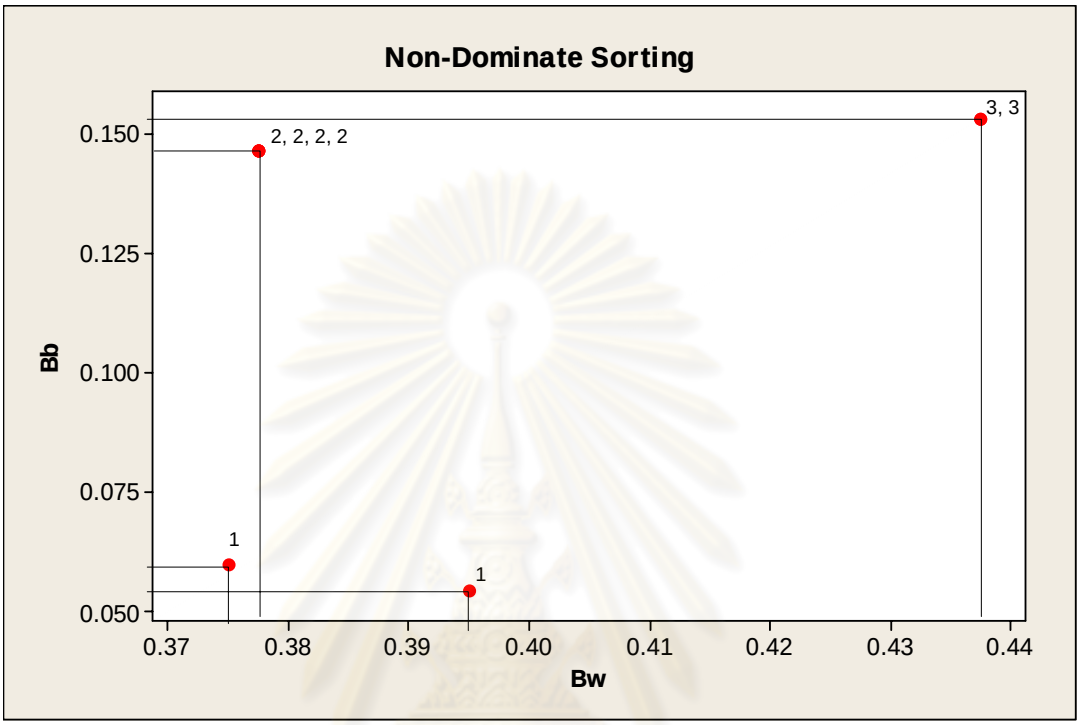
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569
8	9	0.0872	0.2847
9	8	0.1529	0.4375
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
12	8	0.1463	0.3775
13	9	0.0770	0.2569
14	8	0.0596	0.3750
15	9	0.1113	0.2847
16	8	0.1529	0.4375
17	9	0.0575	0.3403
18	8	0.0544	0.3950

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.20 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
9	8	0.1529	0.4375
12	8	0.1463	0.3775
14	8	0.0596	0.3750
16	8	0.1529	0.4375
18	8	0.0544	0.3950

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.9 และตารางที่ 7.21



รูปที่ 7.9 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 7.21 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
18	0.0544	0.395	1	Infinity	Lbest
14	0.0596	0.375	1	Infinity	Lbest
1	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
3	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
4	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
12	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
9	0.1529	0.4375	3	Infinity	-
16	0.1529	0.4375	3	Infinity	-

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

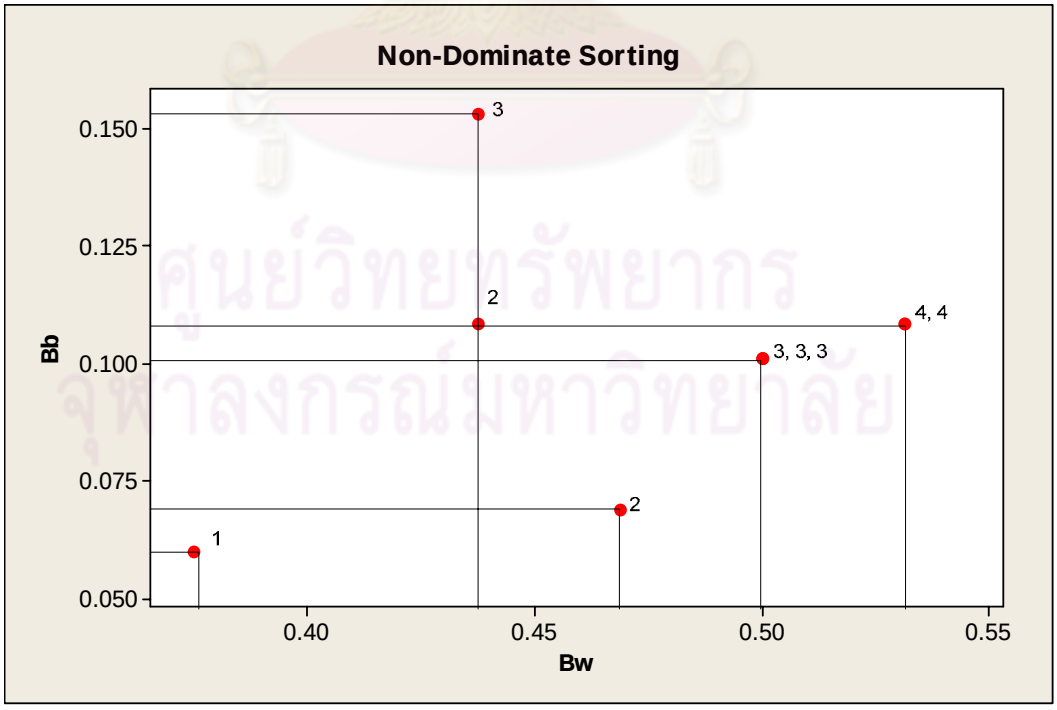
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
3	8	0.1011	0.5000
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
6	8	0.1084	0.5313
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
9	8	0.1084	0.5313
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
14	9	0.0707	0.2678
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.23 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3	8	0.1011	0.5000
6	8	0.1084	0.5313
9	8	0.1084	0.5313
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.10 และตารางที่ 7.24



รูปที่ 7.10 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.24 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
16	0.0596	0.3750	1	Infinity	Lbest
12	0.0689	0.4688	2	Infinity	-
17	0.1084	0.4375	2	Infinity	-
3	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
15	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
13	0.1529	0.4375	3	Infinity	-
18	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
6	0.1084	0.5313	4	Infinity	-
9	0.1084	0.5313	4	Infinity	-

7.5.5.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1463	0.3775
2	9	0.0575	0.3403
3	8	0.1463	0.3775
4	8	0.1463	0.3775
5	9	0.0929	0.2122
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569

ตารางที่ 7.25 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1 (ต่อ)

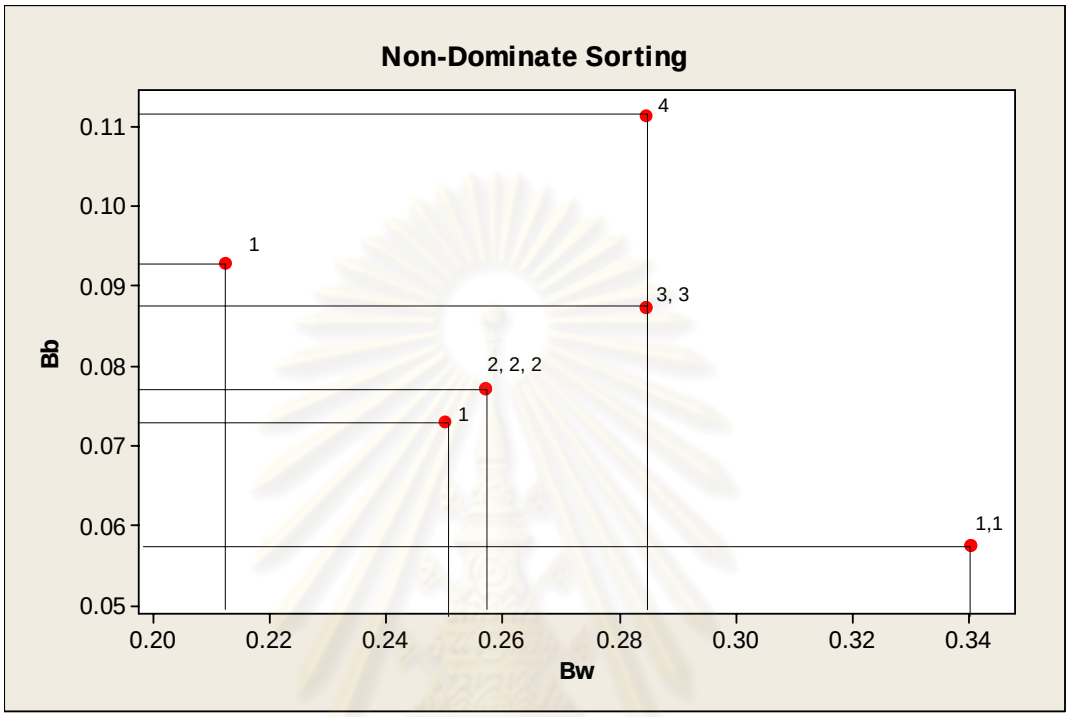
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
8	9	0.0872	0.2847
9	8	0.1529	0.4375
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
12	8	0.1463	0.3775
13	9	0.0770	0.2569
14	8	0.0596	0.3750
15	9	0.1113	0.2847
16	8	0.1529	0.4375
17	9	0.0575	0.3403
18	8	0.0544	0.3950

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.26 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2	9	0.0575	0.3403
5	9	0.0929	0.2122
6	9	0.0730	0.2500
7	9	0.0770	0.2569
8	9	0.0872	0.2847
10	9	0.0770	0.2569
11	9	0.0872	0.2847
13	9	0.0770	0.2569
15	9	0.1113	0.2847
17	9	0.0575	0.3403

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.11 และตารางที่ 7.27



รูปที่ 7.11 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

ตารางที่ 7.27 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
17	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
6	0.0730	0.2500	1	2.0000	-
5	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
7	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
10	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
13	0.0770	0.2569	2	Infinity	-
8	0.0872	0.2847	3	Infinity	-
11	0.0872	0.2847	3	Infinity	-
15	0.1113	0.2847	4	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 ไม่เท่ากันจึงการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.28 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2

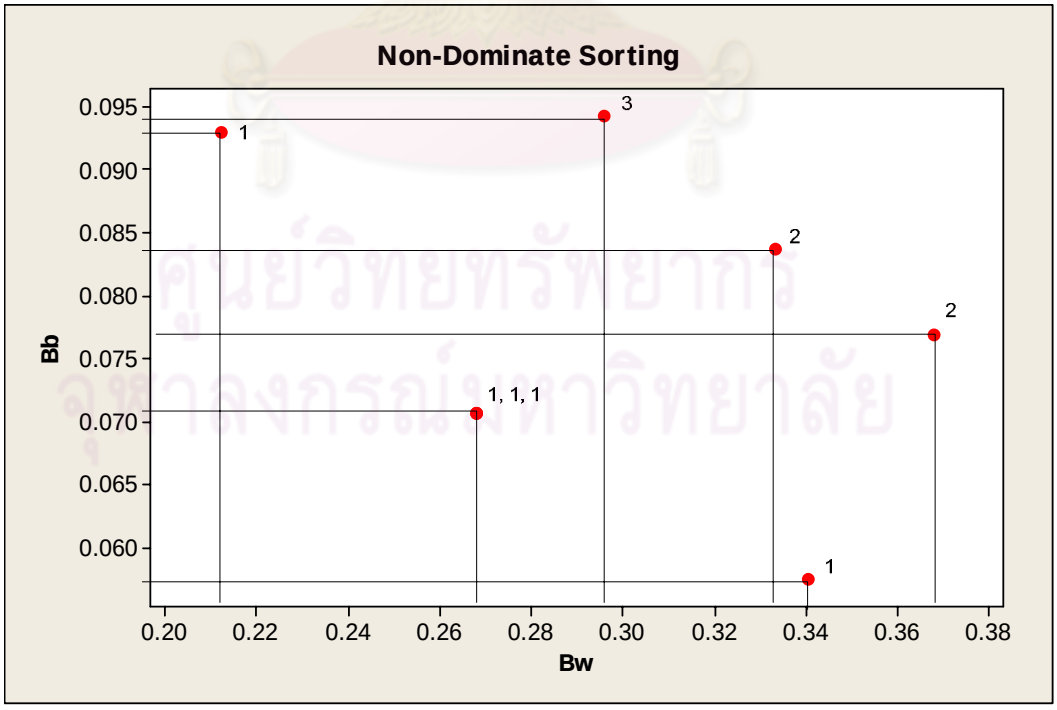
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
3	8	0.1011	0.5000
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
6	8	0.1084	0.5313
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
9	8	0.1084	0.5313
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
12	8	0.0689	0.4688
13	8	0.1529	0.4375
14	9	0.0707	0.2678
15	8	0.1011	0.5000
16	8	0.0596	0.3750
17	8	0.1084	0.4375
18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.29 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	9	0.0769	0.3681
2	9	0.0707	0.2678
4	9	0.0837	0.3333
5	9	0.0707	0.2678
7	9	0.0952	0.2956
8	9	0.0929	0.2122
10	9	0.0575	0.3403
11	9	0.0952	0.2956
14	9	0.0707	0.2678

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.12 และตารางที่ 7.30



รูปที่ 7.12 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.30 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
10	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
2	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
14	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
8	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
5	0.0707	0.2678	1	0.9388	-
1	0.0769	0.3681	2	Infinity	-
4	0.0837	0.3333	2	2.0000	-
7	0.0942	0.2956	3	Infinity	Lworst

7.5.5.3 การคัดเลือก Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750
	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.31 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

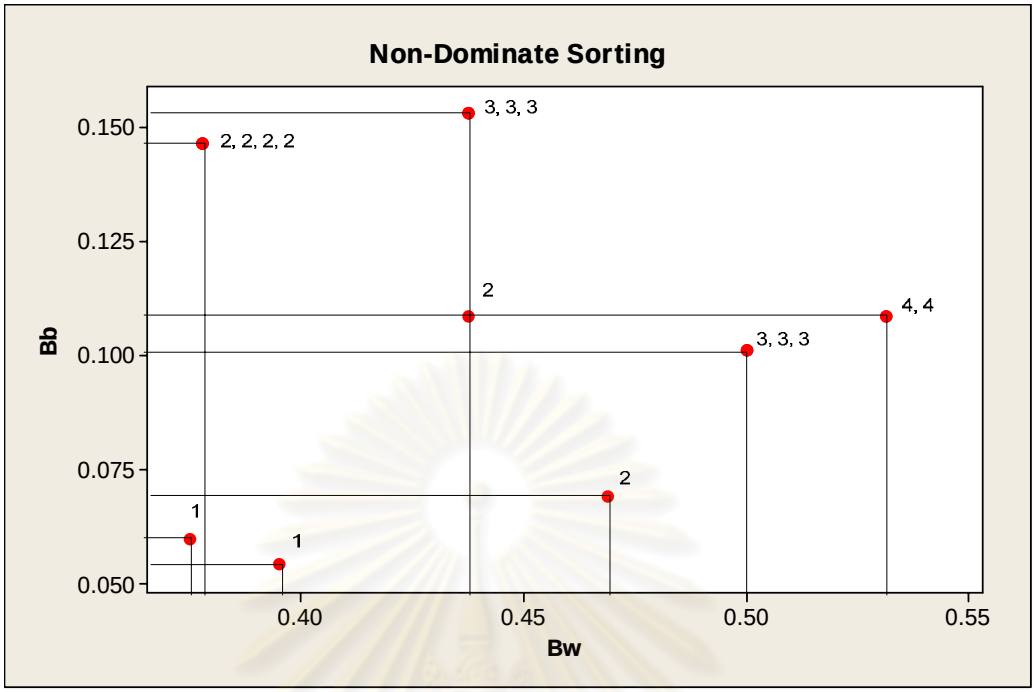
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
2 (ต่อ)	18	8	0.1011	0.5000

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.32 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	9	8	0.1529	0.4375
	12	8	0.1463	0.3775
	14	8	0.0596	0.3750
	16	8	0.1529	0.4375
	18	8	0.0544	0.3950
2	3	8	0.1011	0.5000
	6	8	0.1084	0.5313
	9	8	0.1084	0.5313
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.13 และตารางที่ 7.32



รูปที่ 7.13 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.33 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	18	0.0544	0.3950	1	Infinity	Gbest
2	16	0.0596	0.3750	1	Infinity	Gbest
2	12	0.0689	0.4688	2	Infinity	-
2	17	0.1084	0.4375	2	2.0000	-
1	1	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	3	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	4	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
1	12	0.1463	0.3775	2	Infinity	-
2	3	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
2	15	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
1	9	0.1529	0.4375	3	2.0000	-
2	13	0.1529	0.4375	3	2.0000	-
1	16	0.1529	0.4375	3	2.0000	-

ตารางที่ 7.33 Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	18	0.1011	0.5000	3	Infinity	-
2	6	0.1084	0.5313	4	Infinity	-
2	9	0.1084	0.5313	4	Infinity	-

7.5.5.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.34 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1463	0.3775
	2	9	0.0575	0.3403
	3	8	0.1463	0.3775
	4	8	0.1463	0.3775
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	9	8	0.1529	0.4375
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	12	8	0.1463	0.3775
	13	9	0.0770	0.2569
	14	8	0.0596	0.3750

ตารางที่ 7.34 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ทั้งหมด (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1 (ต่อ)	15	9	0.1113	0.2847
	16	8	0.1529	0.4375
	17	9	0.0575	0.3403
	18	8	0.0544	0.3950
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	3	8	0.1011	0.5000
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	6	8	0.1084	0.5313
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	9	8	0.1084	0.5313
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	12	8	0.0689	0.4688
	13	8	0.1529	0.4375
	14	9	0.0707	0.2678
	15	8	0.1011	0.5000
	16	8	0.0596	0.3750
	17	8	0.1084	0.4375
	18	8	0.1011	0.5000

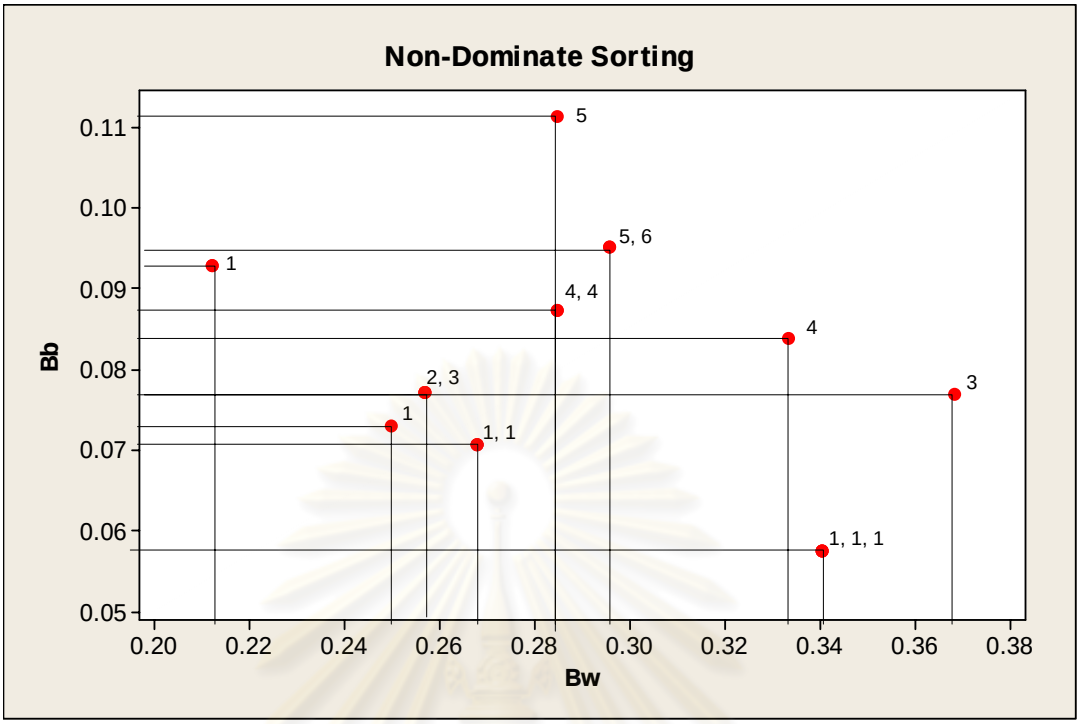
ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.35 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	2	9	0.0575	0.3403
	5	9	0.0929	0.2122
	6	9	0.0730	0.2500
	7	9	0.0770	0.2569
	8	9	0.0872	0.2847
	10	9	0.0770	0.2569
	11	9	0.0872	0.2847
	13	9	0.0770	0.2569
	15	9	0.1113	0.2847
	17	9	0.0575	0.3403
2	1	9	0.0769	0.3681
	2	9	0.0707	0.2678
	4	9	0.0837	0.3333
	5	9	0.0707	0.2678
	7	9	0.0952	0.2956
	8	9	0.0929	0.2122
	10	9	0.0575	0.3403
	11	9	0.0952	0.2956
	14	9	0.0707	0.2678

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.14 และตารางที่ 7.36



รูปที่ 7.14 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.36 Non-Dominated Sorting ของ Global

ผู้ปงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	2	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
1	17	0.0575	0.3403	1	Infinity	-
2	2	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
2	14	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
1	6	0.0730	0.2500	1	1.0625	-
2	8	0.0929	0.2122	1	Infinity	-
2	5	0.0707	0.2678	1	0.9375	-
2	10	0.0575	0.3403	2	Infinity	-
1	7	0.0770	0.2569	2	2.0000	-
1	5	0.0929	0.2122	2	Infinity	-
1	10	0.0770	0.2569	2	2.0000	-
2	1	0.0769	0.3681	3	Infinity	-
1	13	0.0771	0.2569	3	Infinity	-

ตารางที่ 7.36 Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ)

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	4	0.0837	0.3333	4	Infinity	-
1	8	0.0872	0.2847	4	Infinity	-
1	11	0.0872	0.2847	4	Infinity	-
2	11	0.0952	0.2956	5	Infinity	-
1	15	0.1113	0.2847	5	Infinity	-
2	7	0.0953	0.2956	6	Infinity	Gworst

7.5.5.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

7.5.6 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จะใช้สตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และสตริงคำตอบที่ดีของประชากรทั้งหมด (Gbest) ในการปรับปรุงดังนี้

7.5.6.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

7.5.6.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.0909 + 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0909 - 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 7.37 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงที่ 14 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 14

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 14

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0989 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0989 - 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.38 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

ทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคือ 1 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะเพิ่มงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1109 - 0.01 = 0.1009

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0889 + 0.001 = 0.0899

ตารางที่ 7.39 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1009 + 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0899 - 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.40 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 16 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1109 + 0.01 = 0.1209

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0879 - 0.001 = 0.0879

ตารางที่ 7.41 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1209	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกคืองานที่ 1 ของสตริงคำตอบที่ 7 เท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 และจะลดงานอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0.1209 - 0.01 = 0.1109

การลดค่าความน่าจะเป็นจากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0.0879 + 0.001 = 0.0889

ตารางที่ 7.42 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ดังนั้นตารางที่ 6.119 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.6.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

String 14 = [1 11 3 9 7 2 6 8 5 10 4]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 5), (5, 11), (11, 10), …, (7, 9) ของสตริงที่ 18 เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ซึ่งจะอัพเดทเป็น 0 – 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1, 5) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,11) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0 + 0.0111 = 0.0111

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.43 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***
6	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	-	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 11), (11, 3), (3, 9), …, (10, 4) ของสตริงที่ 16 เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 จะได้เป็น 0 + 0.0111 = 1.0111 (สำหรับคู่อันดับ (11, 1)) และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1, 11) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = -0.0099

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,3) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (11,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (11,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (11,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = -0.0099

ตำแหน่งที่ (11,11) มีค่าเท่ากับ 0

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.44 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***
2	-0.0024	-	0.0099	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	0.0099
6	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	0.0099	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***0.0111***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-	-0.0024
11	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1

String 15 = [1 5 3 2 6 8 10 11 4 7 9]

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1, 5), (5, 3), (3, 2), …, (7, 9) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังตาราง

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,5) จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0111 = -0.0012

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (5,3) จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0111 = -0.0135

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 15

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 + 0.0012 = 0.0111

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.45 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
2	-0.0012	-	0.0111	-0.0012	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	***-0.0135***	-	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
4	0	0.0123	0	-	0	0	***-0.0123***	0	0	0	0
5	-0.0012	-0.0012	***-0.0135***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0.0111
6	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	0.0111	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***-0.0012***	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-	-0.0012	***-0.0135***	-0.0012
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	***-0.0135***
11	-0.0012	-0.0012	0.0111	***-0.0135***	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ ((1, 5), (5,11), (11,10), …, (7,9) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (11,10) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ --0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012=0.0099

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (10,1) จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,11) มีค่าเท่ากับ 0.0111 + 0.0111 = 0.0222

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 18

ตำแหน่งที่ (5,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,2) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,3) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0012 = -0.0147

ตำแหน่งที่ (5,4) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,7) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,8) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,9) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (5,10) มีค่าเท่ากับ 0.0111 - 0.0012 = 0.0099

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.46 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	-0.0147	-	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	***0.0234***	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	***0.0222***	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในคู่ลำดับ (1, 4), (4,3), (3,5), …, (7,9) เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะลดงานคู่อันดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0111 = 0.0087

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0012 = 0.0087

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0024 - 0.0012 = -0.0036

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0012 = 0.0087

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,3) จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ -0.0012 + 0.0111 = 0.0099

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 16

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0.0234 - 0.0012 = 0.0222

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ -0.0135 - 0.0012 = -0.0147

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ -0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ 0-0.0012 - 0.0012 = -0.0024

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.47 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0036	-0.0036	***0.0087***	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087
2	-0.0036	-	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
3	-0.0036	-0.0159	-	-0.0036	***0.0087***	0.021	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036
4	-0.0024	0.0222	***0.0099***	-	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
5	-0.0036	-0.0036	-0.0159	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	***0.0333***
6	-0.0036	***0.0087***	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	0.021	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
7	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	***0.021***	-0.0036	-0.0036
8	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.021	0.0087	***0.0087***	-0.0036	-	-0.0036	-0.0159	-0.0036
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0333***	-0.0036	-	-0.0159
11	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0159	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	***0.0333***	-

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ทำการการลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ ในคู่ลำดับ (1,4), (4,3), (3,2), …, (7,9) ในตาราง Velocity Matrix เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และจะเพิ่มค่าให้กับคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ดังนี้

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (1,4) จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,4) มีค่าเท่ากับ 0.0087 - 0.0111 = -0.0024

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (1,2) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,3) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,5) มีค่าเท่ากับ 0.0087 + 0.0012 = 0.0099

ตำแหน่งที่ (1,6) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,7) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,8) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,9) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตำแหน่งที่ (1,10) มีค่าเท่ากับ -0.0036 + 0.0012 = -0.0024

ตำแหน่งที่ (1,11) มีค่าเท่ากับ 0.0087 + 0.0012 = 0.0099

การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับ (4,3) จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (4,3) มีค่าเท่ากับ 0.0099 - 0.0111 = -0.0012

การลดค่าความน่าจะเป็นแก่คู่ลำดับอื่นๆ จากสตริงคำตอบที่ 7

ตำแหน่งที่ (4,1) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,2) มีค่าเท่ากับ 0.0222 + 0.0012 = 0.0234

ตำแหน่งที่ (4,4) มีค่าเท่ากับ 0

ตำแหน่งที่ (4,5) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,6) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,7) มีค่าเท่ากับ -0.0147 + 0.0012 = -0.0135

ตำแหน่งที่ (4,8) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,9) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,10) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ตำแหน่งที่ (4,11) มีค่าเท่ากับ -0.0024 + 0.0012 = -0.0012

ทำการปรับปรุงตารางจนครบทุกคู่ลำดับจะได้ดังนี้

ตารางที่ 7.48 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	***-0.0024***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	***-0.027***	-	-0.0024	0.0099	0.0222	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0234	***-0.0012***	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	0.0099	0.0099	***-0.0147***	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ดังนั้นตารางที่ 6.125 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.6.1.4 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.49 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099
2	0.0976	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0853	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
3	0.0976	0.0730	-	0.0976	0.1099	0.1222	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
4	0.0988	0.1234	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0865	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0976	0.0976	0.0853	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.1222
6	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0853	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
7	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.1099	0.1099	0.0853	-	0.0976	0.0853	0.0976
9	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988
10	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	-	0.0853
11	0.0976	0.0976	0.1099	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	-

7.5.6.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

7.5.6.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ตารางที่ 7.50 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

7.5.5.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 2) String 7 = [1 4 3 2 6 5 11 10 8 7 9]

ตารางที่ 7.51 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0136	0	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
6	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0.0111	-0.0136	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0

7.5.6.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.52 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
2	0.0988	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
3	0.0988	0.0864	-	0.0988	0.1111	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111
6	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
7	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.1111	0.0864	-	0.0988	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000
10	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988
11	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	-

7.5.7 การสร้างสตริงเบื้องต้นในรอบที่ 2

ขั้นตอนที่ 1 จากรอบที่ 1 จะได้ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) และ การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) สำหรับการสร้างสตริงในแต่ละฝูง

ตารางที่ 7.53 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1109	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889	0.0889

ตารางที่ 7.54 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1009	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899	0.0899

ตารางที่ 7.55 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0024	-0.0024	***-0.0024***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099
2	-0.0024	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
3	-0.0024	***-0.027***	-	-0.0024	0.0099	0.0222	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
4	-0.0012	0.0234	***-0.0012***	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	***0.0222***
6	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	***-0.0147***	-	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024
7	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-	-0.0024	***0.0099***	-0.0024	-0.0024
8	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0222	0.0099	0.0099	***-0.0147***	-	-0.0024	-0.0147	-0.0024
9	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012
10	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-0.0024	-	-0.0147
11	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0147	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	***0.0222***	-

ตารางที่ 7.56 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
2	-0.0012	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
3	-0.0012	-0.0136	0	-0.0012	0.0111	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111
6	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0136	0	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012
7	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0	-0.0012	0.0111	-0.0012	-0.0012
8	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0.0111	-0.0136	0	-0.0012	-0.0012	-0.0012
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
10	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	-0.0012	0	-0.0012
11	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	-0.0012	0.0111	0

ตารางที่ 7.57 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099
2	0.0976	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0853	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
3	0.0976	0.0730	-	0.0976	0.1099	0.1222	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
4	0.0988	0.1234	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0865	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0976	0.0976	0.0853	0.0976	-	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.1222
6	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0853	-	0.1222	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976
7	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	-	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976
8	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.1099	0.1099	0.0853	-	0.0976	0.0853	0.0976
9	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988
10	0.0976	0.0976	0.0976	0.1099	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	0.0976	-	0.0853
11	0.0976	0.0976	0.1099	0.0853	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.0976	0.1222	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.58 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
2	0.0988	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
3	0.0988	0.0864	-	0.0988	0.1111	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
4	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
5	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111
6	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988	0.0864	-	0.1111	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988
7	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	-	0.0988	0.1111	0.0988	0.0988
8	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	0.1111	0.0864	-	0.0988	0.0988	0.0988
9	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	0.1000	-	0.1000	0.1000
10	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	0.0988	-	0.0988
11	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.0988	0.1111	-

ขั้นตอนที่ 2 สร้างสตริงคำตอบจากเมทริกซ์ตามจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงโดยตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) หางานลำดับแรก และตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) ในงานลำดับถัดไป โดยสร้างให้ครบทุกอนุภาคในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของภาระงาน ในแต่ละฝูงจะได้สตริงคำตอบ ดังนี้

First Swarm:

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

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

String 13 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

Second Swarm:

String 21 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

String 22 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

String 23 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

จากลำดับงานที่ 1 จะทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีรอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 6 วิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาว่ามีขั้นงานใดที่สามารถมีสถานีงานแบบขนานได้ จากตารางที่ 7.1 พบว่างานที่ 4 สามารถจัดเป็นสถานีงานแบบขนานได้ 1 สถานีเนื่องจากเวลาการทำงานของงานที่ 4 ในผลิตภัณฑ์ชนิด B มีเวลาการทำงานเท่ากับ 7 ซึ่งเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนด (Cycle Time)

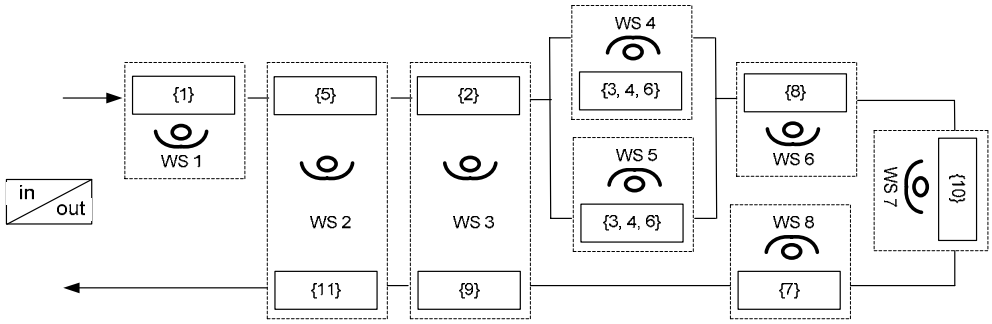
จึงทำการเพิ่มสถานีงานอีก 1 สถานี (สถานีงานแบบขนาน) เมื่อสถานีงานนั้นมีงานที่ 4 ทำงานอยู่ในสถานี (ในที่นี้จะกำหนดให้สถานีการทำงานไม่เกิน 2 สถานีงานเมื่อรวมกับสถานีงานที่เป็นแบบขนาน) และจะมีรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 โดยจะทำการจัดสรรสถานีงานได้ดังนี้

ตารางที่ 7.59 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1

ขั้นงาน	เวลางานเฉลี่ย	เวลาเริ่มการทำงาน	เวลารวม	สถานีงานที่	Cycle Time
1	6	0	6	1	6
5	1	0	1	2	6
11	4	1	5	2	
9	3.3333	5	8.3333	เกินเวลา	
9	3.3333	0	3.3333	3	6
2	2	3.3333	5.3333	3	
3	3.3333	5.3333	8.6666	เกินเวลา	
3	3.3333	0	3.3333	4	12
6	1.3333	3.3333	4.6666	4	
4	7	4.6666	11.6666	4	
8	4	11.6666	15.6666	เกินเวลา	
8	4	0	4	5	6
10	3.3333	4	7.3333	เกินเวลา	
10	3.3333	0	3.3333	6	6
7	3	3.3333	6.3333	เกินเวลา	
7	3	0	3	7	6

**เนื่องจากงานที่ 4 สามารถมีสถานีงานขนานได้ 1 สถานีงาน Cycle Time จะเท่ากับ 12*

จากตารางที่ 7.59 จะได้สถานีงานทั้งหมด 9 สถานีงาน (มี 1 สถานีงานเป็นสถานีขนาน) ดังรูปที่ 7.15



รูปที่ 7.15 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1

เมื่อจัดขั้นงานลงสถานีงาน จึงทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ในงานวิจัยนี้จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานมีจำนวนน้อยที่สุด ความสมดุลระหว่างสถานีงานและความสมดุลภายในสถานีงาน ดังนี้

ตารางที่ 7.60 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

7.5.8 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบจะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) โดยค่าอันดับที่ได้นี้จะเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ในขั้นตอนนี้จะได้เส้นขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดี (Frontier) ออกมาหลายกลุ่มตามค่า Dummy Fitness ซึ่งมีการประเมินค่าดังนี้

7.5.8.1 การคัดเลือก Local Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 ไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.61 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

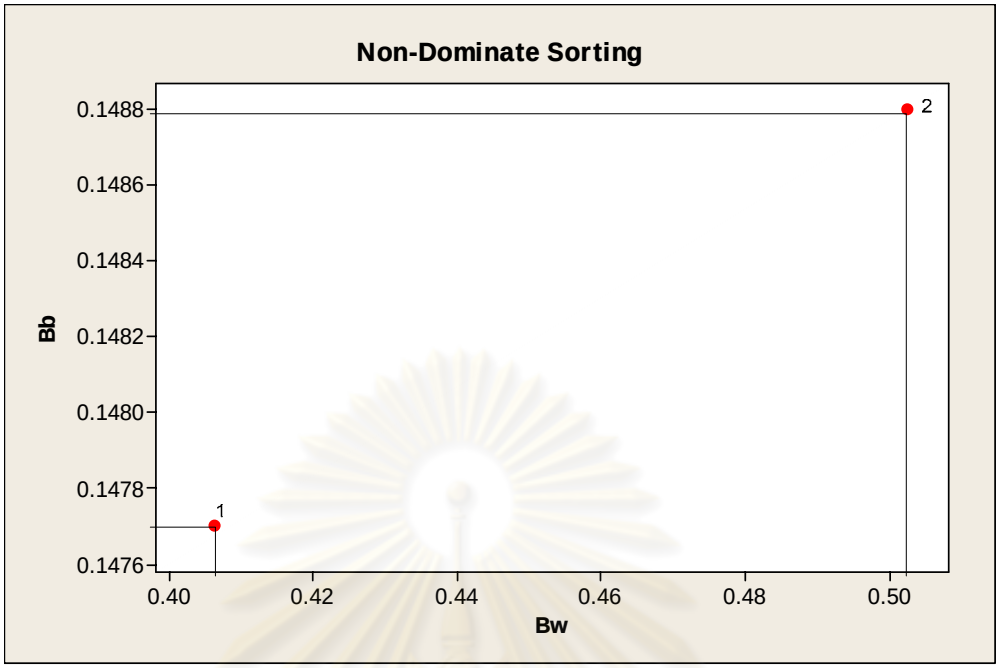
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025
3	9	0.0952	0.2956

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.62 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.16 และตารางที่ 7.63



รูปที่ 7.16 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

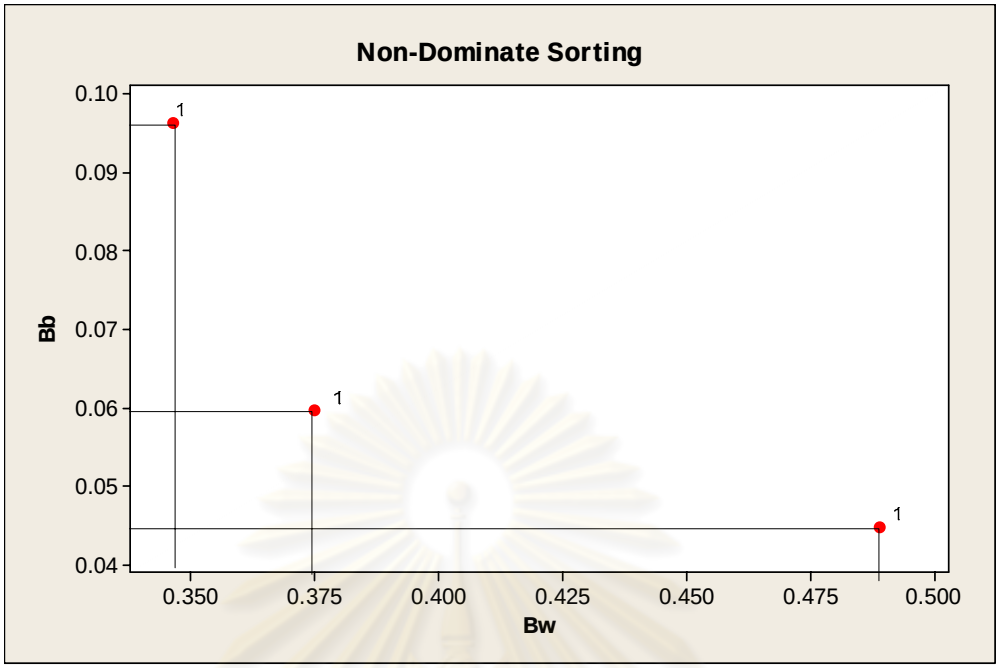
ตารางที่ 7.63 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.1477	0.4063	1	Infinity	Lbest
2	0.1488	0.5025	1	Infinity	Lbest

2. Local Best Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เท่ากันจึงไม่จำเป็นต้องพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.17 และตารางที่ 7.64



รูปที่ 7.17 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.64 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Lbest
3	0.0596	0.3750	1	2	Lbest
2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Lbest

7.5.8.2 การคัดเลือก Local Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูง โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

1. Local Worst Solution **ฝูงที่** 1 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1 เท่ากันจึงไม่ทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ตารางที่ 7.65 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1

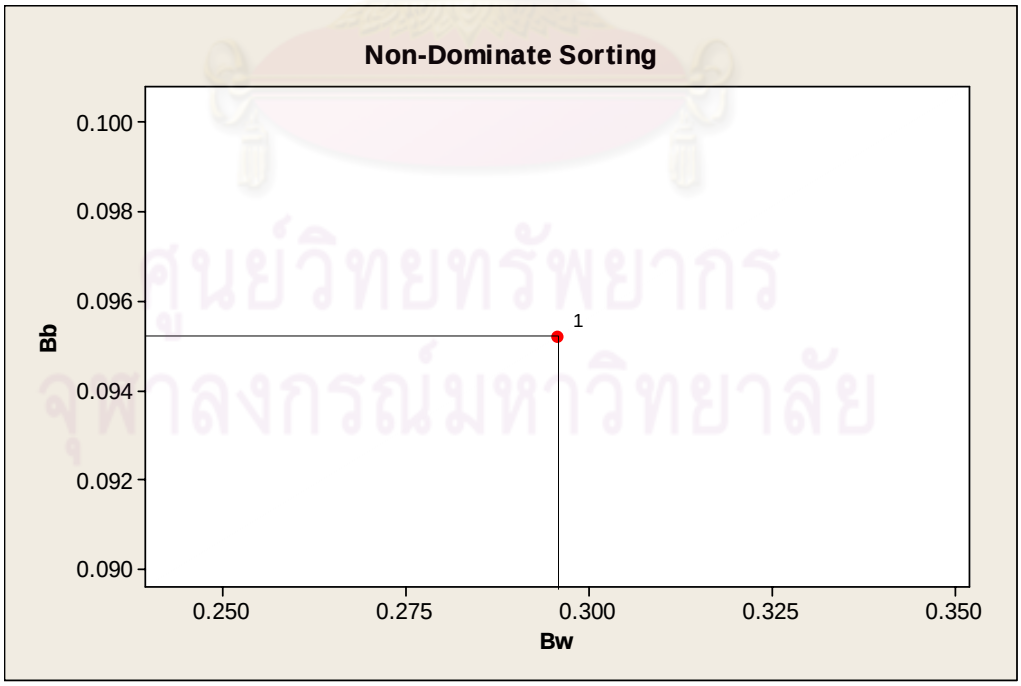
สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	8	0.1477	0.4063
2	8	0.1488	0.5025
3	9	0.0952	0.2956

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Local Best Solution

ตารางที่ 7.66 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดในฝูงที่ 1

สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3	9	0.0952	0.2956

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.18 และตารางที่ 7.67



รูปที่ 7.18 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1

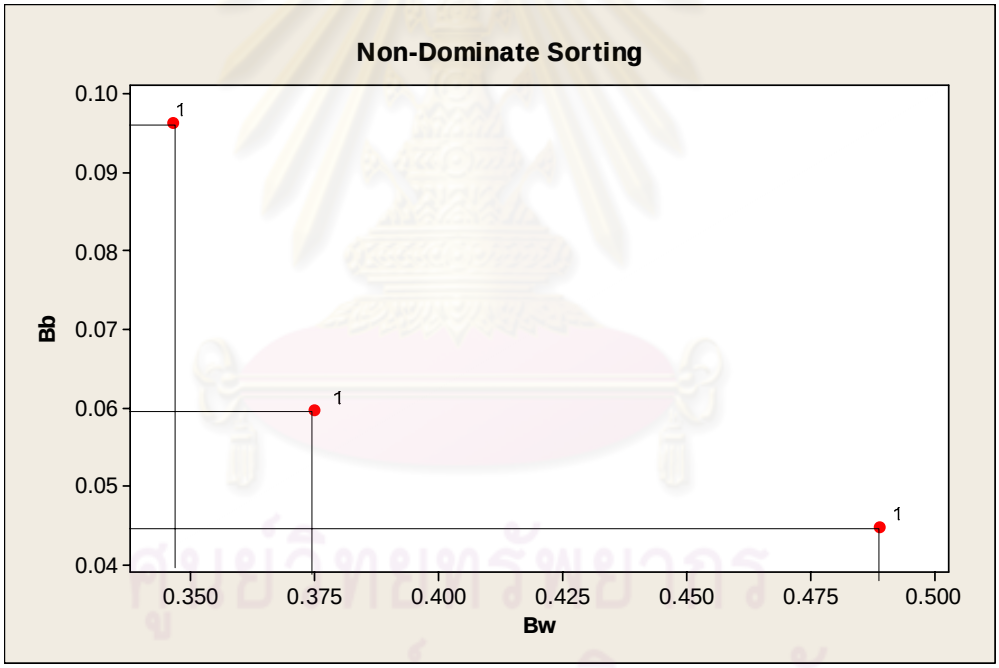
ตารางที่ 7.67 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
3	0.0952	0.2956	1	Infinity	Lworst

2. Local Worst Solution **ฝูงที่** 2 ซึ่งมีการคัดเลือกค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2 เท่ากันจึงไม่ต้องมีการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.19 และตารางที่ 7.68



รูปที่ 7.19 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2

ตารางที่ 7.68 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2

สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Lworst
3	0.0596	0.3750	1	2	Lworst
2	0.0964	0.3463	1	Infinity	Lworst

7.5.8.3 **การคัดเลือก** Global Best Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gbest) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.69 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

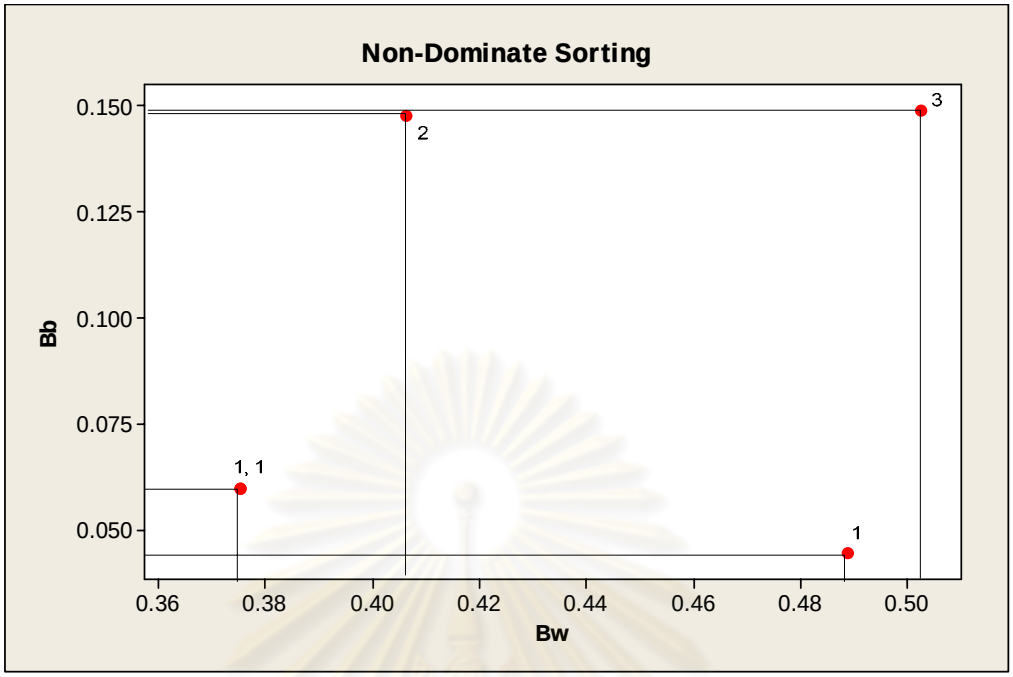
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.70 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.20 และตารางที่ 7.71



รูปที่ 7.20 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 7.71 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
2	1	0.0447	0.4888	1	Infinity	Gbest
2	3	0.0596	0.3750	1	2.000	Gbest
2	2	0.0596	0.3750	1	Infinity	-
1	1	0.1477	0.4063	2	Infinity	-
1	2	0.1488	0.5025	3	Infinity	-

7.5.8.4 การคัดเลือก Global Worst Solution

ทำการหาค่าที่ดีที่สุด (Gworst) จากประชากรทั้งหมด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จาก Non-Dominated Sorting

ขั้นที่ 1 จำนวนสถานีงานของสตริงคำตอบไม่เท่ากันจึงทำการพิจารณาวัตถุประสงค์นี้ก่อน

ตารางที่ 7.72 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์

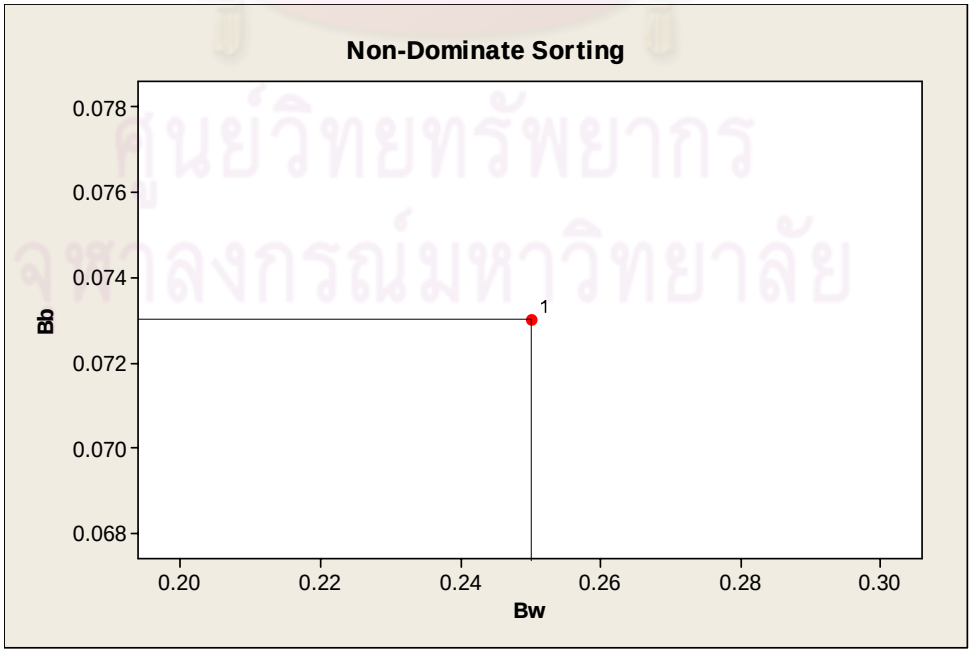
ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	1	8	0.1477	0.4063
	2	8	0.1488	0.5025
	3	9	0.0952	0.2956
2	1	8	0.0447	0.4888
	2	8	0.0964	0.3463
	3	8	0.0596	0.3750

ทำการคัดเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดเพื่อทำการหา Global Best Solution

ตารางที่ 7.73 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด

ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	จำนวนสถานีงาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
1	3	9	0.0952	0.2956

ขั้นที่ 2 พิจารณาค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้กับสตริงคำตอบที่ได้ทำการเลือกจำนวนสถานีงานที่มากที่สุดแล้วจะได้ค่าดังรูปที่ 7.21 และตารางที่ 7.74



รูปที่ 7.21 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.74 Non-Dominated Sorting ของ Global

ฝูงที่	สตริง คำตอบที่	ความสมดุล ระหว่างสถานีงาน	ความสมดุล ภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance	Local
1	3	0.0730	0.2500	1	Infinity	Gworst

7.5.8.5 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด จะทำการเก็บสตริงคำตอบที่ได้จากการหาค่า Global Best Solution ของประชากรทั้งหมด โดยจะทำการเก็บค่าไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 1

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

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Best ในฝูงที่ 2

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

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

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 1

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

สตริงคำตอบของฝูงใน Local Worst ในฝูงที่ 2

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

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

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

สตริงคำตอบที่ดีที่สุด Global Best ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

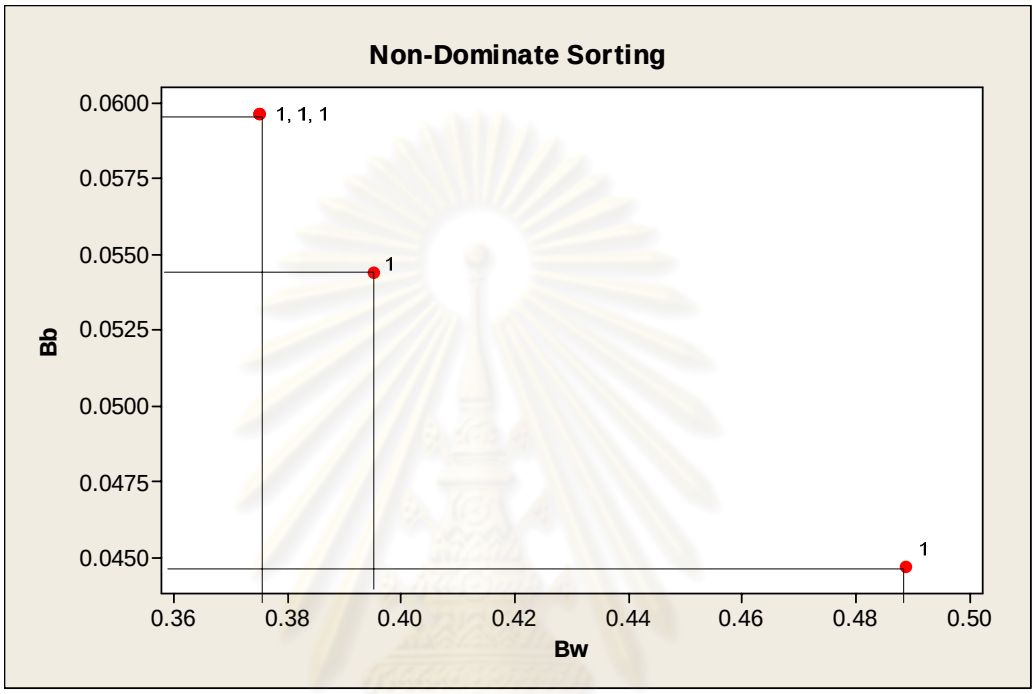
(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

สตริงคำตอบที่แย่ที่สุด Global Worst ของประชากรทั้งหมด

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ทำการประเมินหาคำตอบที่ดีที่สุด ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ากับรอบนี้ ด้วยการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) โดยจะใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting



รูปที่ 7.22 การกำหนดค่าความแข็งแรงในการเลือกสตริงคำตอบ

ตารางที่ 7.75 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด

รอบที่	ฝูงที่	สตริงคำตอบที่	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน	Front	Crowding Distance
2	2	1	0.0447	0.4888	1	Infinity
1	1	8	0.0544	0.3950	1	2.0000
1	1	6	0.0596	0.3750	1	Infinity
2	2	3	0.0596	0.3750	1	Infinity
2	2	2	0.0596	0.3750	1	Infinity

สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้ในรอบต่อคือ

(ฝูงที่ 1) String 18 = [1 5 11 10 8 4 2 3 6 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 16 = [1 4 3 5 11 10 8 6 2 7 9]

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

7.5.9 การปรับปรุงตาราง

7.5.9.1 การปรับปรุงในฝูงที่ 1

7.5.9.1.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 7.76 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1309	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 7.77 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1209	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879	0.0879

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

ตารางที่ 7.78 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1399	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0849	0.0959

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.79 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1299	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0859	0.0969

ดังนั้นตารางที่ 7.79 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.9.1.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 1

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

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

ตารางที่ 7.80 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198
2	-0.0049	-	0.0321	-0.0049	-0.0049	-0.0048	0.0074	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049
3	-0.0049	-0.0295	-	-0.0049	0.0074	0.0321	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049
4	-0.0024	0.0222	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024	-0.0147	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024
5	-0.0049	-0.0049	-0.0172	-0.0049	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	0.0321
6	-0.0049	0.0074	-0.0049	0.0075	-0.0172	-	0.0197	0.0075	-0.0049	-0.0049	-0.0049
7	-0.0036	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036
8	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0197	0.0198	0.0074	-0.0172	-	-0.0049	-0.0048	-0.0049
9	-0.0037	0.0087	-0.0037	-0.0037	-0.0037	-0.0037	0.0210	-0.0037	-	-0.0037	-0.0037
10	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-0.0049	-	-0.0172
11	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0172	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 1

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

ตารางที่ 7.81 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0036	-0.0036	-0.0160	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0210
2	-0.0036	-	0.0333	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0160
3	-0.0036	-0.0282	-	-0.0036	-0.0037	0.0333	-0.0036	-0.0036	0.0210	-0.0036	-0.0036
4	-0.0012	0.0111	-0.0012	-	-0.0012	-0.0012	-0.0135	0.0111	-0.0012	-0.0012	-0.0012
5	-0.0036	-0.0036	-0.0159	-0.0036	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0087	0.0333
6	-0.0036	0.0087	-0.0036	0.0087	-0.0159	-	0.0210	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036
7	-0.0024	0.0222	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0147	-	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024
8	-0.0036	-0.0036	-0.0160	0.0210	0.0210	0.0087	-0.0159	-	-0.0036	-0.0036	-0.0036
9	-0.0024	0.0099	-0.0024	-0.0024	-0.0024	-0.0024	0.0099	-0.0024	-	-0.0024	-0.0024
10	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	0.0197	-0.0049	-	-0.0172
11	-0.0036	-0.0036	0.0210	-0.0159	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	-0.0036	0.0210	-

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

ตารางที่ 7.82 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.0073	0.0050	-0.0073	0.0173	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	0.0297
2	-0.0073	-	0.0296	-0.0073	0.0050	0.0051	0.0050	-0.0073	0.0050	-0.0073	-0.0197
3	-0.0073	-0.0072	-	-0.0073	-0.0074	0.0296	-0.0073	-0.0073	0.0173	0.0050	-0.0073
4	-0.0049	0.0197	-0.0049	-	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0.0074	0.0074	-0.0049	-0.0049
5	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0062	-	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0061	0.0062	0.0308
6	-0.0061	0.0062	-0.0061	0.0062	-0.0184	-	0.0308	0.0062	-0.0061	-0.0061	-0.0061
7	-0.0061	0.0185	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0184	-	0.0062	0.0185	-0.0061	-0.0061
8	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0185	0.0309	0.0185	-0.0184	-	-0.0061	-0.0061	-0.0061
9	-0.0061	0.0062	0.0186	-0.0061	-0.0061	-0.0061	0.0062	-0.0061	-	-0.0061	0.0062
10	0.0038	-0.0086	-0.0086	0.0161	-0.0086	0.0038	0.0161	0.0160	-0.0086	-	-0.0209
11	-0.0073	-0.0073	0.0173	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	-0.0073	0.0420	-

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.83 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	-0.0061	0.0062	-0.0184	0.0185	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	0.0309
2	-0.0061	0	0.0308	-0.0061	0.0062	0.0063	0.0062	-0.0061	0.0062	-0.0061	-0.0308
3	-0.0061	-0.006	0	-0.0061	-0.0185	0.0308	-0.0061	-0.0061	0.0185	0.0062	-0.0061
4	-0.0037	0.0086	-0.0037	0	-0.0037	-0.0037	-0.0036	0.0087	0.0087	-0.0037	-0.0037
5	-0.0049	-0.0049	-0.0172	0.0075	0	-0.0049	-0.0049	0.0075	-0.0049	-0.0049	0.0321
6	-0.0049	0.0074	-0.0049	0.0075	-0.0172	0	0.0321	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049
7	-0.0049	0.0198	-0.0049	-0.0049	0.0075	-0.0296	0	0.0075	0.0198	-0.0049	-0.0049
8	-0.0049	-0.0049	-0.0296	0.0197	0.0321	0.0198	-0.0172	0	-0.0049	-0.0048	-0.0049
9	-0.0049	0.0074	0.0198	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	-0.0049	0	-0.0049	0.0074
10	0.0038	-0.0086	-0.0086	0.0161	-0.0086	0.0038	0.0161	0.016	-0.0086	0	-0.0209
11	-0.0061	-0.0061	0.0185	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0061	-0.0184	0.0432	0

ดังนั้นตารางที่ 7.83 จะเป็นตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1 หลังจากปรับปรุงคำตอบแล้ว

7.5.9.1.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.84 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	0	0.0915	0.1038	0.0792	0.1284	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.1408
2	0.0915	0	0.153	0.0915	0.1038	0.0916	0.1161	0.0915	0.1038	0.0915	0.0668
3	0.0915	0.067	0	0.0915	0.0914	0.153	0.0915	0.0915	0.1284	0.1038	0.0915
4	0.0951	0.132	0.0951	0	0.0951	0.0951	0.0829	0.1075	0.1075	0.0951	0.0951
5	0.0927	0.0927	0.0681	0.1051	0	0.0927	0.0927	0.1051	0.0927	0.105	0.1543
6	0.0927	0.1173	0.0927	0.1051	0.0681	0	0.1543	0.0927	0.0927	0.0927	0.0927
7	0.0927	0.1297	0.0927	0.0927	0.1051	0.068	0	0.1051	0.1297	0.0927	0.0927
8	0.0927	0.0927	0.068	0.1419	0.142	0.1297	0.0681	0	0.0927	0.0805	0.0927
9	0.0939	0.1062	0.1186	0.0939	0.0939	0.0939	0.1062	0.0939	0	0.0939	0.1062
10	0.1014	0.089	0.089	0.126	0.089	0.1014	0.1137	0.1382	0.089	0	0.0644
11	0.0915	0.0915	0.1284	0.0792	0.0915	0.0915	0.0915	0.0915	0.0792	0.1654	0

7.5.9.2 การปรับปรุงในฝูงที่ 2

7.5.9.2.1 ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก

ทำการอัพเดท First Walk Probability Matrix โดยดูจากงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ = 0.1/(11-1) = 0.01 ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ = 0.001 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ โดยมีวิธีดังนี้

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

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

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

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

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

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.85 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0.1199	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0869	0.0979

7.5.9.2.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค

การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่า โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดี เท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$

ทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดี เท่ากับ $Cr/(n-2)$ = 0.0111 และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ = 0.0012 ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

1. Local Best Solution ฝูงที่ 2

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

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

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

2. Local Worst Solution ฝูงที่ 2

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

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

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

3. Global Best Solution

(ฝูงที่ 2) String 1 = [11 10 1 4 9 3 2 6 7 8 5]

(ฝูงที่ 2) String 2 = [1 3 2 5 4 7 9 11 10 6 8]

(ฝูงที่ 2) String 3 = [1 11 4 2 9 3 10 7 5 8 6]

4. Global Worst Solution

(ฝูงที่ 1) String 3 = [1 4 2 11 9 7 6 8 3 5 10]

ตารางที่ 7.86 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	-0.004	0.0087	0.0087	0.0086	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004
2	-0.0037	-	0.0086	-0.004	0.0087	-0.016	0.0086	-0.004	0.0087	-0.004	-0.004
3	-0.0037	0.0086	-	-0.004	0.0086	0.0086	-0.004	-0.004	-0.016	0.0087	-0.004
4	-0.0049	0.0197	-0.005	-	-0.005	-0.005	0.0074	-0.005	0.0074	-0.005	-0.005
5	-0.0024	-0.002	-0.002	0.0099	-	-0.002	-0.002	0.0099	-0.002	-0.015	0.0099
6	-0.0024	0.0099	-0.002	-0.002	-0.015	-	0.0222	-0.002	-0.002	-0.002	-0.002
7	-0.0037	-0.016	-0.004	-0.004	0.0087	-0.004	-	0.0087	0.021	-0.004	-0.004
8	-0.0024	-0.002	-0.002	0.0099	-0.002	0.0222	-0.015	-	-0.002	-0.002	-0.002
9	-0.0025	-0.003	0.0222	-0.003	-0.003	-0.003	-0.015	-0.003	-	-0.003	0.0099
10	0.0087	-0.004	-0.004	-0.016	-0.004	0.0087	0.0087	0.0086	-0.004	-	-0.004
11	-0.0037	-0.004	-0.016	0.0087	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	-0.004	0.0333	-

7.5.9.2.3 ตาราการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม

การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (7.2) ดังนี้

ตารางที่ 7.87 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	-	0.0951	0.1075	0.1075	0.1197	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951
2	0.0951	-	0.1197	0.0951	0.1075	0.0703	0.1197	0.0951	0.1075	0.0951	0.0951
3	0.0951	0.095	-	0.0951	0.1197	0.1197	0.0951	0.0951	0.0828	0.1075	0.0951
4	0.0939	0.1308	0.0939	-	0.0939	0.0939	0.1062	0.0939	0.1062	0.0939	0.0939
5	0.0964	0.0964	0.0964	0.1087	-	0.0964	0.0964	0.1087	0.0964	0.084	0.121
6	0.0964	0.121	0.0964	0.0964	0.0716	-	0.1333	0.0964	0.0964	0.0964	0.0964
7	0.0951	0.0828	0.0951	0.0951	0.1075	0.0951	-	0.1075	0.1321	0.0951	0.0951
8	0.0964	0.0964	0.0964	0.121	0.0964	0.1333	0.0716	-	0.0964	0.0964	0.0964
9	0.0975	0.0975	0.1222	0.0975	0.0975	0.0975	0.0852	0.0975	-	0.0975	0.1099
10	0.1075	0.0951	0.0951	0.0828	0.0951	0.1075	0.1075	0.1197	0.0951	-	0.0951
11	0.0951	0.0951	0.0828	0.1075	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.0951	0.1444	-

7.6 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

7.6.1 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จำนวนคำตอบหรือสตริงคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชัน เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 100 ประชากร หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชันจะมีคำตอบหรือสตริงคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 100 คำตอบ ซึ่งต้องเป็นคำตอบที่ไม่เหมือนกัน เพื่อต้องการให้ได้คำตอบหรือสตริงคำตอบที่หลากหลาย ในงานวิจัยนี้ (Hwang and Katayama, 2008) ได้กำหนดจำนวนประชากรในการทดลองเท่ากับ 100 ประชากร ดังนั้นจึงกำหนดให้เป็นจำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลอง

7.6.2 วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด

วิธี Non-dominated Sorting เป็นวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดในการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดตามหลักของ Goldberg (1989) วิธีนี้จะทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้จากการจัดอันดับคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด

7.6.3 จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง

จำนวนอนุภาคเป็นจำนวนกลุ่มของอนุภาคหรือกลุ่มของสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นในแต่ละรอบการทำงาน ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

7.6.4 **จำนวนฝูง**

จำนวนฝูงเป็นจำนวนอนุภาคหรือสตริงคำตอบที่มีในแต่ละฝูง ซึ่งในงานวิจัยได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

7.6.5 **น้ำหนักการหน่วง**

น้ำหนักการหน่วงที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 1 น้ำหนักการหน่วงจะเป็นการกำหนดค่าของแต่ละฝูงด้วยน้ำหนักที่ได้จากการเคลื่อนที่โดยจะทำการเก็บค่าการเคลื่อนที่ที่ได้รับอิทธิพลจากการสำรวจค่าที่ดีที่สุด

7.6.6 **ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้**

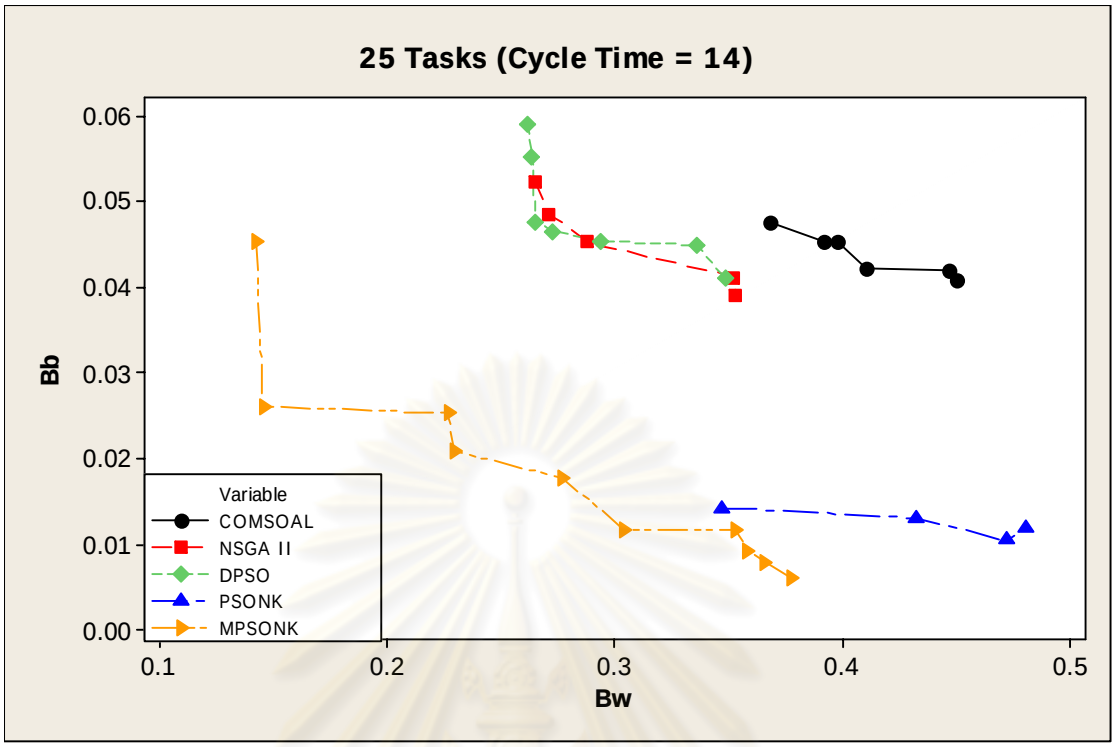
ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้ที่ใช้จะกำหนดค่าให้เท่ากับ 0.1 ค่าสัมประสิทธิ์การเรียนรู้เป็นปัจจัยที่กำหนดที่มีการเรียนรู้ด้วยตนเองและเป็นส่วนประกอบที่สำคัญส่วนหนึ่งที่ใช้ในการกำหนดความสำคัญของในแต่ละฝูง

7.6.7 **วิธีการค้นหาเฉพาะที่**

การค้นหาจะทำการค้นหาเฉพาะจะทำเพื่อตรวจสอบค่าที่ดีที่สุดโดยใช้วิธี 2-Opt ในงานวิจัยนี้กำหนดให้มีการค้นหาเฉพาะที่ทุกๆ 10% ของจำนวนรอบการทำงาน โดยจะแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1. ทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนการคัดเลือก และ 2. ทำการค้นหาเฉพาะที่หลักจากการสิ้นสุดการค้นหาคำตอบ ในการค้นหาเฉพาะที่ในแต่ละครั้งจะทำการค้นหาเฉพาะที่จำนวน 5 ครั้งในการสร้างสตริงคำตอบ

7.7 **การเปรียบเทียบผลการทดลอง**

การเปรียบเทียบคำตอบของการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ผ่านมาคือ อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II และการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ดังรูปที่ 7.23



รูปที่ 7.23 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK และ M-PSONK

7.8 สรุป

ในบทนี้ได้เสนอวิธีการในการหาคำตอบอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ซึ่งวิธีการนี้พัฒนามาจากวิธี PSO โดยการพัฒนาการหาคำตอบที่ดีที่สุดและแย่ที่สุดมาใช้ในการหาค่าที่เหมาะสม จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด และเมื่อนำอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม โดยทำการใช้การค้นหาเฉพาะที่ทุกๆ 10% ของจำนวนเจนเนอเรชัน ในการหาคำตอบที่ดีที่สุดและการค้าหาเฉพาะที่ในรอบสุดท้ายเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ทำให้ได้คำตอบที่ลู่เข้าสู่สภาพคงที่อย่างรวดเร็วและได้คำตอบที่ดีที่สุดและเมื่อทำการเปรียบเทียบวิธีการอัลกอริทึมที่ผ่านมาจากบทก่อนหน้านี้ วิธีการอัลกอริทึม M-PSONK จะให้คำตอบที่เหมาะสมมากกว่าวิธีอื่น

บทที่ 8

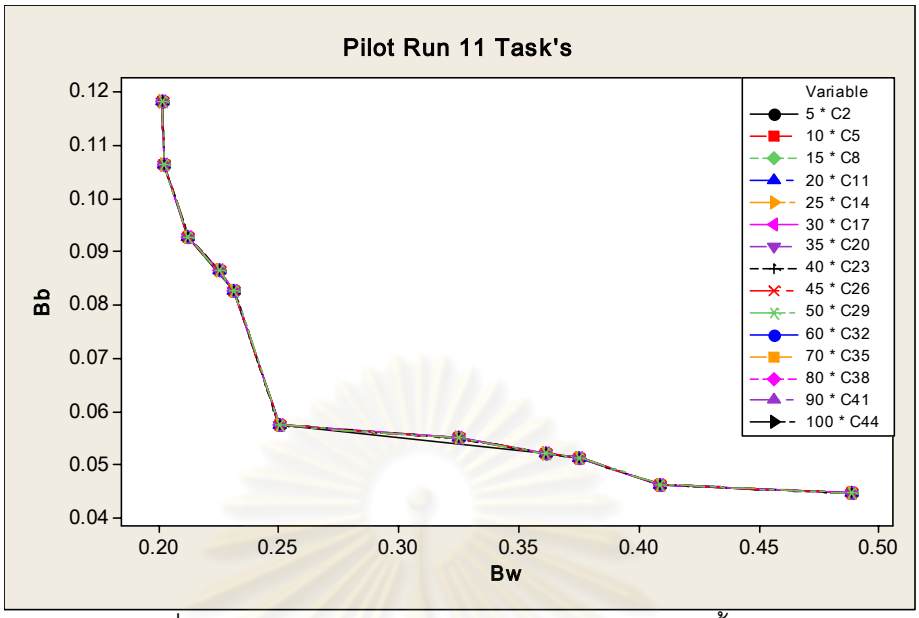
ผลการเปรียบเทียบการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่มีสถานีงานแบบขนาน

ในบทนี้จะเป็นการแสดงผลการเปรียบเทียบของการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน โดยใช้อัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวคือ อัลกอริทึม COMSOAL, อัลกอริทึม NSGA-II, วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค, อัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ และอัลกอริทึมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เพื่อเป็นการเปรียบเทียบว่าอัลกอริทึมใดสามารถให้คำตอบได้ดีมากกว่ากัน เนื้อหาในบทที่นี้จะแบ่งออกตามลักษณะของปัญหาที่มีอยู่ทั้งหมด 5 ปัญหาและแต่ละปัญหาขั้นงานจะมีรอบเวลาการทำงานอย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยขั้นตอนแรกจะทำการหาจำนวนเจนเนอเรชันที่จะใช้ในการทดลองก่อน และจึงทำการหาคำตอบโดยวิธีอัลกอริทึมที่กำหนด

8.1 จำนวนเจนเนอเรชัน

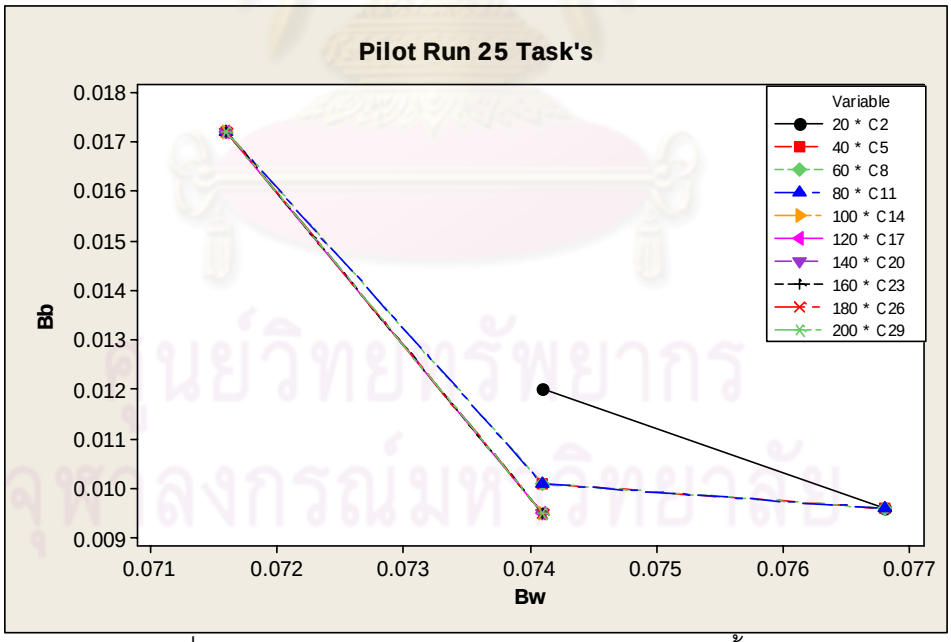
จำนวนเจนเนอเรชันเป็นจำนวนรอบที่ใช้ในการคำนวณตามขั้นตอนอัลกอริทึมที่ใช้ ตั้งแต่เริ่มต้นขั้นแรกจนจบนั้นคือ 1 เจนเนอเรชัน ในการทดลองนี้ใช้ปัญหาในการทดลอง 5 ปัญหา แต่ละปัญหาจะใช้จำนวนเจนเนอเรชันที่เหมาะสมต่างกัน ดังนั้นจึงได้มีการทดลองหาจำนวนที่เหมาะสมในแต่ละปัญหา โดยกำหนดให้มีจำนวนในการทดลองเท่ากับ 1000 รอบ ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามขนาดของปัญหา โดยจำนวนเจนเนอเรชันที่ใช้ในการทำ Pilot Run ของปัญหาขั้นงาน 11, 25, 61, 111 และ 205 งานดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



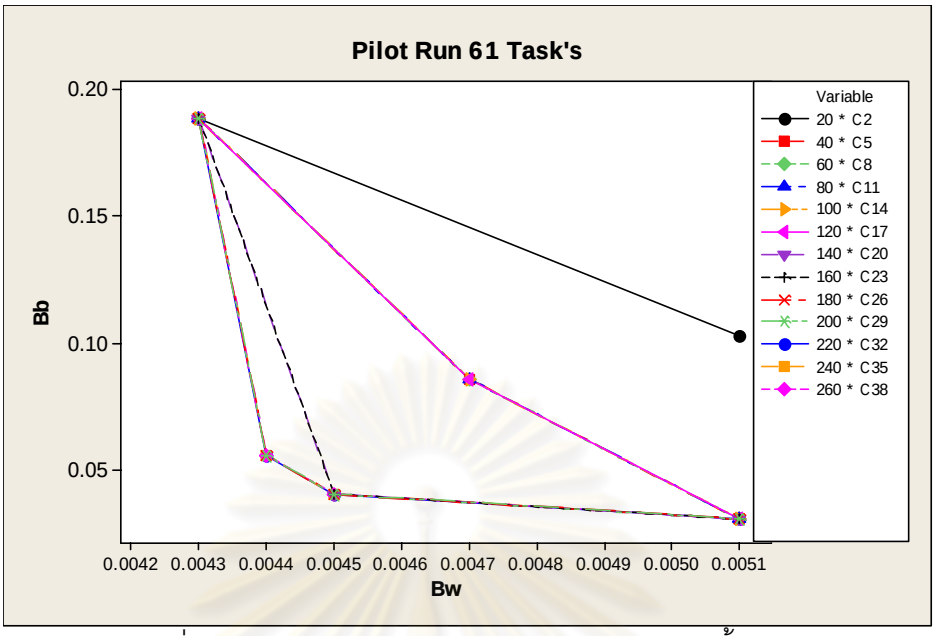
รูปที่ 8.1 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.1 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 100 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 11 ขั้นงานเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน



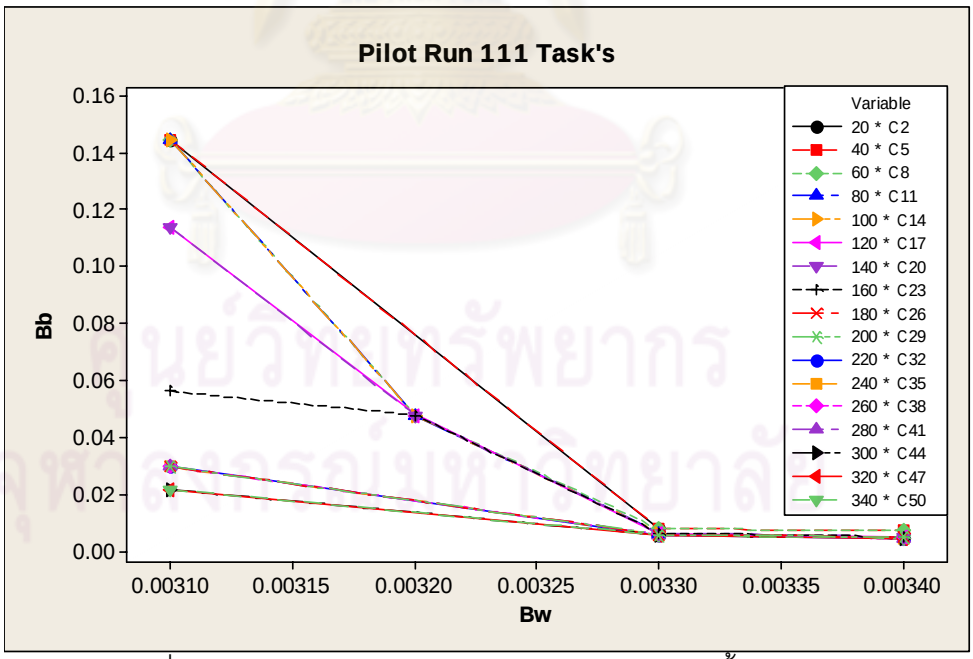
รูปที่ 8.2 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.2 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 100 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 25 ขั้นงานเท่ากับ 100 เจนเนอเรชัน



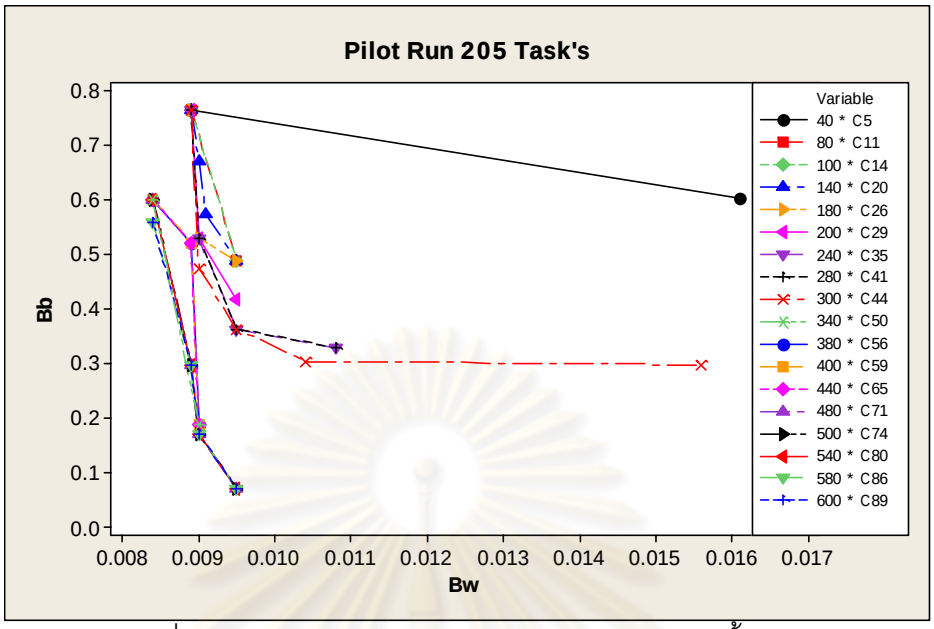
รูปที่ 8.3 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.3 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 200 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 61 ขั้นงานเท่ากับ 200 เจนเนอเรชัน



รูปที่ 8.4 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.4 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 300 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 111 ขั้นงานเท่ากับ 300 เจนเนอเรชัน



รูปที่ 8.5 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 205 ขั้นงาน

จากรูปที่ 8.5 จะให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีค่าคำตอบคงที่ ที่จำนวนเจนเนอเรชันที่ 500 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดสำหรับปัญหา 205 ขั้นงานเท่ากับ 500 เจนเนอเรชัน

8.2 ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง

8.2.1 ปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน

8.2.1.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
6.3	8	1	0.0239	0.2534
	8	1	0.0315	0.1959
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205

8.2.1.2 **ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม** NSGA-II

ตารางที่ 8.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0479	0.1901
6.6	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0374	0.3571

8.2.1.3. **ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง**

ตารางที่ 8.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0514	0.3750
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0479	0.1901
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205

8.2.1.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0444	0.1728
	8	1	0.0668	0.1519
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0222	0.3902
	7	1	0.0279	0.3822
	7	1	0.0308	0.3334
	7	1	0.0606	0.3047

8.2.1.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

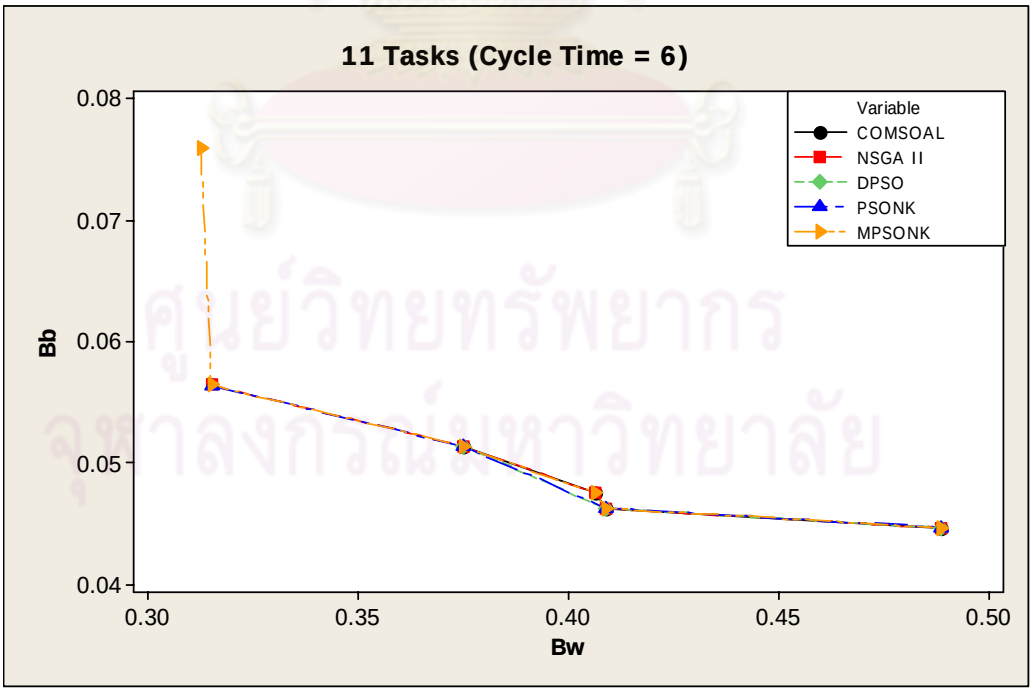
ตารางที่ 8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6	8	1	0.0447	0.4888
	8	1	0.0463	0.4088
	8	1	0.0475	0.4063
	8	1	0.0514	0.3750
	8	1	0.0564	0.3150

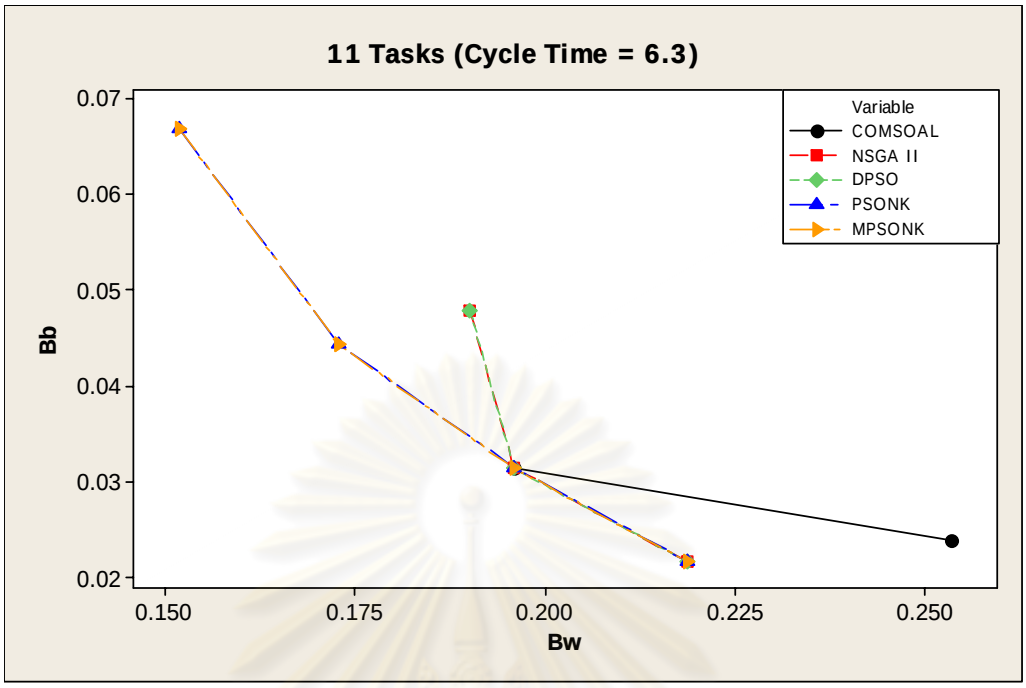
ตารางที่ 8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6 (ต่อ)	8	1	0.0760	0.3125
6.3	8	1	0.0217	0.2188
	8	1	0.0315	0.1959
	8	1	0.0444	0.1728
	8	1	0.0668	0.1519
6.6	7	1	0.0188	0.4457
	7	1	0.0207	0.4205
	7	1	0.0222	0.3902
	7	1	0.0269	0.3822
	7	1	0.0308	0.3334
	7	1	0.0606	0.3047

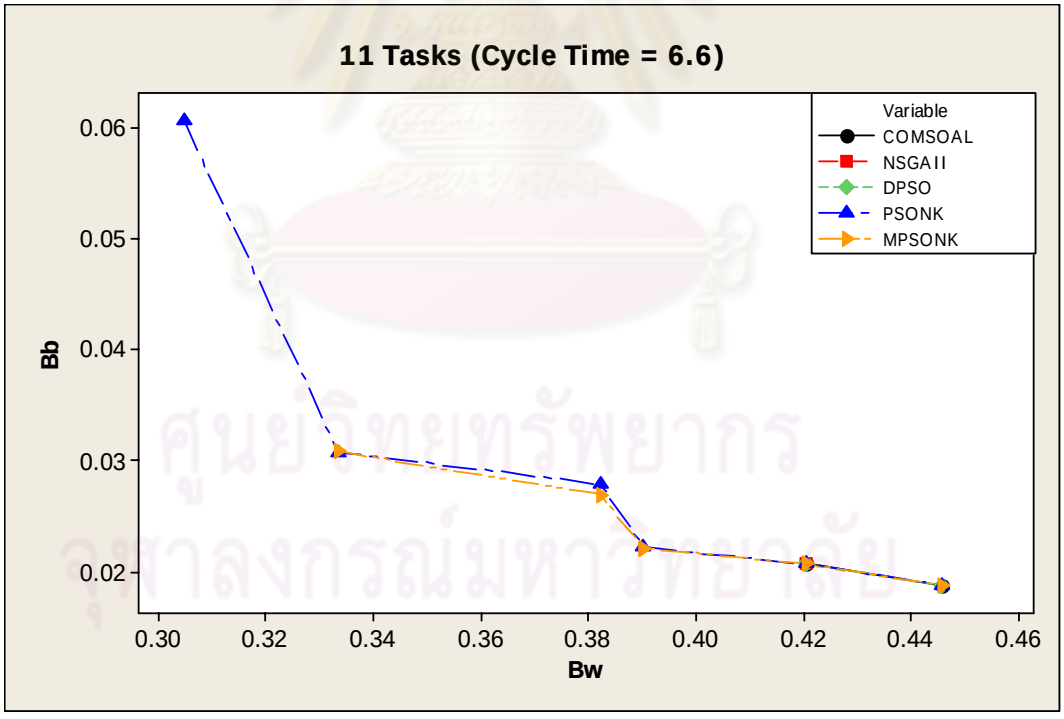
8.2.1.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.6 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6)



รูปที่ 8.7 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.3)



รูปที่ 8.8 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6.6)

ตารางที่ 8.6 ผลของตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 11 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
6	workstation	8	8	8	8	8
	Convergence	0.2064	0.2064	0.2132	0.1112	0
	Spread	0.7009	0.7009	0.5239	0.443	0.6932
	Ratio	1	1	1	1	1
	Time (s)	49	514.6	96.3	61.1	1093.5
6.3	workstation	8	8	8	8	8
	Convergence	0.3939	0.2446	0.2446	0	0
	Spread	0.75	0.5726	0.5726	0.4955	0.4955
	Ratio	0.5	0.6667	0.6667	1	1
	Time (s)	47.4	567.1	88.2	56.1	1033
6.6	workstation	7	7	7	7	7
	Convergence	0.4083	0.4083	0.4083	0.021	0
	Spread	0.75	0.75	0.75	0.681	0.7138
	Ratio	1	1	1	1	1
	Time (s)	47.1	542.4	80.8	51.3	1009.7

จากรูปที่ 8.6 – 8.8 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมนั้นยังไม่สามารถมองเห็นความแตกต่างได้อย่างชัดเจนนัก เนื่องจากว่ายังเป็นปัญหาขนาดเล็กจึงต้องทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 7.6

จากตารางที่ 8.6 พบว่าในปัญหา 11 งานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 อัลกอริทึม M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุด และเมื่อวัดประสิทธิภาพของตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงแล้วจะอัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวมีค่าเท่ากัน เมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3 อัลกอริทึม PSONK และ MPSONK จะให้คำตอบที่ดีที่สุดเมื่อวัดตัวชี้วัดทั้งสามตัว และเมื่อรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6 อัลกอริทึม M-PSONK จะให้คำตอบดีที่สุดในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและเมื่อวัดประสิทธิภาพของตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงแล้วจะอัลกอริทึมทั้ง 5 ตัวมีค่าเท่ากัน จากจำนวนสถานีงานในรอบเวลาที่ 6, 6.3 และ 6.6 นั้นจำนวนสถานีงานจะมีขนาดเท่ากันทุกอัลกอริทึม และเมื่อดูเวลาที่

ใช้ในการคำนวณสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK นั้นแม้จะหาคำตอบได้ดีที่สุดแต่จะใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด

8.2.2 ปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน

8.2.2.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.7 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0222	0.2985
	16	2	0.0257	0.2662
	16	2	0.0334	0.2489
	16	2	0.0357	0.2240
	16	2	0.0449	0.2213
12	13	2	0.0399	0.3348
	13	2	0.0444	0.3276
	13	2	0.0466	0.3239
	13	2	0.0537	0.3223
	13	2	0.0561	0.3121
	13	2	0.0678	0.3081
14	12	1	0.0409	0.4499
	12	1	0.0420	0.4463
	12	1	0.0423	0.4107
	12	1	0.0453	0.3980
	12	1	0.0454	0.3914
	12	1	0.0477	0.3681

8.2.2.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.8 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0216	0.3154
	16	2	0.0222	0.2902
	16	2	0.0227	0.2609
	16	2	0.0234	0.2608
	16	2	0.0242	0.2518
12	13	2	0.0223	0.4219
	13	2	0.0247	0.3703
	13	2	0.0277	0.3560
14	12	1	0.0391	0.3531
	12	1	0.0412	0.3523
	12	1	0.0453	0.2877
	12	1	0.0486	0.2712
	12	1	0.0523	0.2650

8.2.2.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	16	2	0.0140	0.3298
	16	2	0.0143	0.3182
	16	2	0.0145	0.2551
	16	2	0.0148	0.2432
12	13	2	0.0448	0.3033
	13	2	0.0501	0.2600
	13	2	0.0595	0.2433
	13	2	0.0917	0.2368

ตารางที่ 8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	12	1	0.0410	0.3487
	12	1	0.0449	0.3362
	12	1	0.0454	0.2936
	12	1	0.0465	0.2725
	12	1	0.0477	0.2650
	12	1	0.0553	0.2636
	12	1	0.0590	0.2617

8.2.2.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	15	2	0.0093	0.3067
	15	2	0.0098	0.3031
	15	2	0.0109	0.2596
	15	2	0.0114	0.2518
	15	2	0.0123	0.2478
	15	2	0.0132	0.2386
	15	2	0.0141	0.1870
	15	2	0.0248	0.1637
	15	2	0.0328	0.1307
12	12	2	0.0132	0.4068
	12	2	0.0133	0.2980
	12	2	0.0157	0.2959
	12	2	0.0624	0.1297
	12	2	0.0677	0.1063

ตารางที่ 8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	10	1	0.0119	0.4807
	10	1	0.0143	0.3467
	10	1	0.0105	0.4717
	10	1	0.0131	0.4327

8.2.2.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน

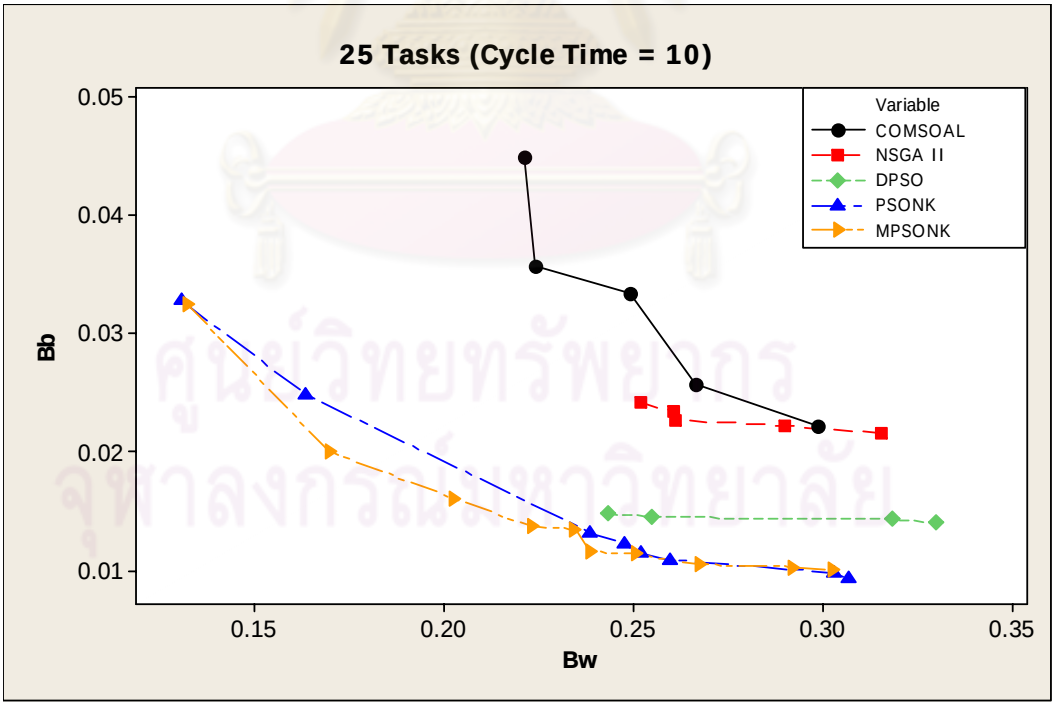
รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
10	15	2	0.0101	0.3027
	15	2	0.0103	0.2917
	15	2	0.0105	0.2673
	15	2	0.0114	0.2505
	15	2	0.0116	0.2386
	15	2	0.0135	0.2344
	15	2	0.0137	0.2232
	15	2	0.0161	0.2026
	15	2	0.0200	0.1697
	15	2	0.0324	0.1323
12	12	2	0.0100	0.3144
	12	2	0.0164	0.2683
	12	2	0.0212	0.2167
	12	2	0.0308	0.1589
	12	2	0.0326	0.1355
	12	2	0.0486	0.1281
	12	2	0.0667	0.1197

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

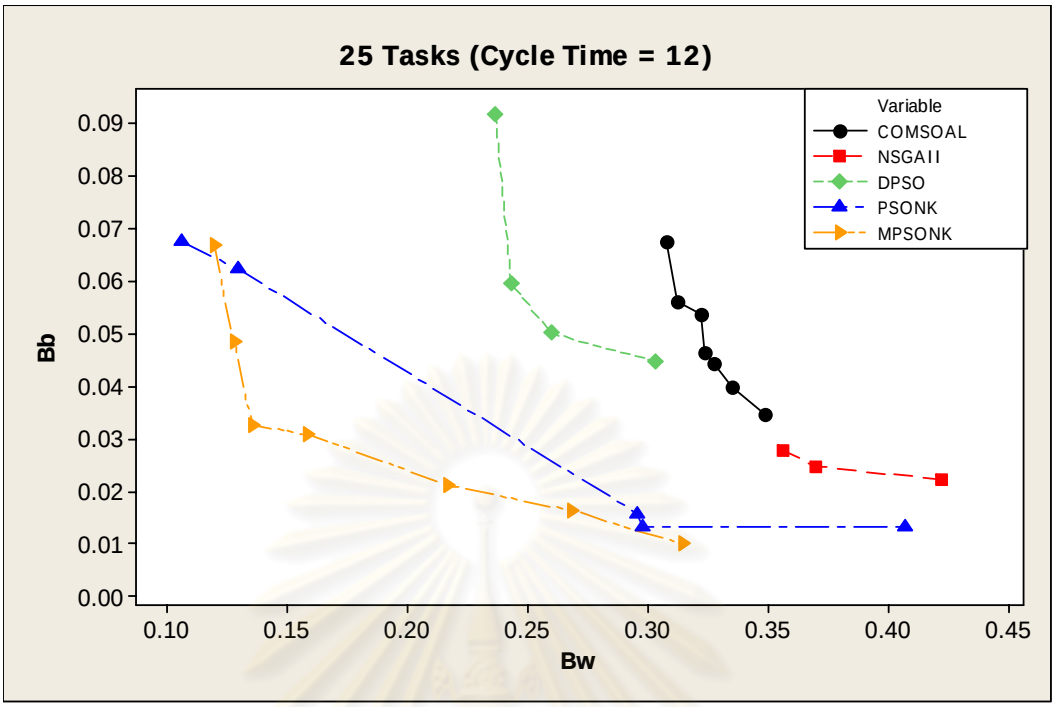
ตารางที่ 8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
14	10	1	0.0062	0.3773
	10	1	0.0080	0.3658
	10	1	0.0093	0.3581
	10	1	0.0117	0.3528
	10	1	0.0118	0.3041
	10	1	0.0178	0.2771
	10	1	0.0209	0.2291
	10	1	0.0253	0.2266
	10	1	0.0261	0.1453
	10	1	0.0454	0.1425

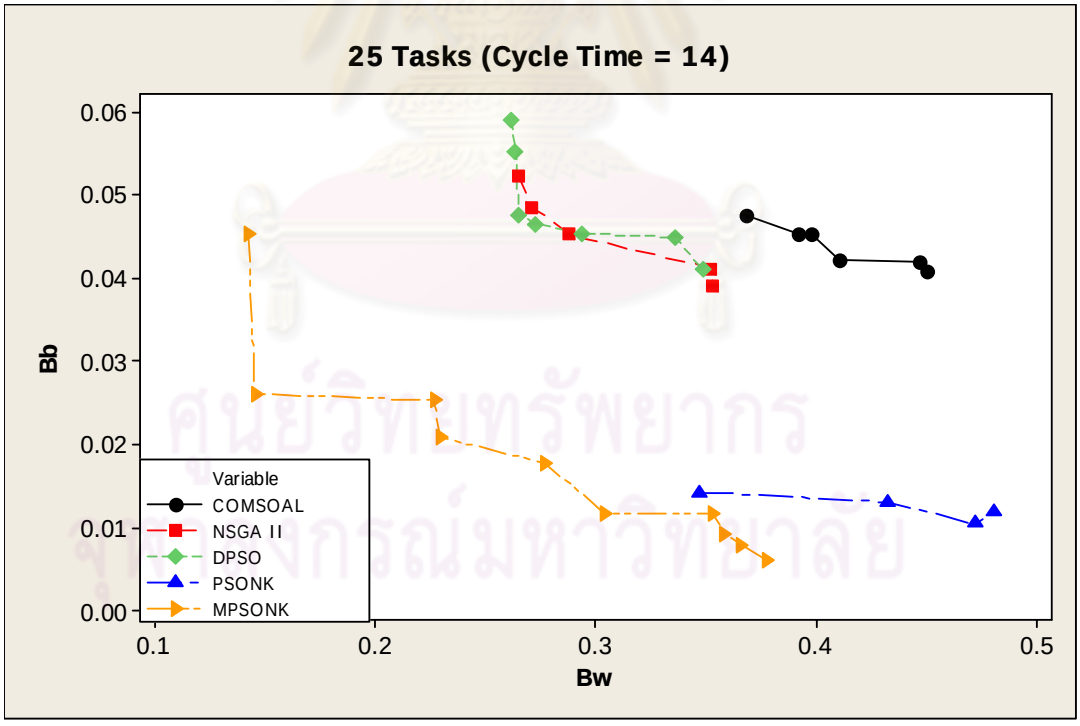
8.2.2.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.9 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 10)



รูปที่ 8.10 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 12)



รูปที่ 8.11 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ขั้นงาน (รอบเวลา= 14)

ตารางที่ 8.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 25 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
10	workstation	16	16	16	*15*	*15*
	Convergence	-	-	-	0.0359	0.0300
	Spread	-	-	-	0.8135	0.7581
	Ratio	-	-	-	0.6667	0.9000
	Time (s)	307.6134	3136.5008	1090.5961	355.2058	4367.808
12	workstation	13	13	13	*12*	*12*
	Convergence	-	-	-	0.1782	0.0297
	Spread	-	-	-	0.8592	0.4035
	Ratio	-	-	-	0.6000	1.0000
	Time (s)	300.8633	3118.1419	1017.0217	349.5989	4352.3506
14	workstation	12	12	12	*10*	*10*
	Convergence	-	-	-	0.3465	0
	Spread	-	-	-	0.5553	0.6656
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	300.0806	3110.6618	1004.5826	383.2152	4330.2702

จากรูปที่ 8.9 – 8.11 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.12

จากตารางที่ 8.12 พบว่าในปัญหา 25 งานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดี เมื่อรอบเวลาการทำงาน 12 และ 14 อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าตัวอื่น และเมื่อพิจารณาดูที่สถานีงาน อัลกอริทึม PSONK กับ M-PSONK จะมีสถานีงานลดลงที่รอบเวลาเท่ากับ 10 ลดลง 1 สถานีงาน ที่รอบเวลาเท่ากับ 12 ลดลง 1 สถานีงาน และ รอบเวลาที่ 14 จะลดลง 2 สถานีงาน ในปัญหาขนาดเล็กที่มีขนาด 25 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK และอัลกอริทึม PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.3 ปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน

8.2.3.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.13 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0061	0.4089
	34	1	0.0065	0.3520
	34	1	0.0067	0.3421
	34	1	0.0075	0.3364
3.38	37	1	0.0039	0.3303
	37	1	0.0059	0.2947
	37	1	0.0062	0.2931
3.36	35	1	0.0046	0.3193
	35	1	0.0049	0.2937
	35	1	0.0051	0.2915
	35	1	0.0053	0.2832

8.2.3.2. ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0048	0.3688
	34	1	0.0060	0.3389
	34	1	0.0060	0.3136
	34	1	0.0062	0.3101
	34	1	0.0067	0.3072
3.38	34	1	0.0040	0.3174
	34	1	0.0041	0.3141
	34	1	0.0041	0.2964
	34	1	0.0044	0.2730

ตารางที่ 8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.36	35	1	0.0042	0.3363
	35	1	0.0044	0.3039
	35	1	0.0047	0.2975
	35	1	0.0046	0.2917
	35	1	0.0046	0.2895
	35	1	0.0048	0.2851

8.2.3.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.15 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	34	1	0.0045	0.3550
	34	1	0.0036	0.3330
	34	1	0.0058	0.3175
	34	1	0.0058	0.3110
	34	1	0.0059	0.3028
	34	1	0.0074	0.2987
3.38	33	1	0.0036	0.3298
	33	1	0.0037	0.3005
	33	1	0.0040	0.3000
	33	1	0.0040	0.2957
3.36	34	1	0.0040	0.3340
	34	1	0.0042	0.2989
	34	1	0.0046	0.2843
	34	1	0.0050	0.2810
	34	1	0.0052	0.2805
	34	1	0.0057	0.2753

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.2.3.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.16 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	32	1	0.0038	0.2984
	32	1	0.0043	0.2929
	32	1	0.0047	0.2899
	32	1	0.0058	0.2848
3.38	31	1	0.0019	0.2988
	31	1	0.0024	0.2967
	31	1	0.0025	0.2871
	31	1	0.0029	0.2828
	31	1	0.0031	0.2820
	31	1	0.0064	0.2754
3.36	31	1	0.0016	0.3266
	31	1	0.0017	0.3106
	31	1	0.0022	0.2893
	31	1	0.0028	0.2845
	31	1	0.0033	0.2695

8.2.3.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

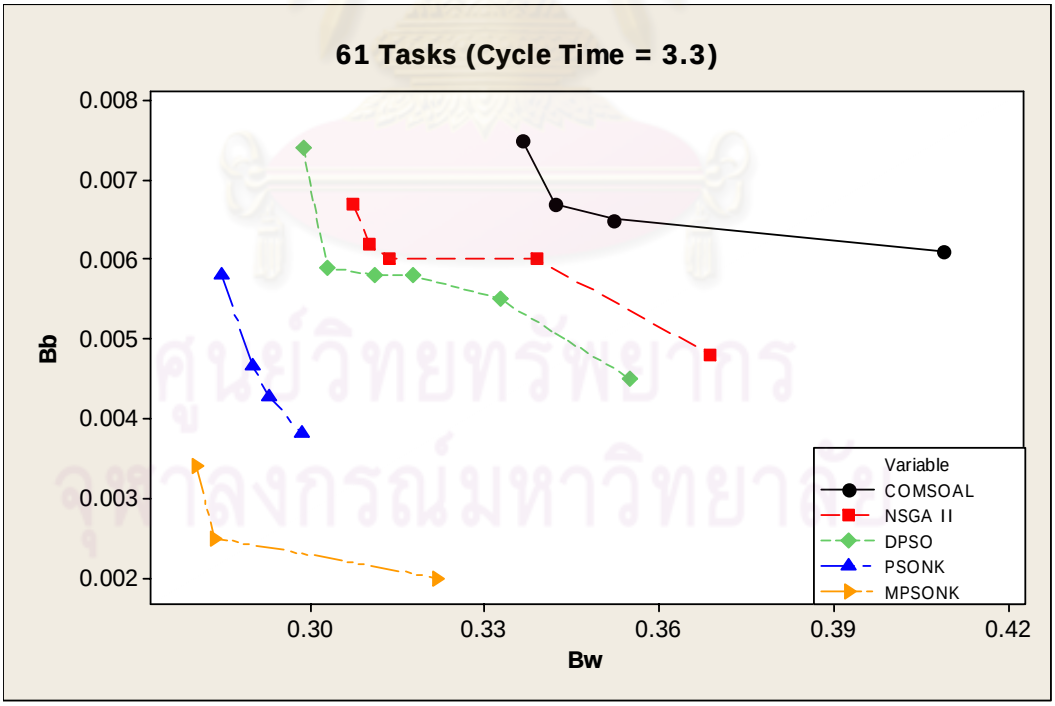
ตารางที่ 8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.3	32	1	0.0020	0.3217
	32	1	0.0025	0.2836
	32	1	0.0034	0.2802

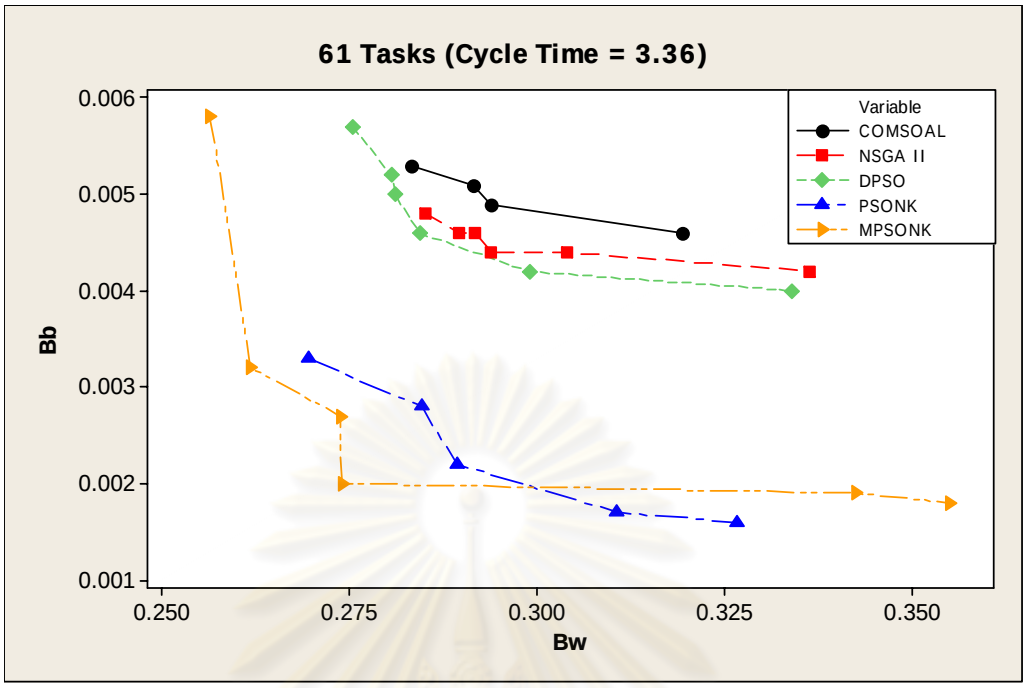
ตารางที่ 8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
3.38	31	1	0.0017	0.2962
	31	1	0.0019	0.2722
	31	1	0.0037	0.2605
	31	1	0.0046	0.2507
	31	1	0.0077	0.2453
3.36	31	1	0.0017	0.2962
	31	1	0.0023	0.2894
	31	1	0.0032	0.2572
	31	1	0.0046	0.2507
	31	1	0.0077	0.2453

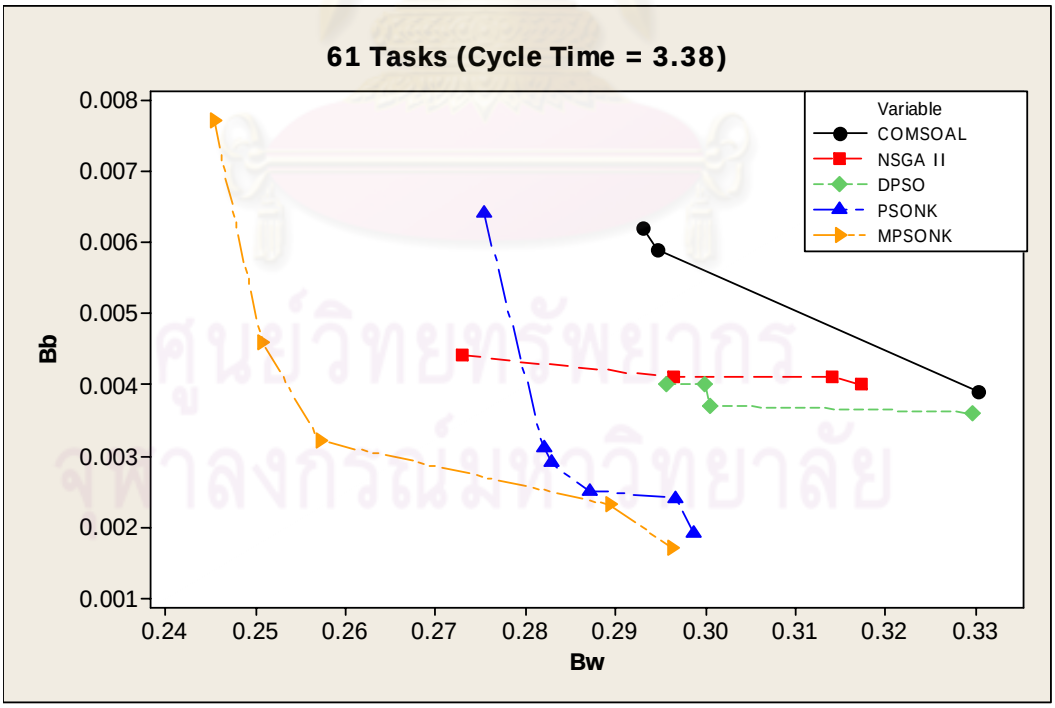
8.2.3.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.12 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.3)



รูปที่ 8.13 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.36)



รูปที่ 8.14 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ขั้นงาน (รอบเวลา= 3.38)

ตารางที่ 8.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 61 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
3.3	workstation	34	34	34	32	32
	Convergence	-	-	-	0.5386	0
	Spread	-	-	-	0.5865	0.6032
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	2551.7500	24421.7970	8406.8271	2876.2180	32147.0790
3.36	workstation	37	34	33	31	31
	Convergence	-	-	-	0.1950	0.0704
	Spread	-	-	-	0.4097	0.6244
	Ratio	-	-	-	0.6000	0.8000
	Time (s)	2594.4060	22161.8430	8774.8829	2799.5320	32409.9060
3.38	workstation	35	35	34	31	31
	Convergence	-	-	-	0.3771	0
	Spread	-	-	-	0.8077	0.5256
	Ratio	-	-	-	0	1.0000
	Time (s)	1996.1250	29180.5515	8836.8818	2810.0470	32211.6250

จากรูปที่ 8.12 – 8.14 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.18

จากตารางที่ 8.18 พบว่าในปัญหา 61 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้ง 3 รอบเวลา อัลกอริทึม M-PSONK เมื่อทำการวัดโดยตัวชี้วัดทั้งสามตัวแล้วจะมีประสิทธิภาพมากกว่าอัลกอริทึมตัวอื่นๆ อย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนอัลกอริทึม PSONK จะมีประสิทธิภาพมากที่สุดในการกระจายของคำตอบที่ดี และสถานีการทำงานมีจำนวนลดลงเมื่อได้ทำการทดสอบด้วยอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK ในปัญหาขนาดกลางที่มีขนาด 61 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.4 ปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน

8.2.4.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.19 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0212	0.0179
	31	1	0.0227	0.0132
	31	1	0.0232	0.0103
	31	1	0.0244	0.0102
5670	32	2	0.0205	0.0163
	32	2	0.0209	0.0143
	32	2	0.0219	0.0122
	32	2	0.0225	0.0115
	32	2	0.0226	0.0106
	32	2	0.0239	0.0104
	32	2	0.0259	0.0086
5230	35	3	0.0202	0.0166
	35	3	0.0225	0.0152
	35	3	0.0240	0.0123
	35	3	0.0292	0.0120

8.2.4.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0215	0.0101
	31	1	0.0263	0.0093
	31	1	0.0292	0.0088
5670	32	2	0.0194	0.0137
	32	2	0.0201	0.0110
	32	2	0.0219	0.0101
	32	2	0.0222	0.0097

ตารางที่ 8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
5670 (ต่อ)	32	2	0.0231	0.0078
	32	2	0.0239	0.0070
	32	2	0.0255	0.0067
	32	2	0.0268	0.0062
5230	35	3	0.0212	0.0137
	35	3	0.0218	0.0130
	35	3	0.0235	0.0090

8.2.4.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.21 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	31	1	0.0196	0.0117
	31	1	0.0217	0.0098
	31	1	0.0244	0.0093
	31	1	0.0281	0.0083
5670	32	2	0.0194	0.0106
	32	2	0.0195	0.0095
	32	2	0.0213	0.0093
	32	2	0.0231	0.0078
	32	2	0.0314	0.0067
5230	34	3	0.0205	0.0135
	34	3	0.0209	0.0118
	34	3	0.0209	0.0112
	34	3	0.0267	0.0106
	34	3	0.0279	0.0094

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

8.2.4.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.22 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	28	1	0.0120	0.0094
	28	1	0.0120	0.0094
	28	1	0.0136	0.0083
	28	1	0.0141	0.0063
	28	1	0.0141	0.0063
	28	1	0.0199	0.0058
5670	30	2	0.0147	0.0076
	30	2	0.0153	0.0075
	30	2	0.0166	0.0074
	30	2	0.0206	0.0056
5230	32	3	0.0136	0.0094
	32	3	0.0267	0.0067
	33	3	0.0133	0.0112
	33	3	0.0142	0.0090
	33	3	0.0150	0.0089
	33	3	0.0151	0.0066
	33	3	0.0163	0.0050

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

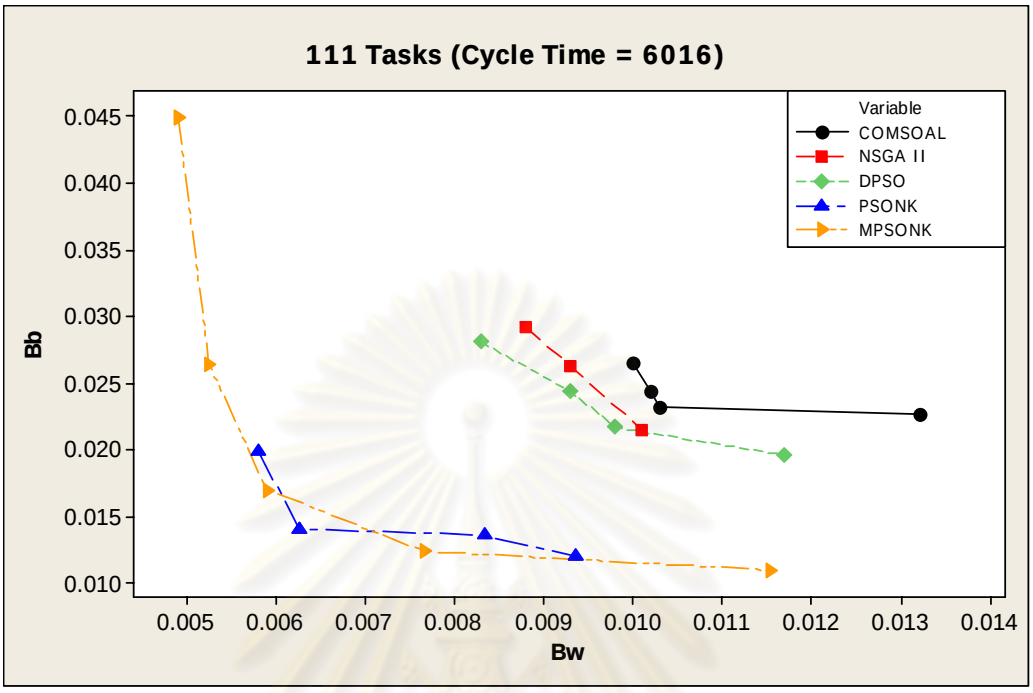
8.2.4.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 8.23 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงาน

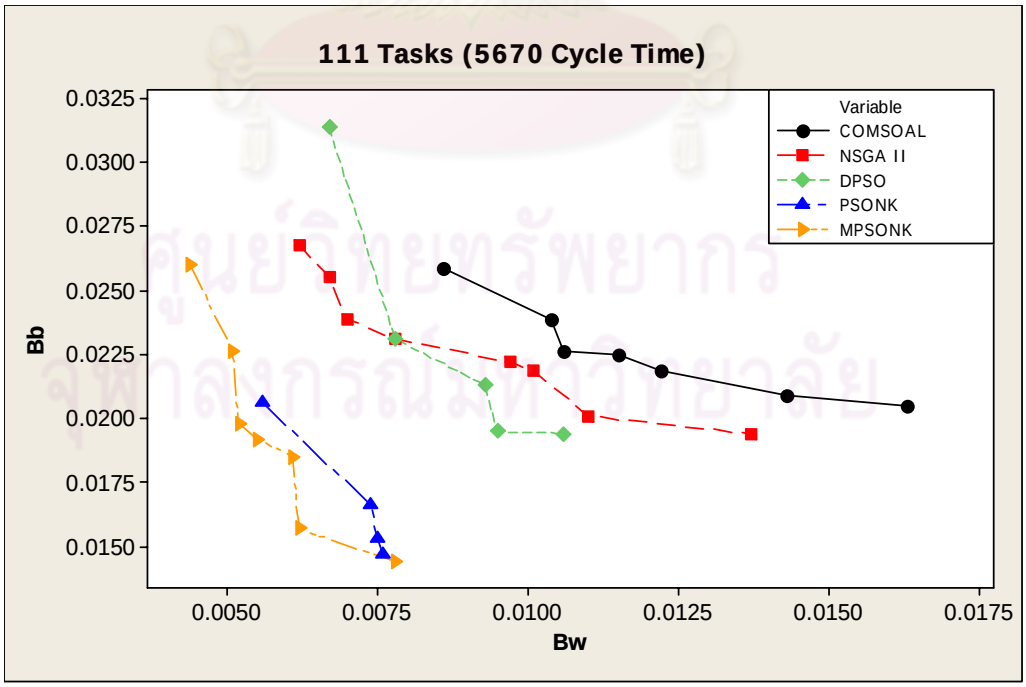
รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
6016	28	1	0.0110	0.0115
	28	1	0.0124	0.0077
	28	1	0.0170	0.0059
	28	1	0.0264	0.0053
	28	1	0.0449	0.0049
	28	1	0.0449	0.0049
5670	30	2	0.0144	0.0078
	30	2	0.0157	0.0062
	30	2	0.0185	0.0061
	30	2	0.0192	0.0055
	30	2	0.0198	0.0052
	30	2	0.0226	0.0051
	30	2	0.0260	0.0044
5230	33	3	0.0124	0.0087
	33	3	0.0144	0.0086
	33	3	0.0151	0.0079
	33	3	0.0164	0.0060
	33	3	0.0271	0.0058
	33	3	0.0345	0.0039

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

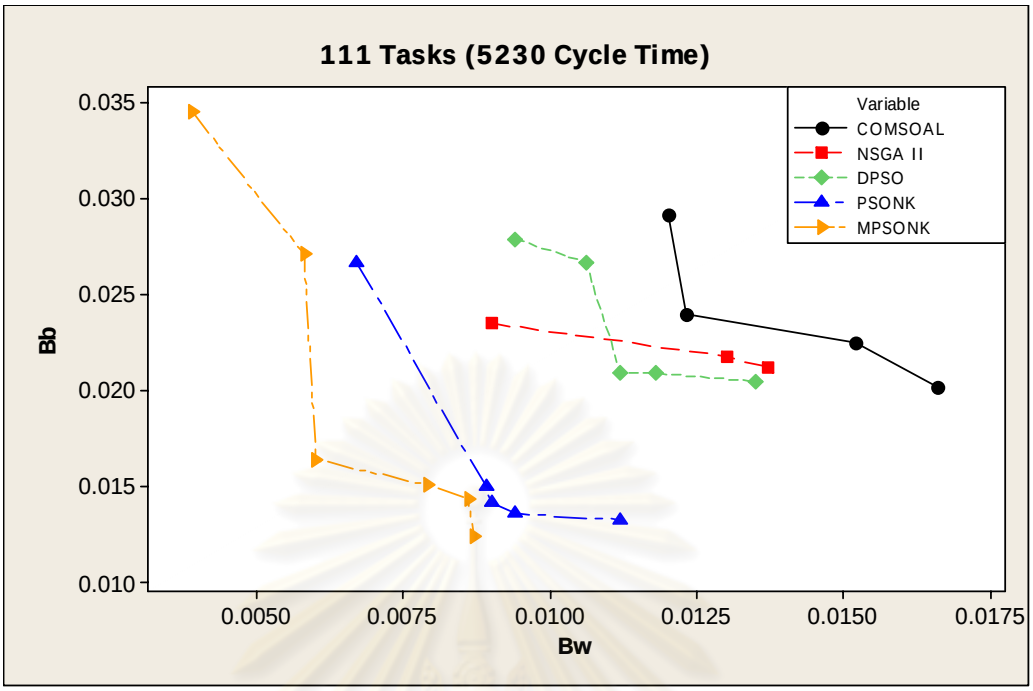
8.2.4.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.15 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 6016)



รูปที่ 8.16 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5670)



รูปที่ 8.17 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5230)

ตารางที่ 8.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 111 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
6016	workstation	31	31	31	28	28
	Convergence	-	-	-	0.1825	0.0562
	Spread	-	-	-	0.8617	0.6312
	Ratio	-	-	-	0.8333	1.0000
	Time (s)	4851.8900	116523.4210	60715.2472	8282.0320	117756.8750
5670	workstation	32	32	32	30	30
	Convergence	-	-	-	0.1923	0.0202
	Spread	-	-	-	0.9298	0.5888
	Ratio	-	-	-	0.5000	1.0000
	Time (s)	6243.3130	117710.2192	66697.0602	8652.9370	117752.0160
5230	workstation	35	35	34	33	33
	Convergence	-	-	-	0.1323	0.0693
	Spread	-	-	-	0.7423	0.6397
	Ratio	-	-	-	0.2857	0.5000
	Time (s)	6188.4220	117836.2030	64617.3408	8663.1090	117769.0310

จากรูปที่ 8.15 – 8.17 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.24

จากตารางที่ 8.24 พบว่าในปัญหา 111 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้งหมด อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่อวัดด้วยตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง และยังทำให้สถานีงานมีจำนวนลดลงจากเดิมด้วย ในรอบเวลาการทำงานที่ 6016 และ 5670 จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 2 สถานีงาน ในรอบเวลาการทำงานที่ 5230 จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 1 สถานีงาน ในปัญหาขนาดใหญ่ที่มีขนาด 111 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.2.5 ปัญหาขนาด 205 ขั้น

8.2.5.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ 8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0045	0.3871
	26	1	0.0052	0.3599
	26	1	0.0055	0.3576
	26	1	0.0062	0.3482
	26	1	0.0065	0.3424
	26	1	0.0076	0.3391
	26	1	0.0099	0.3375
	26	1	0.0115	0.3335
	26	1	0.0156	0.3299
5003	40	3	0.0075	0.3066
	40	3	0.0078	0.2964
	40	3	0.0079	0.2887
	40	3	0.0105	0.2823

ตารางที่ 8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849	41	4	0.0062	0.3283
	41	4	0.0062	0.2818
	41	4	0.0067	0.2766
	41	4	0.0073	0.2674
	41	4	0.0078	0.2671
	41	4	0.0080	0.2603
	41	4	0.0086	0.2571
	41	4	0.0116	0.2564

8.2.5.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ 8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0050	0.3587
	26	1	0.0050	0.3581
	26	1	0.0053	0.3435
	26	1	0.0059	0.3412
	26	1	0.0065	0.3312
	26	1	0.0072	0.3297
	26	1	0.0090	0.3250
	26	1	0.0097	0.3241
	26	1	0.0162	0.3213
5003	40	3	0.0060	0.3000
	40	3	0.0063	0.2970
	40	3	0.0068	0.2847
	40	3	0.0078	0.2844
	40	3	0.0078	0.2831
	40	3	0.0094	0.2809
	40	3	0.0138	0.2756

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849	41	4	0.0059	0.2993
	41	4	0.0059	0.2884
	41	4	0.0067	0.2785
	41	4	0.0073	0.2631
	41	4	0.0076	0.2618

8.2.5.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ 8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	26	1	0.0046	0.3407
	26	1	0.0054	0.3382
	26	1	0.0054	0.3360
	26	1	0.0056	0.3308
	26	1	0.0058	0.3244
	26	1	0.0067	0.3200
	26	1	0.0074	0.3193
5003	39	3	0.0062	0.3286
	39	3	0.0062	0.3129
	39	3	0.0065	0.3006
	39	3	0.0065	0.2889
	39	3	0.0075	0.2872
	39	3	0.0095	0.2833
4849	41	4	0.0059	0.2871
	41	4	0.0059	0.2715
	41	4	0.0060	0.2662
	41	4	0.0064	0.2656
	41	4	0.0070	0.2613

ตารางที่ 8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
4849 (ต่อ)	41	4	0.0075	0.2592
	41	4	0.0077	0.2587
	41	4	0.0085	0.2583
	41	4	0.0103	0.2535

8.2.5.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ

ตารางที่ 8.28 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงาน

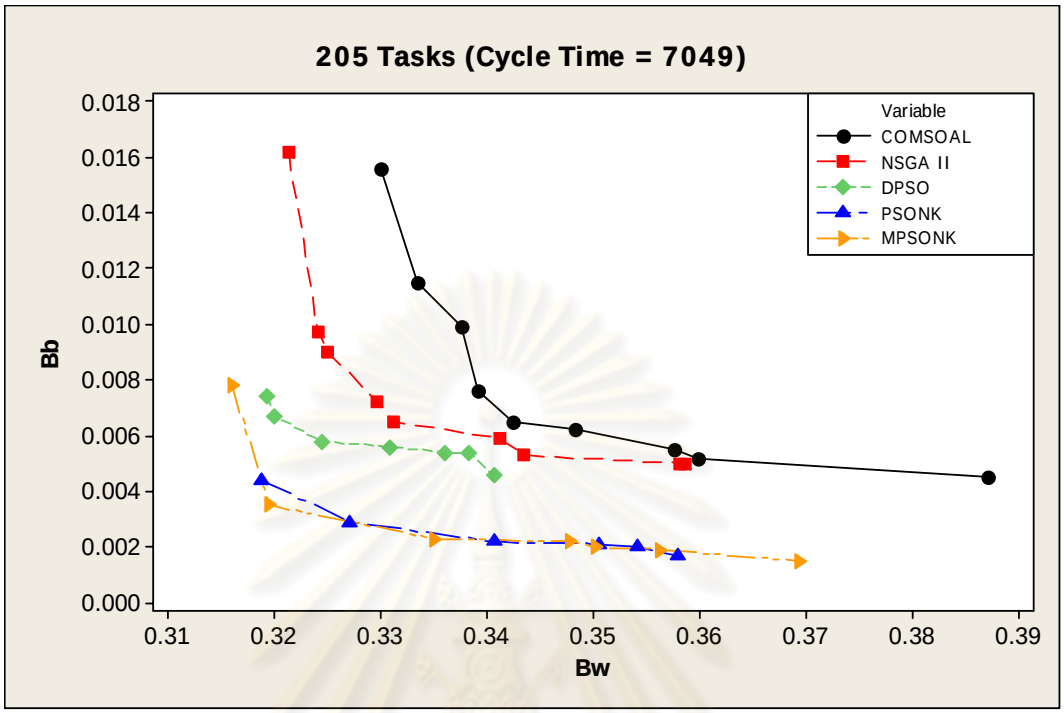
รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	25	1	0.0017	0.3580
	25	1	0.0020	0.3542
	25	1	0.0021	0.3506
	25	1	0.0022	0.3406
	25	1	0.0029	0.3270
	25	1	0.0044	0.3187
5003	37	3	0.0029	0.3537
	37	3	0.0033	0.3249
	37	3	0.0034	0.3057
	37	3	0.0037	0.3024
	37	3	0.0054	0.2896
4849	39	4	0.0032	0.3050
	39	4	0.0042	0.2931
	39	4	0.0044	0.2839
	39	4	0.0048	0.2658
	39	4	0.0053	0.2618
	39	4	0.0059	0.2590

8.2.5.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ได้จากการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

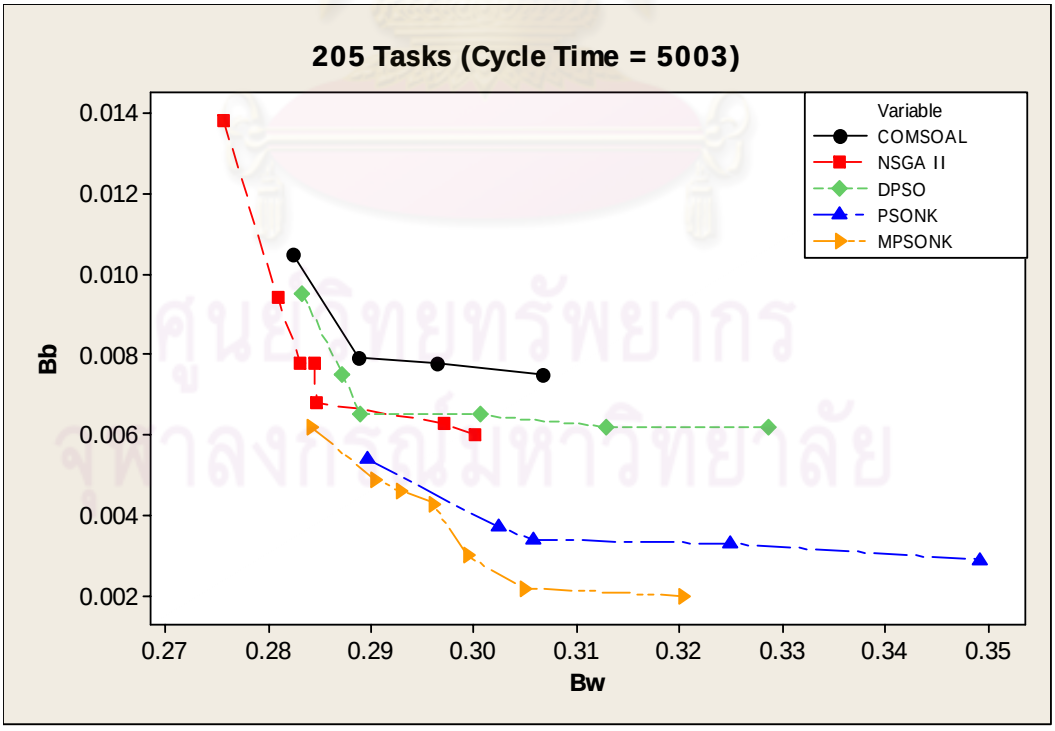
ตารางที่ 8.29 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	จำนวนสถานีงาน	จำนวนสถานีขนาน	ความสมดุลระหว่างสถานีงาน	ความสมดุลภายในสถานีงาน
7049	25	1	0.0015	0.3693
	25	1	0.0019	0.3562
	25	1	0.0020	0.3502
	25	1	0.0022	0.3478
	25	1	0.0023	0.3350
	25	1	0.0035	0.3195
	25	1	0.0078	0.3160
5003	37	3	0.0020	0.3203
	37	3	0.0022	0.3048
	37	3	0.0030	0.2993
	37	3	0.0043	0.2960
	37	3	0.0046	0.2929
	37	3	0.0049	0.2903
	37	3	0.0062	0.2841
4849	39	4	0.0031	0.3168
	39	4	0.0035	0.3045
	39	4	0.0039	0.2831
	39	4	0.0048	0.2614
	39	4	0.0068	0.2540
	39	4	0.0071	0.2490

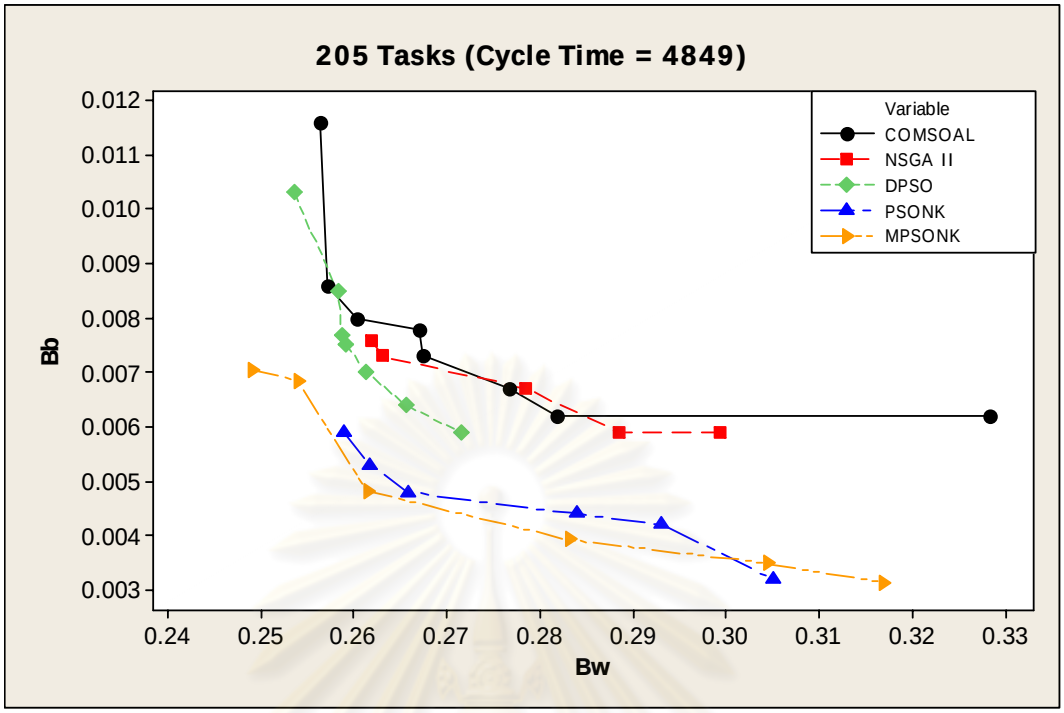
8.2.5.6 การเปรียบเทียบคำตอบแต่ละอัลกอริทึม



รูปที่ 8.18 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 7049)



รูปที่ 8.19 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 5003)



รูปที่ 8.20 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ขั้นงาน (รอบเวลา= 4890)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 205 ขั้นงาน

รอบเวลาการทำงาน	ตัวชี้วัดสมรรถนะ	COMSOAL	NSGA-II	DPSO	PSONK	M-PSONK
7049	workstation	26	26	26	25	25
	Convergence	-	-	-	0.1065	0.0466
	Spread	-	-	-	0.6916	0.7113
	Ratio	-	-	-	0.6667	0.8571
	Time (s)	8037.7780	33798.5191	183782.8717	9231.2391	367842.3982
5003	workstation	40	40	39	37	37
	Convergence	-	-	-	0.1783	0.0151
	Spread	-	-	-	0.6913	0.6112
	Ratio	-	-	-	0.2000	1.0000
	Time (s)	8040.3215	342139.5191	194557.213	11172.6523	344192.78
4849	workstation	41	41	41	39	39
	Convergence	-	-	-	0.1266	0.0390
	Spread	-	-	-	0.5494	0.4975
	Ratio	-	-	-	0.3333	1.0000
	Time (s)	8358.8521	343060.5191	199374.9889	11065.7521	347639.13

จากรูปที่ 8.18 – 8.20 อัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบทั้ง 5 อัลกอริทึมจากรูปแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีค่าที่ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัด และรองลงมาคืออัลกอริทึม PSONK ตามด้วยอัลกอริทึม DPSO, อัลกอริทึม NSGA-II และ COMSOAL ตามลำดับ และทำการเปรียบเทียบโดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะดังในตารางที่ 8.30

จากตารางที่ 8.30 พบว่าในปัญหา 205 งานที่รอบเวลาการทำงานทั้งหมดอัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเมื่ออัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงและวัดด้วยตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่รอบเวลาการทำงาน 5003 และ รอบเวลาการทำงาน 4849 และยังทำให้สถานีงานมีจำนวนลดลงจากเดิมด้วย จำนวนสถานีงานในอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 2 สถานีงานในรอบเวลาการทำงาน 7049 และในรอบเวลาการทำงานที่ 5230 จำนวนสถานีงานอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK มีจำนวนสถานีงานลดลง 1 สถานีงาน ในปัญหาขนาดใหญ่ที่มีขนาด 205 ขั้นงานสรุปได้ว่าอัลกอริทึม M-PSONK มีประสิทธิภาพมากที่สุด

8.3 สรุป

จากผลการทดลองเมื่อนำมาวิเคราะห์หาประสิทธิภาพในการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม โดยแบ่งออกเป็นปัญหาขนาดเล็ก (ปัญหา 11 ขั้นงานและ 25 ขั้นงาน), ปัญหาขนาดกลาง (ปัญหา 61 ขั้นงาน) และปัญหาขนาดใหญ่ (ปัญหา 111 ขั้นงานและ 205 ขั้นงาน) จากผลการวิเคราะห์จะเห็นได้ว่าปัญหาขนาดเล็กจะยังไม่สามารถเห็นความแตกต่างได้มากนักแต่เมื่อทำการเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะพบว่าอัลกอริทึม PSONK และ M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ของคำตอบในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุด ปัญหาขนาดกลางเมื่อทำการทดสอบแล้วพบว่าอัลกอริทึม M-PSONK จะให้ผลลัพธ์ในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง, ด้านคำตอบที่ดีในการการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงได้ดีที่สุดอย่างเห็นได้ชัดเจน ส่วนในปัญหาขนาดใหญ่ อัลกอริทึม M-PSONK จะมีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ แต่ทางด้านเวลาในการคำนวณแล้วอัลกอริทึม M-PSONK จะใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 8.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดเล็ก

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดเล็ก					
			11			25		
			6	6.3	6.6	10	12	14
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	8	8	7	16	13	12
		NSGA-II	8	8	7	16	13	12
		DPSO	8	8	7	16	13	12
		PSONK	8	8	7	15	12	10
		M-PSONK	8	8	7	15	12	10
	Convergence	COMSOAL	0.2064	0.3939	0.4083	-	-	-
		NSGA-II	0.2064	0.2446	0.4083	-	-	-
		DPSO	0.2132	0.2446	0.4083	-	-	-
		PSONK	0.1112	0	0.0210	0.0359	0.1782	0.3465
		M-PSONK	0	0	0	0.0300	0.0297	0
	Spread	COMSOAL	0.7009	0.7500	0.7500	-	-	-
		NSGA-II	0.7009	0.5726	0.7500	-	-	-
		DPSO	0.5239	0.5726	0.7500	-	-	-
		PSONK	0.4430	0.4955	0.6810	0.8135	0.8592	0.5553
		M-PSONK	0.6932	0.4955	0.7138	0.7581	0.4035	0.6656
	Ratio	COMSOAL	1.0000	0.5000	1.0000	-	-	-
		NSGA-II	1.0000	0.6667	1.0000	-	-	-
		DPSO	1.0000	0.6667	1.0000	-	-	-
		PSONK	1.0000	1.0000	1.0000	0.6667	0.6000	0
		M-PSONK	1.0000	1.0000	1.0000	0.9000	1.0000	1.0000
	Time (s)	COMSOAL	49	47.4	47.1	307.6	300.8	300.1
		NSGA-II	514.6	567.1	542.4	3136.5	3118.1	3110.6
		DPSO	96.3	88.2	80.8	1090.5	1017.0	1004.5
		PSONK	61.1	56.1	51.3	355.2	349.5	343.2
		M-PSONK	1093.5	1033.0	1009.7	4367.8	4352.3	4330.2

ตารางที่ 8.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดกลาง

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดกลาง		
			61		
			3.3	3.36	3.38
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	37	37	35
		NSGA-II	34	34	35
		DPSO	33	33	34
		PSONK	32	31	31
		M-PSONK	32	31	31
	Convergence	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0.5386	0.1950	0.3771
		M-PSONK	0	0.0704	0
	Spread	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0.5865	0.4097	0.8077
		M-PSONK	0.6032	0.6244	0.5256
	Ratio	COMSOAL	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-
		DPSO	-	-	-
		PSONK	0	0.6000	0
		M-PSONK	1.0000	0.8000	1.0000
	Time (s)	COMSOAL	2551.8	2594.4	1996.1
		NSGA-II	24421.8	22161.8	21180.6
		DPSO	8406.8	8774.9	8836.9
		PSONK	2876.2	2799.5	2810.1
		M-PSONK	32147.1	32409.9	32211.6

ตารางที่ 8.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหาขนาดใหญ่

อัลกอริทึม			ปัญหาขนาดใหญ่					
			111			205		
			5230	5670	6016	4849	5003	7049
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	workstation	COMSOAL	35	32	31	41	40	26
		NSGA-II	35	32	31	41	40	26
		DPSO	34	32	31	41	39	26
		PSONK	33	30	28	39	37	25
		M-PSONK	33	30	28	39	37	25
	Convergence	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.1323	0.1923	0.1825	0.1266	0.1783	0.1065
		M-PSONK	0.0693	0.0202	0.0562	0.0390	0.0151	0.0466
	Spread	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.7423	0.9298	0.8617	0.5494	0.6913	0.6916
		M-PSONK	0.6397	0.5888	0.6312	0.4975	0.6112	0.7113
	Ratio	COMSOAL	-	-	-	-	-	-
		NSGA-II	-	-	-	-	-	-
		DPSO	-	-	-	-	-	-
		PSONK	0.2857	0.5000	0.8333	0.3333	0.2000	0.6667
		M-PSONK	0.5000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	0.8571
	Time (s)	COMSOAL	6188.4	6243.3	4851.9	8358.9	8040.3	8037.8
		NSGA-II	117836.2	117710.2	116523.4	343060.5	342139.5	335798.5
		DPSO	64617.3	66697.1	60715.3	199374.9	194557.2	183782.9
		PSONK	8663.1	8652.9	8282.0	11065.8	11172.7	9231.2
		M-PSONK	117769.0	117752.0	117756.9	347639.1	344192.8	367842.4

บทที่ 9
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้เป็นการสรุปผลการทดลองที่ได้จากการจากการนำเมมเมติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดบนสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนานและข้อเสนอแนะต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยดังนี้

9.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการใช้อัลกอริทึมแก้ปัญหางานทั้ง 5 ปัญหาที่มีผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ซึ่งเป็นการจัดสถานีงานเป็นแบบตัวยูที่มีการทำงานแบบข้างหน้าและการทำงานแบบข้างหลังตามลำดับความสำคัญ สถานีงานที่เป็นแบบขนานนั้นจะใช้ก็ต่อเมื่อสถานีงานนั้นมีค่าเวลาการทำงานเกินเวลาในรอบเวลาการทำงานที่กำหนด ทำให้ไม่มีเวลาการผลิตเกินรอบเวลาการทำงานที่กำหนดในแต่ละสถานี โดยมีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อหาจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด หาความสมดุลภายในระหว่างสถานีงาน และความสมดุลภายในสถานีงาน เพื่อทำการหาค่าที่เหมาสมที่สุดในการค้นหาคำตอบที่ใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหา ประกอบด้วย อัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่พัฒนาขึ้นโดยพัฒนาขึ้นมาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) ซึ่งมีการพัฒนาโดยใช้ความรู้เชิงลบในกระบวนการหาคำตอบ จากเดิมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (PSO) จะทำการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำคำตอบที่ได้มาทำการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ แต่การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะทำการหาคำตอบที่แย่ที่สุด (Lworst) ในแต่ละฝูงและคำตอบที่แย่ที่สุด (Gworst) ในประชากรทั้งหมด มาใช้ร่วมกับคำตอบที่ดีที่สุด (Lbest) ในแต่ละฝูง และคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ในประชากรทั้งหมดเพื่อนำมาปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ในการหาคำตอบที่ดีต่อไป จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด ร่วมกับการค้นหาเฉพาะที่เป็นฮิวริสติกที่ใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดมาใช้ เพื่อทำให้เกิดคำตอบที่ดีกว่า ซึ่งรูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ จะเป็นการหาคำตอบที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (Local Optimal) ทำการค้นหาซ้ำไปเรื่อย ๆ จนครบจำนวนครั้งในการทำการซ้ำ หรือไม่สามารถปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดีกว่าเดิม

9.1.1 ผลการประยุกต์ในการใช้อัลกอริทึมในการหาคำตอบในการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน

จากการใช้อัลกอริทึมมาแก้ปัญหาทั้ง 5 ปัญหาพบว่า การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมตัวอื่นๆ ทั้งหมด จากคำถามเบื้องต้นในบทที่ 1 สามารถตอบได้ดังนี้

1. การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม จะเป็นวิธีที่ดีที่สุดเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับสายการประกอบแบบผสมลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน ซึ่งมีคำตอบที่ใกล้เคียงกับการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ ในทุกๆ ปัญหาที่ได้ทำการวิจัย

2. ปัญหาที่มีขนาดเล็กเมื่อทำการเปรียบเทียบพบว่าอัลกอริทึมที่ใช้ทั้ง 5 อัลกอริทึมนั้นมีค่าใกล้เคียงกันและเมื่อนำมาวัดด้วยตัวชี้วัดสมรรถนะพบว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบและวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะให้คำตอบที่เหมาะสมที่สุด ปัญหาที่มีขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะให้คำตอบที่ดีที่สุดอย่างชัดเจน

3. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบจะใช้เวลาในการคำนวณได้น้อยกว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม ถึงแม้ว่าวิธีนี้จะให้คำตอบที่ดีที่สุดแต่จะใช้เวลาในการค้นหานานเนื่องจากต้องทำการหาคำตอบที่ดีเพื่อให้ได้คำตอบที่หลายหลายในการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

วิธีการประยุกต์ใช้การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม มีขั้นตอนดังนี้

1. การสร้างประชากรเริ่มต้น สร้างตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ขนาด $1\times n$ โดยมีค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นเท่ากันทั้งหมดเท่ากับ $1/n$ ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) และตารางความเร็วของอนุภาค (Velocity Matrix) มีขนาด $n\times n$ เมื่อ n คือจำนวนขั้นงานทั้งหมด โดย Joint Probability Matrix มีค่าความน่าจะเป็นร่วมเท่ากับ $1/(n-1)$ ยกเว้นในแนวทแยงมุมจะมีค่าเท่ากับ 0 ส่วนค่า Velocity Matrix เริ่มต้นจะมีเท่ากับ 0 ทั้งหมด (Zero Matrix) และจึงทำการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก เพื่อหาลำดับงานแรก และใช้ตาราง

ความน่าจะเป็นร่วมในการหาค่าลำดับอื่นๆ โดยทำการสร้างให้ครบทุกอนุภาคที่กำหนดในแต่ละฝูง ซึ่งสตริงคำตอบที่ได้จะต้องไม่ผิดกับความสัมพันธ์งานก่อนและหลัง

2. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic) ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k ครั้ง โดยวิธี 2-Opt ที่การค้นหาเฉพาะที่ที่ใช้การลบเส้นทางเดิมออก แต่หาทางเชื่อมทางเดินใหม่ที่สามารถเป็นไปได้

3. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String) ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

4. การหาค่าที่เหมาะสม (Pareto Based Approach) การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้จะใช้เทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด ที่มีการจัดลำดับแบบ Goldberg (1989) หรือ Non-dominated Sorting ที่เป็นการกำหนดค่าความแข็งแรงให้กำคำตอบที่ได้จากประชากรทั้งหมด โดยจะถูกจัดแบ่งเป็นกลุ่ม กลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุดจะเป็นกลุ่มที่ดีที่สุด

5. การคัดเลือกคำตอบ (Selection) คัดเลือกคำตอบโดยการเรียงค่าความแข็งแรงที่ได้จากน้อยไปมาก โดยทำการเลือกสตริงที่ได้ในจากการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) ให้แก่สตริงคำตอบ จะใช้วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) เพื่อจะนำมาคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : Lbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด และคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่แย่ในแต่ละฝูง (Local Worst Solution : Lworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting ในแต่ละฝูง และหาสตริงคำตอบที่ดีของประชากร (Global Best Solution : Gbest) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดและสตริงคำตอบที่แย่ของประชากร (Global Worst Solution : Gworst) ซึ่งจะพิจารณาจำนวนสถานีงานที่มากที่สุด โดยพิจารณาจาก Front ของคำตอบที่ได้จากการ Non-dominated Sorting จากการรวมกันของสตริงคำตอบของทุกฝูง และทำการเก็บค่า Gbest ที่ได้

6. การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น (Update Probability Matrix) ปรับปรุงค่าตารางการเคลื่อนที่เป็นขั้นตอนที่ทำให้มีการเพิ่มโอกาสในการเลือกคำตอบที่ดี และลดโอกาสการเลือกคำตอบที่แย่ โดยมีหลักการดังนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1 r_1 D_1 + c_2 r_2 D_2 \quad (9.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (9.2)$$

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

โดยแบ่งออกเป็นการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) และการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ดังนี้

6.1 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นในการเลือกงานแรก (First Walk Probability Matrix) ทำการปรับปรุง First Walk Probability Matrix โดยดูงานที่ถูกเลือกเป็นอันดับแรก ด้วยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรกเท่ากับ $Cr/(n-1)$ ในสตริงคำตอบที่ดี และลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำการลดค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานลำดับแรก เท่ากับ $Cr/(n-1)$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในการเลือกงานอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-1)^2$

6.2 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ค่าจากการเคลื่อนที่ (Velocity) จะขึ้นอยู่กับค่า Lbest, Lworst, Gbest และ Gworst ซึ่งใช้การให้รางวัลและการลงโทษที่ค่าสุ่ม โดยเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงที่ดีเท่ากับ $r/(t-2)$ และลดค่าคู่ลำดับอื่นๆ เท่ากับ $r/(t-2)^2$ จากนั้นทำการอัพเดท Velocity Matrix โดยดูจากลำดับงานที่อยู่ติดกัน ด้วยการเพิ่มค่าแก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ดีเท่ากับ $Cr/(n-2)$ และลดค่ากับคู่ลำดับอื่น ๆ เท่ากับ $Cr/(n-2)^2$ ส่วนในสตริงคำตอบที่แย่จะทำเช่นเดียวกันแต่ใช้การลดค่าแก่คู่ลำดับที่ติดกันในสตริงคำตอบ และเพิ่งค่าคู่ลำดับอื่นๆ แทน

6.3 การปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม (Joint Probability Matrix) การเพิ่มค่าความน่าจะเป็นให้แก่คู่ลำดับในสตริงคำตอบในการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) โดยใช้สมการที่ (8.2) ในการปรับปรุงเพื่อสุ่มหาสตริงคำตอบในรอบต่อไป

7. เก็บค่าที่ดีที่สุด (Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population) นำคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการเก็บค่าที่ดีที่สุดของประชากรในรอบก่อนหน้า โดยจะนำคำตอบที่ได้มาหา Non-dominated Sorting เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด และทำการเก็บค่าที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดเพื่อนำใช้ในรอบต่อไป

8. การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search Heuristic) เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดสุดท้ายแล้วทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ โดยทำการวนค้นหาเฉพาะที่ซ้ำจำนวน k ครั้ง โดยความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ภายหลังการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นจะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นของความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ที่กำหนด

9. การซ่อมแซมสตริงคำตอบ (Repair String) ทำการซ่อมแซมสตริงคำตอบให้ถูกต้องตามข้อจำกัดความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน เนื่องจากสตริงคำตอบลำดับงานได้ทำการค้นหาเฉพาะที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสตริงคำตอบได้

10. คำตอบที่ดีที่สุด (Best Solution) หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ และนำประชากรคำตอบที่ได้ในการซ่อมแซมสตริงคำตอบมาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

9.2 ข้อเสนอแนะ

1. ในการจัดสายการประกอบการผลิตนั้นควรมีการจัดลำดับงานของผลิตภัณฑ์ควบคู่กันอยู่ตลอดเวลาเพื่อป้องกันการผิดพลาดของการทำงาน และสายการประกอบในปัจจุบันเป็นสายการประกอบแบบผสมอาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดได้เนื่องจากสภาพแวดล้อมในการทำงาน

2. การจัดสถานีงานแบบขนานนั้นต้องคอยสังเกตดูรอบเวลาการงานของงานว่ามีเวลาการทำงานเกินรอบเวลาที่กำหนดในแต่ละสถานีงานหรือไม่ ถ้ามีให้กำหนดว่าสถานีงานที่มีงานนี้อยู่ให้เป็นสถานีงานขนาน ในสายการประกอบแบบผสมจะทำการเปลี่ยนเวลาการทำงานของตัวอื่นถ้าเวลางานนั้นมีค่าน้อยกว่างานที่มีค่ามากที่สุดที่เป็นงานที่ต้องมีสถานีงานขนานให้มีเวลาการทำงานเท่ากับงานนี้

3. สถานีงานขนานที่กำหนดต้องควรมีการกำหนดที่เฉพาะเจาะจงเพื่อไม่ให้เกิดสถานีงานขนานที่มากเกินความจำเป็น ในงานวิจัยได้มีการกำหนดไว้ว่าสถานีงานขนานที่เพิ่มขึ้นมาจะไม่เกิน 1 สถานี

4. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมนั้นยังใช้เวลาในการหาค่าเหมาะสมเป็นเวลานานเนื่องจากต้องทำการหาคำตอบที่ดีเพื่อให้ได้คำตอบที่หลายหลายในการคัดเลือกคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งอาจจะมีวิธีที่สามารถมาประยุกต์ใช้ในการ

หาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมทำให้ใช้เวลาการคำนวณที่น้อยลงได้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิกา ศิลานนท์. 2542. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลาวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์.

จงกล เอี่ยมมิ. 2543. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์.

เพ็ญพักตร์ ปิ่นกุมภีร์. 2550. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับการจัดลำดับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์.

ภาณุวัฒน์ โอฬารวิวัฒน์ชัย. 2551. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์.

ภาษาอังกฤษ

Adbelber, A. M., and Abdelshahid. 2004. Instinct-Based PSO with Local Search Applied to Satisfiability. IEE International Joint Conference on Neural Networks : 2291-2295.

Ajenblit, D. A., and Wainwright, R. J. 1998. Applying genetic algorithms to the U-shaped assembly line balancing problem. Proceedings of the IEEE Conference on Evolutionary Computation 1998 : 96-101.

Arcus, A. L. 1963. An analysis of a computer method of sequeng assembly line operations. Dissertation (PhD), University of California, Berkrly 1963.

Arcus, A. L. 1996. Comsoal: A computer method of sequencing operations for assembly lines. InternationalJournal of Production Research 4 : 259-277.

Ase, G. R., Olson, J. R., and Schniederjans, M. J. 2004. U-shaped assembly line layouts and their impact on labor productivity: An experimental study. European Journal of Operational Research 156 (2004) : 698-711.

Askin, R. G., and Zhou, M. 1997. A parallel station heuristic for the mixed-model production line balancing problem. International Journal of Production Research 35 : 3095-3105.

Baybars, I. 1986. A survey of exact algorithm for the simple assembly line balancing problem. Management Science Vol. 32 : 909-932.

Baykasoglu, A. 2006. Muti-rule multi-objective simulated annealing algorithm for straight and U type assembly line balancing problems. Journal Intell Manuf 17 : 217-232.

Baykasoglu, A., and Ozbakir, L. 2007. Stochastic U-line balancing using genetic algolithms. International Journal Adv Manuf Techcol 32 : 139-147.

Baykasoglu, A., and Derali, T. 2009. Simple and U-Type Assembly Line Balancing by using an Ant Colony Based Algorithm. Mathematical and Computational Applications Vol. 14 : 1-12.

Becker, C., and Scholl, A. 2004. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research 168 : 694-715.

Boysen, N., Fliedner, M., and Scholl, A. 2007. Assembly line balancing: Which model to use when?. Int. J. Production Economics 111 : 508-528.

Brudaru, O., Valmar, B., and Popovici, D. 2008. Hybrid Genetic Algorithm for Assembly Line Balancing with Fuzz Times and Parallel Workstations. Universitatea Tehnica Gheorghe Asachi din Iasi Tomuli LIV 2 : 51-74.

Cheng, C. H., Miltenburg, J., and Motwani, J. 2000. The Effect of Straight- and U-Shaped Lines on Quality. IEEE Transactions on Engineering Mangement 47 : 321-344.

Chen, S., and Plebani, L. 2008. Heuristic for balancing U-Shaped Assembly lines with parallel stations. Journal of the Operations Research Society of Japan Vol 51 : 1-14.

Chen, S., and Urban, T. L. 2005. The stochastic U-line balancing problem: A heuristic procidure. European journal of Operational research 175 (2006) : 1767-1781.

Coello Coello, C. A., Pulido, G. T., and Lechuga, M.S. 2004. Handling Multiple Objectives with Particle Swarm Optimization. IEEE Transactions on Evolutionary Computation Vol 8 : 256-279.

Cutima, P., and Olanviwatchai, P. 2010. Mixed-model U-Shaped Assembly Line Balancing Problems with Coincidence Memetic Algorithm. Journal of Software Enginerring and Applications : 347-363.

DePuy, G. W., and Whitehouse, G.E. 2000. Applying the COMSOAL computer heuristic to the constrained resource allocation problem. Computations & Industrial Engineering 38 : 413-422.

Fan, S. S-K., and Chang, J-M. 2009. A parallel particle swarm optimization for muti-objective optimization problems. Engineer Optimization Vol 41 No 7 : 673-697.

Ghinato, P., Fujii, S., and Morita, H. 1997. A basic approach to the multifunction workers assignment problem in U-Shaped production lines. Proceedings of the 3rd International Congress of Industrial Engineering 1997 : 1-8.

Ghosh S., and Gagnon R.J. 1989. A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly systems. Int. J Prod. Res. 27 : 637-670.

Goldberg, D.E. 1989. Genetic algorithm in Search, optimization and machine learning Reding, MA addison. 1989.

Hwang, R., and Katayama, H. 2008. A muti-decision gemetic approach for workload balancing of mixed-model U-shaped assembly line systems. International Journal of Production Research 2008 : 1-26.

Jeckson, J.R. 1956. A computing procedure for a line balancing problem. Management Science 2 : 261-271.

Kennedy, J., and Eberhart, R. 1995. Particle swarm optimization. Proceedings of IEEE International Conference on Neural Networks, Piscataway, NJ : 1942-1948.

Kim, Y. D., Shim, S. O., Kim, S. B. Choi, Y. C., and Yoon, H. M. 2004. Parallel machine scheduling considering a job-splitting property. International Journal of Production Research 21 : 4531-4546.

Kim, Y. K., Kim J. Y., and Kim, Y. H. 2006. An endosymbiotic evolutionary algorithm for the integration of balancing and sequencing in mixed-model U-line. European journal of Operational research 168 (3) : 838-852.

Konank, A., Coit, D. W., and Smith, A. E. 2006. Muti-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. Reliability Engineering and System Safety 91 : 992-1007.

Klein, R., and Scholl, A. 1999. Balancing assembly lines effectively – A computational comparison. European Journal of Operational Research 114 : 50-58.

Kriengkorakot, N., and Pianthong, N. 2007. The Assembly line balancing Problem: Review articles. KKU Engineering Journal Vol. 34 : 130-140.

Liao, C-L., Tseng, C-T., and Luarn, P. 2005. A discrete version of particle swarm optimization for floeshop scheduling problems. Computers & operations research 34 : 3099-3111.

Liu, B., Wang, L., Jin, Y., and Huang, D. 2007. Designing Neural Network Using PSO-Based Memetic Algorithm. ISNN 2007 : 219-224.

Liu, D. S., Tan, K. C., Huang, S. Y., Goh, C. K., and Ho, W. K. 2007. On solving mutiobjective bin packing problems using evolutionary particle swarm optimization. European Journal of Operational Research 190 : 357-382.

Lusa, A. 2008. A survey of the literature on the multiple or parallel assembly line balancing problem. European Journal Industrial Engineering 2 : 50-72.

Mansouri, S. A. 2005. A muti-objective genetic algorithm for mixed-model sequencing on JIT assembly lines. European Journal of Operation Research 167 (2005) : 696-716.

McMullen, P. R., and Frazier, G. V. 1997. A heuristic for solving mixed-model line balancing problems with stochastic task durations and parallel stations. Int. J. Production Economics 51 (1997) : 177-190.

McMullen, P. R., and Frazier, G. V. 1998. Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstation. International Journal of Production Research 36 : 2717-2741.

Miltenburg, J. 2001. U-shaped production lines: A review of theory and practice. Int. J. Production Economics 70 (2001) : 201-214.

Plebani, L., and Chen, S. 2004. Balancing U-shaped Assembly line with parallel stations. Technical Report 04T-003.

Plebani, L., and Chen, S. 2003. HUP: heuristic for U-Shaped Parallel Line. Technical Report 03T-008.

Rameshkumar, K., Suresh, R. K., and Mohanasundaram, K. M. 2005. Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) Algorithm for Premutation Flowshop Scheduling to Minimize Makespan. Lecture Notes in Computer Science 2005 : 572-581.

Rezadeh, H., Ghazanfari, M., Said-Mehrabad, M., and Sadjadi, S. J. 2009. An extended discrete particle swarm optimization algorithm for the dynamic facility layout problem. Rezazadeh et al / J Zhejiang Univ Sci A 10(4) : 520-529.

Salman, A., Ahmad, I., and Al-Madani, S. 2002. Particle swarm optimization for task assignment problem. Microprocessors and Microsystems 26 : 363-371.

Scholl, A., and Klein, R. 1999. Balancing assembly line effectively – A computational comparison. European Journal of Operational Research 114 : 50-58.

Sharaf, A. M., and El-Gammal, A. A. A. 2009. A Discrete Paticle Swarm Optimization Technique (DPSO) for Power Fillter Design. Design and Test Worksation (IDT) 4 : 1-6.

Simaria, A. S., and Vilarinho, P. M. 2004. A genetic algorithm based approach to the mixed-model assembly line balancing problem of type II. Computers & Industrial Engineering 47 (2004) : 391-407.

Sparling, D., and Mitenburg, J. 1998. The mixed-model U-line balancing problem. International Journal of Production Research 2 : 485-501.

Sterling, T., Becker, D J., and Saverese, D,. 1995. Beowulf: A Parallel workstation for scientific computation. Proc. Int. Conf. on Parallel Processing 1 : 11-14.

Suwannarongsri, S., and Phangdownreong, D. 2009. Assembly line balancing by M-COMSOAL method. IE-network Conference 2009 : 117-122.

Tseng, C-T., and Liao, C-J. 2007. A discrete particle swarm optimization for lot-streaming flowshop scheduling problem. European Journal of operation research 191 : 360-373.

Vilarinho, P. M., and Simaria, A. S. 2002. A two-stage heuristic method for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. International Journal of Production Research 40 : 1405-1420.

Vilarinho, P. M., and Simaria, A. S. 2006. ANTBAL: an ant colony optimization algorithm for balancing mixed-model assembly lines with parallel workstations. International Journal of Production Research Vol. 44 No. 2 : 291-303.

Xie, X-F., Zhang, W-J., and Yang, Z-L. 2002. A Dissipative Particle Swarm Optimization. Congress on Evolutionary Computation (CEC), Honolulu, HI, USA 2002 : 1456-1461.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง

1. อัตราการเกิดสถานีงานขนานและงานที่เกิดสถานีงานขนานในแต่ปัญหา

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของอัตราการเกิดสถานีงานขนานของแต่ละปัญหา

ปัญหา	% ที่เกิด parallel	Cycle Time	งานที่เกิด Parallel Workstation
11 (Jackson, 1956)	10%	6.6	4
		6.3	4
		6	4
25 (Vilarinho and Simaria, 2002)	10%	10	4, 25
		12	4, 25
		14	4
61 (kim et. al, 2006)	5%	3.38	5
		3.36	5
		3.30	5
111 (Arcus, 1963)	3%	6016	95
		5670	42, 95
		5230	42, 91, 95
205 (Scholl et al, 2006)	2%	7049	9
		5003	9, 181, 185
		4890	9, 25, 181, 185

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

2.1 ปัญหาขนาด 11 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.2 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
1	6	6	6	2, 3, 4, 5
2	2	2	2	6
3	5	5	0	7
4	0	7	0	7
5	1	1	1	7
6	0	2	2	8
7	3	3	3	9
8	6	6	0	10
9	5	0	5	11
10	5	5	0	11
11	4	4	4	-

2.2 ปัญหาขนาด 25 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 25 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานถัดไป
	A	B	
1	0	2.0	3
2	7.7	7.7	11
3	7.3	7.3	4, 5, 6, 7
4	15.0	15.0	8
5	8.8	8.8	8, 9,10
6	6.2	0	10, 11
7	3.6	0	20
8	0	2.0	12
9	6.6	6.6	12, 14

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 25 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)		ขั้นงานถัดไป
	A	B	
10	2.5	2.5	13
11	5.5	5.5	16
12	7.1	7.1	15
13	5.9	5.9	15,16
14	1.3	0	19
15	5.5	5.5	23
16	1.9	2.0	17, 18
17	3.7	0	21
18	9.4	9.4	19, 20
19	1.3	1.3	23
20	0	9.0	24
21	2.0	2.0	22
22	6.7	6.7	24
23	9.6	8.2	24
24	6.1	3.7	25
25	12.5	0	-

2.3 ปัญหาขนาด 61 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 61 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	
1	1.2	0.5	1.6	1.6	2
2	2.5	0	3	0	3
3	0	2.6	1.6	1.6	7
4	0.7	0	0	2	5
5	1.4	1.9	3.4	2.4	6
6	1.8	0.9	0	0	7
7	0	0.7	2.7	1.7	10, 13, 16
8	0	1.5	0.5	2.5	9
9	1.5	0	0.6	0.6	17

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 61 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	
10	1.5	0.9	0	1.8	11
11	0	1.1	2.9	2.9	12
12	1.1	0	3	3	17
13	2.5	1.7	0.6	1.7	14
14	0.9	0	1.5	1.5	15
15	1	2.5	0.7	2.5	62
16	2.6	1.5	1.3	2.6	62
17	1.8	0.5	0	0.5	61
18	1.8	0.5	0	0.5	19
19	1.1	1.2	1.2	1.2	20
20	1.4	2.4	3.3	2.3	24, 26
21	0	0.4	0.6	1.6	22
22	2.2	3.1	0.9	2.9	23
23	3.3	2.3	3	2	27
24	.3	3.2	3	2	25
25	2.5	0	2.7	2.7	27
26	3.2	0.8	0.8	0	62
27	1.4	1	2	2	53
28	0	1.3	2.3	2.3	29
29	1.8	0	1.9	0	30
30	3	1.2	1.4	1.4	31, 34
31	1.2	2.3	2.8	2.8	32
32	2.1	1.3	1.1	2.1	33
33	0	2	0.8	2.8	49
34	1.2	0	2.2	1.2	49
35	0.8	0	2.5	0.8	36
36	1.2	0	2	0	37
37	0	1.8	1.6	1.6	38
38	1.3	3.1	1.4	1.3	42
39	2.5	1.6	3.3	3.3	40
40	2.5	1.8	1.2	1.2	41

ตารางที่ ก.3 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 61 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)				ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	
41	0.8	0.6	1.8	0	42
42	0.4	1.6	1.2	1.2	43
43	1.4	0.8	3.2	3.2	44
44	0.4	2	0	0	47, 48
45	0	2.6	0.7	2.7	49
46	2.6	0	1.8	2.6	62
47	0.7	2.1	1.2	0.4	49
48	1.1	0.9	3.2	3.2	49
49	0	0.8	0	0	50
50	0.7	0.5	1.5	1.5	53
51	2.1	2.9	0.3	0.3	52
52	0	0	0.9	0.9	53
53	1.5	0	3.1	3.1	54
54	0.5	0.9	0.7	0.7	-
55	1.6	1.5	0	0	56
56	2.6	0	1.8	1.8	61
57	0.8	2.1	2.9	1.9	58
58	2.2	0.7	0	3	61
59	1.5	1.3	3.2	3.2	60
60	3.3	2.9	0.9	1.9	61
61	0	2.6	0.7	2.7	-

2.4 ปัญหาขนาด 111 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 111 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)					ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	E	
1	1960	1960	1960	1960	1960	2
2	1715	1715	1715	1715	1715	3
3	735	735	735	735	735	4
4	1715	1715	1715	1715	1715	5, 6, 7, 8, 9, 10

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 111 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)					ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	E	
5	490	490	490	490	490	39
6	1225	1225	1225	1225	1225	39
7	169	169	169	169	169	83
8	2252	2252	2252	2252	2252	71
9	1225	1225	1225	1225	1225	32
10	0	2319	0	0	0	11,12
11	1715	1715	1715	1715	1715	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
12	980	980	980	980	980	13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21
13	735	735	735	735	735	71
14	2281	2281	2281	2281	2281	22, 23, 24, 25
15	2750	2750	2750	2750	2750	26
16	0	0	77	0	0	27
17	0	0	0	89	0	28
18	0	0	0	0	51	29
19	0	364	0	0	0	30
20	405	0	0	0	0	91
21	3060	3060	3060	3060	3060	111
22	125	125	125	125	125	31, 83
23	3429	3429	3429	3429	3429	32, 33
24	0	0	0	43	0	69, 70
25	3430	3430	3430	3430	3430	34
26	1960	1960	1960	1960	1960	82
27	0	0	0	29	0	35
28	0	0	0	27	0	36
29	0	0	0	0	15	37
30	121	0	0	0	0	38
31	1715	1715	1715	1715	1715	39
32	2127	2127	2127	2127	2127	41
33	1470	1470	1470	1470	1470	111

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 111 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)					ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	E	
34	4037	4037	4037	4037	4037	42
35	0	0	0	68	0	43
36	0	0	0	62	0	44, 91
37	0	0	0	0	42	45, 91
38	0	364	0	0	0	46, 91
39	4998	4998	4998	4998	4998	40
40	1470	1470	1470	1470	1470	111
41	2963	2963	2963	2963	2963	69, 70
42	5689	5689	5689	5689	5689	47
43	0	0	0	68	0	48, 49, 91
44	0	0	0	18	0	50
45	0	0	0	0	10	51
46	0	0	81	0	0	52
47	5200	5200	5200	5200	5200	54, 55, 56, 57, 58, 59, 60
48	0	0	39	0	0	53
49	0	0	67	0	0	91
50	0	0	0	0	27	111
51	0	0	0	0	15	111
52	121	0	0	0	0	111
53	0	0	58	0	0	111
54	1715	1715	1715	1715	1715	69, 70
55	125	125	125	125	125	61, 62, 63
56	4010	4010	4010	4010	4010	63, 64
57	1470	1470	1470	1470	1470	65, 91
58	1470	1470	1470	1470	1470	66, 91
60	1960	1960	1960	1960	1960	68, 91
61	2205	2205	2205	2205	2205	69, 70
62	4018	4018	4018	4018	4018	71
63	2744	2744	2744	2744	2744	111
64	2999	2999	2999	2999	2999	72

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 111 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)					ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	E	
65	735	735	735	735	735	111
66	735	735	735	735	735	111
67	735	735	735	735	735	111
68	735	735	735	735	735	111
69	0	545	0	0	0	77, 78
70	3386	3386	3386	3386	3386	73
71	3234	3234	3234	3234	3234	91
72	2205	2205	2205	2205	2205	74, 91
73	2206	2206	2206	2206	2206	75
74	490	490	490	490	490	76
75	825	825	825	825	825	77, 78, 79, 91
76	3528	3528	3528	3528	3528	80, 81, 82
77	3568	3568	3568	3568	3568	83
78	1200	1200	1200	1200	1200	84
79	618	618	618	618	618	85
80	1470	1470	1470	1470	1470	86, 91
81	1715	1715	1715	1715	1715	87, 91
82	735	735	735	735	735	111
83	1960	1960	1960	1960	1960	91
84	2989	2989	2989	2989	2989	88, 89, 91
85	618	618	618	618	618	111
86	490	490	490	490	490	111
87	735	735	735	735	735	90
88	490	490	490	490	490	105
89	921	921	921	921	921	105
90	326	326	326	326	326	111
91	5390	5390	5390	5390	5390	92, 93, 94
92	243	243	243	243	243	95
93	371	371	371	371	371	95
94	58	58	58	58	58	95

ตารางที่ ก.4 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 111 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)					ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	D	E	
95	6615	6615	6615	6615	6615	96, 97, 98, 99, 100, 104
96	1225	1225	1225	1225	1225	101
97	769	0	0	0	0	102
98	768	0	0	0	0	103
99	1670	1670	1670	1670	1670	111
100	1670	1670	1670	1670	1670	111
101	490	490	490	490	490	105
102	0	202	0	0	0	106, 107
103	0	203	0	0	0	107, 108
104	202	202	202	202	202	111
105	2744	2744	2744	2744	2744	111
106	162	0	0	0	0	109
107	324	0	0	0	0	111
108	162	0	0	0	0	110
109	0	121	0	0	0	111
110	0	162	0	0	0	111
111	91	91	91	91	91	112

2.5 ปัญหาขนาด 205 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
1	1960	897	1387	2
2	1715	33	524	3
3	735	36	369	4
4	1715	490	14	5, 6, 8, 9, 19, 22
5	2319	1071	56	7,10
6	2252	1492	871	99

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
7	1715	86	1681	11, 12, 18, 20, 21, 29, 32, 33, 51
8	1225	786	1050	25
9	1225	1113	226	14
10	980	652	928	11, 12, 18, 20, 21, 29, 32, 33, 51
11	2750	1163	1883	16
12	2281	143	1291	13, 23, 34, 49
13	3429	2071	3169	14, 17
14	2127	1172	569	15
15	2963	1296	859	101, 106
16	1960	1199	309	151
17	1470	1144	204	205
18	735	372	568	99
19	490	457	280	25
20	405	145	86	181
21	364	70	288	27
22	169	157	77	180
23	125	63	110	24, 180
24	1715	1403	155	25
25	4998	4441	863	26
26	1470	1196	1268	205
27	121	33	51	28
28	364	132	328	30, 181
29	89	1	72	41
30	81	24	41	31
31	121	27	40	205
32	77	38	25	35
33	51	46	36	45
34	43	25	33	101, 106
35	29	24	27	36

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
36	68	58	36	37
37	68	11	36	38, 39
38	67	54	38	181
39	39	18	37	40
40	58	56	51	205
41	27	3	22	42
42	62	59	25	43, 181
43	18	18	0	44
44	27	14	3	205
45	15	14	12	46
46	42	14	25	47,181
47	10	7	6	48
48	15	6	9	205
49	0	0	0	50, 57, 60, 63
50	3430	2683	1808	76
51	0	0	0	52, 53, 54, 66
52	3060	1311	23	144
53	2401	2227	520	56
54	2070	1529	2052	55
55	1580	913	1245	144
56	804	10	316	144
57	0	0	0	58, 59
58	2628	159	1298	73
59	2070	1529	2052	55
60	1580	913	1245	144
61	804	10	316	144
62	0	0	0	58, 59
63	2628	159	1298	73
64	1231	151	114	73
65	0	0	0	61, 62
66	2723	2374	2006	74

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
67	990	954	814	74
68	0	0	0	64, 65
69	1988	1204	1854	75
70	1551	1339	1511	75
71	0	0	0	67, 68
72	1357	1128	232	143
73	0	0	0	69, 70
74	2404	1380	1128	142
75	0	0	0	71, 72
76	1414	109	516	141
77	1414	15	631	141
78	0	0	0	76
79	0	0	0	76
80	0	0	0	76
81	0	0	0	77
82	0	0	0	78, 79
83	4037	192	1663	83
84	928	458	213	80, 81
85	2849	1729	1726	82
86	972	843	668	82
87	0	0	0	83
88	0	0	0	84
89	1960	1454	1064	181
90	1715	372	366	96, 181
91	1470	956	353	101, 10
92	1470	652	1400	94, 181
93	735	351	611	205
94	735	448	663	205
95	735	504	210	205
96	735	86	327	205
97	125	59	125	98, 100, 108

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
98	4018	894	1385	99
99	3234	319	2465	181
100	2205	1314	1750	101, 106
101	545	241	342	161, 167
102	0	0	0	103, 104, 112, 115
103	2205	134	1828	103
104	740	86	442	105
105	1601	1392	878	130
106	0	0	0	107, 118, 121, 124
107	3386	1397	1085	158
108	0	0	0	109, 110
109	2744	168	2657	127
110	1140	231	649	11
111	1822	730	573	127
112	0	0	0	113, 114
113	1612	1485	529	128
114	771	551	353	128
115	0	0	0	116, 117
116	1650	540	941	129
117	1084	342	483	129
118	0	0	0	119, 120
119	2685	2103	1522	155
120	1064	1014	59	155
121	0	0	0	122, 123
122	2395	1226	1051	156
123	1378	318	1255	156
124	0	0	0	125, 126
125	1858	1597	1165	157
126	1777	1066	555	157

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
127	0	0	0	205
128	0	0	0	130
129	0	0	0	130
130	0	0	0	131
131	490	84	24	132
132	0	0	0	133, 134
133	3528	2952	3311	148
134	0	0	0	135, 136, 138
135	2388	745	1416	146
136	1155	176	906	137
137	1461	945	860	146
138	0	0	0	139, 140
139	1327	488	1158	145
140	1141	102	416	145
141	0	0	0	142
142	0	0	0	143
143	0	0	0	144
144	0	0	0	205
145	0	0	0	146
146	0	0	0	147
147	1533	789	213	148
148	0	0	0	149, 150, 151
149	1715	1711	880	152, 181
150	1470	894	891	153, 181
151	735	243	22	205
152	735	329	570	154
153	490	277	262	205
154	326	28	227	158
155	0	0	0	158
156	0	0	0	158
157	0	0	0	159

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
158	0	0	0	159
159	2206	972	545	160
160	825	736	473	161, 164, 167
161	1200	87	40	162
162	2889	2519	147	163, 166, 181
163	921	554	589	200
164	618	370	465	165
165	618	381	46	205
166	490	370	169	200
167	0	0	0	168, 169, 172
168	3568	1019	3491	179
169	0	0	0	170, 171
170	2616	1919	2319	176
171	1250	527	654	176
172	0	0	0	173, 174
173	2014	437	1134	177
174	1357	453	579	175
175	728	503	719	177
176	0	0	0	179
177	0	0	0	178
178	1905	566	381	179
179	0	0	0	180
180	1960	465	552	181
181	5390	5294	2218	182, 183, 184
182	371	129	193	185
183	243	161	96	185
184	58	5	3	185
185	5059	1757	1657	186, 187, 188, 189, 190
186	1670	941	573	205
187	1670	824	1453	205

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
188	1225	786	254	191
189	769	132	101	193
190	768	699	193	192
191	490	196	177	200
192	203	146	5	194, 197
193	202	9	162	194, 196
194	324	37	130	205
195	202	85	146	205
175	728	503	719	177
176	0	0	0	179
177	0	0	0	178
178	1905	566	381	179
179	0	0	0	180
180	1960	465	552	181
181	5390	5294	2218	182, 183, 184
182	371	129	193	185
183	243	161	96	185
184	58	5	3	185
185	5059	1757	1657	186, 187, 188, 189, 190
186	1670	941	573	205
187	1670	824	1453	205
188	1225	786	254	191
189	769	132	101	193
190	768	699	193	192
191	490	196	177	200
192	203	146	5	194, 197
193	202	9	162	194, 196
194	324	37	130	205
195	202	85	146	205
196	162	118	87	199

ตารางที่ ก.5 รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาขั้นงานของผลิตภัณฑ์ (นาที)			ขั้นงานถัดไป
	A	B	C	
197	162	147	4	198
198	162	106	90	205
199	121	75	22	205
200	0	0	0	201, 202
201	2744	973	1695	204
202	1966	833	593	203
203	851	786	205	204
204	0	0	0	205
205	91	12	54	-

3. คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบปัญหาต่าง ๆ ในแต่ละอัลกอริทึม

ตารางที่ ก.6 รายละเอียดของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบของแต่ละปัญหา

ปัญหา	รายละเอียดคอมพิวเตอร์
11 (Jackson, 1956)	Pentium(R) Dual-Core CPU 2.20 GHz. / 2044 MB RAM
25 (Vilarinho and Simaria, 2002)	Pentium(R) Dual-Core CPU 2.20 GHz. / 2044 MB RAM
61 (kim et. al, 2006)	Pentium(R) Dual-Core CPU 2.20 GHz. / 2044 MB RAM
111 (Arcus, 1963)	Intel(R) Celeron(R)M CPU 2.20 GHz. / 1.73 GHz RAM
205 (Scholl et al, 2006)	Intel(R) Pentium(R) Dual CPU 2.00 GHz. / 1016 MB RAM

ภาคผนวก ข
ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบในอัลกอริทึม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบในอัลกอริทึม

สำหรับปัญหาที่ใช้ในการทดสอบโดยวิธีอัลกอริทึมทั้ง 5 วิธี คือ อัลกอริทึม Comsoal อัลกอริทึม NSGA-II อัลกอริทึม DPSO อัลกอริทึม PSONK และอัลกอริทึม M-PSONK ซึ่งจะได้ผลลัพธ์ของคำตอบตามวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์และจะมีลำดับขั้นงาน ตำแหน่งสถานีงาน และตำแหน่งการจัดขั้นงาน จำนวนสถานีงานที่เป็นขนาน โดยในที่นี้จะแสดงทั้งหมด 5 ปัญหาที่ใช้ในการทดลองซึ่งแต่ละปัญหาจะมีรอบเวลาการทำงานทั้งหมด 3 เวลาที่ต่างกันซึ่งมีผลลัพธ์ดังนี้

1. ปัญหาขนาน 11 ขั้นงาน

1.1 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ ข.1 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6

ลำดับขั้นงาน	11 9 1 3 5 2 10 4 8 6 7
	1 3 11 10 4 8 2 5 7 9 6
	1 3 11 5 10 8 2 9 7 6 4
	1 4 11 3 5 10 9 7 2 6 8
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1
	1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 1
	1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 3 3 4 5 5 6 7 7 7
	1 2 2 3 3 4 5 6 6 7 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.2 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3

ลำดับขั้นงาน	1 3 11 5 9 10 8 2 6 7 4
	1 4 5 11 10 9 3 8 6 7 2
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1
	1 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 5 6 6 7 7 7
	1 2 2 2 3 4 5 6 6 7 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.3 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6

ลำดับขั้นงาน	1 3 2 6 4 8 5 11 7 10 9
	1 5 4 11 9 3 2 7 10 6 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 6 6
จำนวนสถานีงาน	1 1 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1

1.2 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ ข.4 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6

ลำดับขั้นงาน	11 1 5 9 2 10 3 7 6 8 4
	11 1 3 2 6 10 9 7 4 8 5
	1 4 11 10 8 2 3 9 7 6 5
	1 4 11 10 9 7 2 3 5 8 6
	1 5 11 10 9 7 2 6 3 8 4
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1
	2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1
	1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.4 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7
	1 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7
	1 2 2 3 4 4 5 6 7 7 7
	1 2 2 3 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 2 3 4 5 5 6 6 7 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 2 1
	1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2

ตารางที่ ข.5 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3

ลำดับขั้นงาน	1 5 11 10 9 7 2 8 4 6 3
	1 5 4 11 9 10 8 6 7 2 3
	1 4 11 9 7 2 6 10 5 3 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 7
	1 2 2 2 3 4 5 5 6 6 7
	1 2 2 3 4 4 5 5 5 6 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 1
	1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.6 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6

ลำดับขั้นงาน	1 3 2 6 8 10 11 5 4 7 9
	1 4 11 2 6 8 5 3 9 7 10
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1

ตารางที่ ข.6 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 4 5 5 5 6 6
	1 1 2 2 3 3 3 4 5 5 6
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 2 1
	2 1 1 1 1 1

1.3 การหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข.7 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6

ลำดับขั้นงาน	1 3 5 11 10 8 4 7 6 2 9
	11 10 1 4 8 6 9 7 5 3 2
	1 4 11 9 7 2 6 8 10 3 5
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1
	2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 2 3 4 4 5 5 6 7 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.8 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3

ลำดับขั้นงาน	1 5 11 3 9 7 2 6 8 4 10
	1 5 11 10 9 7 4 2 6 8 3
	1 4 11 10 9 7 2 6 5 3 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.8 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 7
	1 2 2 3 4 5 5 5 6 6 7
	1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 1 1
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.9 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6

ลำดับขั้นงาน	1 5 11 9 2 6 8 4 3 7 10
	1 5 4 11 10 8 6 2 9 3 7
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 6 6
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 2 1 1
	1 2 1 1 1 1

1.4 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.10 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6

ลำดับขั้นงาน	11 10 1 3 4 8 5 7 6 9 2
	11 9 1 2 10 5 7 8 4 6 3
	1 5 11 9 4 10 8 6 7 2 3
	1 5 11 9 7 2 3 6 8 4 10
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1
	2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1
	1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 2 3 3 4 5 5 6 6 7
	1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 7

ตารางที่ ข.10 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1

ตารางที่ ข.11 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3

ลำดับขั้นงาน	1 3 11 5 10 9 7 2 8 4 6
	1 5 11 10 8 6 9 7 2 4 3
	1 5 11 10 8 9 6 4 7 2 3
	1 11 5 3 9 7 4 2 6 10 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1
	1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 5 6 6 7 7 7
	1 2 2 3 4 4 5 6 6 6 7
	1 2 2 3 4 5 5 5 6 6 7
	1 2 2 3 4 5 5 5 6 6 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 2 1 1

ตารางที่ ข.12 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6

ลำดับขั้นงาน	1 11 5 2 9 3 10 7 8 6 4
	1 5 4 11 10 2 6 8 9 3 7
	1 11 5 10 8 2 9 4 6 3 7
	1 5 4 11 3 10 7 8 2 6 9
	1 2 11 10 8 3 4 6 5 9 7
	1 4 2 11 3 6 5 10 7 8 9

ตารางที่ ข.12 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1
	1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1
	1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 4 5 5 6 6 6
	1 2 2 2 3 3 4 4 5 6 6
	1 2 2 3 4 4 5 5 5 6 6
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 6 6
	1 2 2 3 4 5 5 5 5 6 6
	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 6
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2
	1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1
	1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1
	2 1 1 1 1 1

1.5 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.13 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6

ลำดับขั้นงาน	11 1 3 5 9 2 7 6 8 4 10
	1 11 3 9 2 7 4 10 6 8 5
	1 3 11 4 10 8 2 9 7 6 5
	1 5 3 11 4 2 7 6 8 9 10
	1 5 11 10 8 4 3 7 2 6 9
	1 4 11 10 9 7 2 6 3 5 8
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1
	1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1
	1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.13 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7
	1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7
	1 2 3 3 4 5 5 6 7 7 7
	1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 7
	1 2 2 3 4 4 5 6 6 7 7
	1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 1 1
	1 1 2 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.14 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบที่มีควารค้นหาเฉพาะที่ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.3

ลำดับขั้นงาน	1 5 11 10 3 9 7 2 8 4 6
	1 5 11 10 3 9 7 2 4 6 8
	1 5 11 10 8 3 9 6 4 2 7
	1 5 4 11 9 10 7 2 3 6 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 1 2 2 1 2 1 1
	1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 4 5 6 6 7 7 7
	1 2 2 3 4 5 6 6 6 7 7
	1 2 2 3 4 5 6 6 6 7 7
	1 2 2 2 3 4 5 5 6 6 7
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 1 2 1
	1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.15 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบที่มีกาค้นหาเฉพาะที่ในปัญหา 11 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6.6

ลำดับขั้นงาน	1 3 11 5 2 10 8 6 4 7 9
	1 5 4 11 10 2 8 6 9 7 3
	1 5 11 10 8 2 3 6 4 7 9
	1 11 5 10 8 4 2 6 9 7 3
	1 2 11 10 8 9 7 5 3 4 6
	1 4 11 2 5 3 6 7 9 10 8
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1
	1 1 1 2 2 1 2 1 2 2 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1
	1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6
	1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 6
	1 2 2 3 4 4 5 5 5 6 6
	1 2 2 3 4 4 4 5 5 6 6
	1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 6
	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 6
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 2 1
	1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1
	1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 2
	2 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ปัญหาขนาน 25 ขั้นงาน

2.1 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ ข.16 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10

ลำดับขั้นงาน	25 24 1 2 23 19 15 22 12 8 20 4 3 7 5 18 14 6 10 21 17 16 11 9 13
	1 3 2 6 7 10 25 4 5 8 24 22 23 19 14 20 9 12 21 18 15 17 11 16 13
	1 25 2 3 24 22 23 5 9 21 15 6 17 19 14 4 7 20 12 11 8 10 18 16 13
	1 25 24 22 20 23 3 21 7 2 6 15 4 12 10 19 14 17 8 9 5 18 11 13 16
	1 2 3 25 24 5 6 11 22 23 4 21 10 15 17 20 7 8 9 14 12 19 18 13 16
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1
	1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 3 4 4 5 6 6 7 7 8 8 9 10 11 11 11 11 12 12 12 13 14
	1 1 2 3 3 3 3 4 5 5 6 6 7 8 8 8 9 10 10 11 12 12 13 13 14
	1 1 2 3 4 4 5 6 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10 11 12 12 12 13 14 14
	1 1 1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 7 8 8 9 9 9 9 10 11 12 13 14 14
	1 1 2 2 3 4 5 5 6 7 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11 12 12 13 14 14

ตารางที่ข.16 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.17 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12

ลำดับขั้นงาน	2 1 25 3 24 6 4 22 5 11 23 13 20 7 15 21 10 17 16 8 12 19 9 18 14
	1 3 7 4 2 5 9 25 24 14 22 8 12 23 20 15 6 11 10 21 13 19 17 18 16
	2 25 1 24 20 23 15 19 22 14 3 5 6 12 21 8 17 7 9 10 4 11 13 18 16
	2 25 1 24 3 5 9 20 14 4 6 8 7 22 12 10 23 15 19 11 18 13 16 21 17
	2 25 1 3 24 4 23 22 21 6 7 5 20 10 15 9 8 12 17 19 14 11 13 18 16
	2 25 1 24 20 23 7 19 14 22 15 3 6 12 8 10 9 4 5 11 13 18 21 17 16
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1
	1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 1
	1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1
	1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1

ตารางที่ ข.17 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 3 3 3 4 5 6 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 11 11
	1 1 1 2 2 3 4 4 4 4 5 5 6 7 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11
	1 1 1 2 2 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 11 11
	1 1 1 2 2 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 7 7 8 8 9 10 11 11 11 11
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 5 6 6 7 8 8 9 9 9 9 10 10 11 11
	1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 9 9 10 10 11 11
จำนวนสถานีงาน	2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1

ตารางที่ ข.18 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14

ลำดับขั้นงาน	2 25 1 24 23 19 22 20 3 18 6 10 7 21 17 4 5 9 11 14 15 8 12 13 16
	2 25 1 3 4 5 7 9 6 14 11 10 24 22 23 13 20 16 15 18 17 19 12 21 8
	2 25 1 3 24 4 5 23 22 9 8 7 12 20 15 21 6 11 13 19 14 17 10 16 18
	25 1 24 2 22 23 19 14 3 20 7 4 15 18 12 5 9 6 8 21 11 10 17 16 13
	2 25 1 3 6 4 24 20 23 15 7 5 10 19 8 14 12 9 22 18 21 17 11 13 16
	25 24 1 20 22 23 19 18 2 3 21 15 14 12 5 7 9 17 16 13 8 4 11 6 10

ตารางที่ ข.18 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1
	1 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1
	2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1
	1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 4 4 4 5 6 6 7 7 7 7 7 8 9 9 9 10 10 10 11 11
	1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 10 10 10 11 11 11
	1 2 2 3 3 3 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 11
	1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 7 8 9 9 9 9 10 10 10 10 11
	1 2 2 3 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 7 8 8 9 9 10 10 10 11 11 11
	1 2 2 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1

2.2 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ ข.19 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10

ลำดับขั้นงาน	25 24 23 15 20 7 22 19 18 12 8 4 2 1 3 14 9 5 21 17 16 10 13 11 6
	2 1 3 5 9 14 6 11 10 4 8 12 13 15 7 25 24 20 22 16 18 19 17 21 23
	25 24 23 15 12 19 20 7 18 22 21 2 8 4 17 16 10 13 14 9 1 3 5 6 11
	25 24 23 22 20 15 12 19 14 21 17 7 9 18 16 13 10 11 6 8 4 5 3 2 1
	1 3 4 7 6 2 10 25 24 20 22 5 8 11 13 9 12 15 14 16 18 17 21 19 23
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 4 5 6 6 7 8 8 9 9 10 11 12 12 12 12 13 14 14
	1 1 2 3 4 4 5 5 6 6 6 7 8 9 9 9 10 10 11 11 12 13 13 13 14
	1 1 2 3 4 4 5 5 6 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 11 11 12 13 14 14
	1 1 2 3 3 4 5 5 5 6 6 6 7 8 9 9 10 10 11 11 11 12 13 14 14
	1 1 2 2 2 3 4 4 4 5 5 6 6 7 8 9 10 11 11 11 12 13 13 13 14
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 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 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.20 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12

ลำดับขั้นงาน	1 2 3 5 25 4 8 9 12 14 24 23 15 6 11 20 19 7 18 22 21 17 16 10 13
	1 3 5 9 14 7 2 4 8 12 6 11 10 13 15 16 17 21 22 18 19 23 20 24 25
	1 3 25 5 6 24 20 22 4 11 13 7 2 23 10 15 16 21 17 9 19 18 12 8 14
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 11 11
	1 1 2 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 10 11 11 11
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 10 11 11 11
จำนวนสถานีงาน	1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2
	2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.21 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14

ลำดับขั้นงาน	1 25 2 3 7 24 20 23 15 19 14 5 9 12 8 6 11 13 10 16 17 21 22 4 18
	25 24 20 22 7 23 15 12 8 4 19 18 21 17 16 10 13 11 6 14 9 5 3 1 2
	1 3 7 2 25 24 22 23 15 12 19 14 9 20 18 8 21 17 16 10 13 11 5 4 6
	2 25 24 22 23 15 12 8 21 17 19 14 9 20 7 18 16 10 13 11 5 6 1 3 4
	25 2 1 3 5 4 9 6 11 13 24 23 15 12 22 21 17 19 8 10 20 18 7 14 16

ตารางที่ ข.21 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 11
	1 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 8 9 10 10 11
	1 1 1 2 3 4 4 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 11 11 11
	1 2 3 3 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11
	1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1

2.3 การหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข.22 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10

ลำดับขั้นงาน	25 24 23 20 15 12 8 22 21 17 7 4 19 14 9 18 16 13 11 10 5 6 3 2 1
	2 25 24 23 15 19 14 22 21 17 12 9 1 3 4 6 10 20 18 16 13 11 7 5 8
	1 2 25 24 23 15 19 22 14 20 18 3 6 4 5 11 8 13 10 16 17 7 21 9 12

ตารางที่ ข.22 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	2 25 24 23 20 22 21 17 19 7 18 16 15 13 12 8 11 1 3 5 9 6 4 10 14
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 8 9 9 10 10 11 12 13 14 14
	1 2 2 3 4 4 4 5 5 5 6 7 7 8 9 9 10 10 11 12 12 13 13 14 14
	1 1 2 2 3 4 4 5 5 5 6 7 8 8 9 10 10 11 11 12 12 12 12 13 14
	1 2 2 3 4 4 5 5 5 5 6 7 7 8 9 9 10 10 11 12 13 13 14 14 14
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2

ตารางที่ ข.23 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12

ลำดับขั้นงาน	1 25 24 22 23 19 14 15 20 7 18 3 5 4 8 6 11 9 2 10 13 16 17 21 12
	1 25 24 20 7 23 15 12 8 4 19 14 9 22 21 17 18 16 13 11 5 10 6 3 2
	25 24 1 20 7 23 19 15 12 8 14 18 9 22 21 17 16 13 11 5 10 4 2 6 3
	25 1 3 6 2 10 4 5 9 11 13 16 18 17 21 8 12 15 14 19 23 22 7 20 24

ตารางที่ ข.23 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 5 6 6 7 7 7 8 9 9 10 10 10 10 11
	1 1 1 1 1 2 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11
	1 1 1 1 1 2 2 3 4 4 4 5 6 6 7 7 7 7 8 9 9 10 10 11 11
	1 1 1 1 2 2 3 3 4 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 10 10 10 11
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.24 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14

ลำดับขั้นงาน	1 25 24 22 2 20 7 3 4 5 9 8 12 6 10 11 13 15 14 23 21 19 18 17 16
	1 25 24 22 23 2 15 12 8 4 19 14 9 20 7 3 6 10 5 11 18 21 17 16 13
	2 25 24 20 7 22 1 3 4 5 9 14 6 10 11 13 16 18 19 17 21 8 12 15 23
	25 24 22 2 20 7 23 19 15 12 8 21 17 18 16 13 11 4 10 6 1 14 9 5 3
	2 25 24 23 19 15 14 22 1 3 5 9 4 7 6 10 20 18 21 17 16 13 11 12 8
	25 24 2 22 1 23 15 12 8 4 21 17 3 5 9 14 19 6 10 11 13 16 18 20 7

ตารางที่ ข.24 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 3 6 4 25 24 23 19 20 7 18 22 21 14 5 11 13 8 9 12 2 10 16 17 15
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1
	2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 10 10 10 11 11 11
	1 1 2 2 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 9 10 10 10 11 11
	1 2 3 3 3 4 4 4 4 5 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 9 10 11
	1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 9 10 11
	1 2 3 3 4 4 4 4 4 5 6 7 7 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 11 11
	1 2 2 3 3 4 5 5 5 6 6 6 6 7 8 8 8 8 9 9 9 10 10 11 11
	1 1 1 1 2 3 3 4 4 4 5 6 6 6 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 11

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.24 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

2.4 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.25 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10

ลำดับขั้นงาน	2 25 24 1 23 22 21 19 15 20 18 14 3 5 7 9 6 4 8 12 17 11 10 13 16
	25 24 1 23 15 20 22 19 7 12 8 18 14 3 5 9 21 17 4 16 13 10 11 6 2
	2 1 3 5 4 6 7 9 8 12 14 10 11 13 16 18 20 15 19 17 21 25 24 22 23
	1 25 24 22 20 2 3 5 9 6 11 10 13 16 18 23 17 4 7 14 19 21 15 12 8
	25 24 1 2 23 3 5 7 4 8 22 19 21 17 20 15 18 14 12 9 16 13 10 11 6
	2 25 24 1 22 20 23 3 5 7 9 19 21 15 18 12 14 8 6 17 4 16 13 10 11
	2 25 24 1 3 5 23 20 22 21 15 19 17 4 6 9 10 11 8 7 12 14 18 13 16
	2 1 3 25 24 22 20 6 7 5 23 21 15 19 11 10 9 14 12 18 13 17 4 8 16
	2 1 3 25 24 22 20 6 7 5 9 10 4 8 14 12 23 15 19 21 17 11 13 16 18

ตารางที่ ข.25 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1
	1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1
	2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1
	1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1
	1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 2 3 4 4 4 5 5 6 7 7 8 9 9 10 10 10 11 11 12 12 13 13
	1 1 1 2 3 3 4 4 4 5 5 6 7 7 8 9 9 10 10 10 11 11 12 12 13
	1 1 2 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 10 10 11 11 11 11 12 12 13
	1 1 1 2 2 3 4 5 6 6 7 7 8 8 9 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13
	1 1 1 2 3 4 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 9 10 10 11 11 12 12 13 13
	1 2 2 2 3 3 4 5 6 7 7 7 8 8 9 10 10 10 11 11 11 12 12 13 13
	1 2 2 2 3 4 5 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11 12 13 13
	1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 6 7 7 7 8 8 9 9 10 11 12 12 13 13 13
	1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 6 6 7 7 7 8 9 10 10 10 11 11 12 12 13

ตารางที่ ข.25 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.26 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12

ลำดับขั้นงาน	25 24 20 7 23 19 14 18 15 22 21 17 12 16 2 1 9 10 8 4 3 6 5 13 11
	25 1 24 22 3 4 5 6 9 7 8 12 20 14 23 11 15 19 18 21 17 16 13 10 2
	2 1 25 3 4 5 6 9 24 22 11 10 13 16 18 23 21 17 15 20 7 8 12 14 19
	2 25 1 24 3 4 5 6 23 19 15 22 12 8 9 14 10 11 13 16 18 17 20 21 7
	25 1 2 24 3 6 23 22 19 15 20 21 7 14 17 12 4 5 10 11 13 16 18 9 8
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1
	2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.26 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 3 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 9 9 10 10
	1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 6 7 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 10 10 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 2 1 1 1 1

ตารางที่ ข.27 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14

ลำดับขั้นงาน	25 2 1 24 20 3 7 22 23 21 17 5 19 15 9 6 4 10 12 8 11 13 16 18 14
	25 2 24 1 22 3 6 7 5 9 20 10 4 11 13 16 18 14 17 23 21 19 8 15 12
	25 2 24 1 23 20 3 6 10 19 14 4 7 5 8 11 13 9 22 21 17 18 16 12 15
	25 2 24 1 22 3 20 5 4 7 8 23 19 14 21 17 18 16 6 10 11 13 9 12 15
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1
	2 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1
	2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.27 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9
	1 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9
	1 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9
	1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 9 9
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1

2.5 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.28 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10

ลำดับขั้นงาน	2 25 24 1 23 3 5 20 15 7 12 9 8 14 4 6 19 18 22 21 17 10 11 13 16
	2 25 24 1 23 15 20 22 21 17 12 19 18 14 8 7 4 16 13 10 11 9 6 5 3
	2 25 24 1 23 20 15 12 8 22 21 19 3 5 9 7 4 6 17 10 11 14 13 16 18
	2 25 24 1 23 20 15 19 22 21 17 12 14 3 5 9 8 18 7 4 6 11 10 13 16
	2 25 24 1 23 19 22 21 20 15 14 12 8 17 4 7 3 5 6 11 10 13 16 9 18
	2 25 24 1 23 3 5 4 7 6 9 10 11 20 15 8 14 13 16 18 17 12 21 22 19
	2 1 3 5 6 10 7 25 24 22 23 19 14 15 12 9 21 4 20 17 11 8 18 13 16
	2 25 24 1 3 6 7 22 23 5 4 20 19 14 8 11 10 9 13 16 18 12 21 15 17
	2 1 3 5 9 14 4 7 8 12 25 24 22 23 21 19 15 20 6 11 10 18 13 16 17

ตารางที่ ข.28 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	2 25 24 1 23 15 19 3 5 4 22 20 6 7 10 12 18 8 14 9 21 11 13 16 17
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 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 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 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 1 2 1 1 1
	1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 2 3 4 5 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 10 11 11 11 12 12 13 13
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 5 6 6 7 8 8 8 8 9 9 10 10 11 11 12 13
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 6 6 6 7 8 9 9 10 10 10 11 11 11 12 12 13
	1 2 2 2 3 4 4 5 5 5 5 6 6 7 8 9 9 10 11 11 11 12 12 13 13
	1 2 2 2 3 4 4 4 5 5 6 6 6 7 7 7 8 9 10 10 11 11 12 12 13

ตารางที่ ข.28 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 2 2 2 3 4 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 9 10 10 11 12 12 13 13 13
	1 1 2 3 4 4 4 4 5 5 6 7 7 7 8 9 9 10 10 11 11 11 12 13 13
	1 2 2 2 3 4 4 4 5 6 7 7 8 8 8 8 9 9 10 10 11 12 12 13 13
	1 1 2 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 9 9 9 10 10 11 11 12 13 13 13
	1 2 2 2 3 4 4 5 6 7 7 8 8 8 9 9 10 11 11 11 12 12 13 13 13
จำนวนสถานีงาน	1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.29 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12

ลำดับขั้นงาน	1 25 24 20 7 23 19 18 14 22 15 21 2 3 4 5 6 10 12 8 9 17 16 13 11
	1 25 24 20 7 23 19 22 15 18 3 4 5 6 21 17 8 9 12 14 16 13 11 10 2
	2 25 1 24 3 6 5 11 13 23 19 10 9 16 18 14 22 4 21 15 20 17 8 12 7
	25 1 3 7 5 4 9 24 20 8 14 6 11 13 23 19 15 22 21 17 12 2 10 18 16
	1 3 6 5 9 14 4 8 25 2 10 12 24 11 13 23 19 16 18 15 22 20 7 17 21

ตารางที่ ข.29 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 12 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	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
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1
	1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10
	1 1 1 1 1 2 2 3 3 4 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10 10
	1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10
	1 1 1 2 3 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 10 10
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 10 10
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	2 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.30 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14

ลำดับขั้นงาน	2 25 24 22 20 7 23 19 14 18 21 15 12 17 8 4 16 13 9 11 5 10 6 3 1
	2 25 24 23 22 21 15 12 19 17 8 20 14 9 1 3 6 4 7 5 10 18 16 11 13
	2 25 1 3 7 6 10 5 9 4 24 23 19 14 15 12 11 13 8 16 18 22 21 20 17
	2 25 1 3 24 23 19 20 5 6 10 9 7 4 8 14 18 12 15 22 21 17 16 13 11
	2 25 1 3 7 6 4 10 5 9 8 14 24 23 19 12 22 15 20 21 17 18 16 11 13
	2 25 1 3 6 5 24 23 19 10 9 4 14 22 21 20 8 7 17 18 16 11 13 12 15
	2 25 24 1 3 22 5 20 7 6 4 8 9 11 13 14 10 16 18 19 12 15 17 21 23
	2 25 1 3 4 7 5 24 23 22 21 17 20 8 6 15 12 9 11 13 14 10 16 18 19
	2 25 1 24 23 3 4 22 21 20 7 6 5 17 8 9 14 10 19 18 16 11 13 12 15
	2 25 1 24 23 3 15 20 7 6 4 22 21 12 17 5 8 9 11 10 19 14 13 18 16
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 2 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1
	1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.30 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1
	1 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 9
	1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 9 9
	1 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 9
	1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9
	1 1 2 2 2 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1

ตารางที่ ข.30 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 14 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1

3. ปัญหาขนาน 61 ขั้นงาน

3.1 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ ข.31 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3

ลำดับขั้นงาน	17 51 52 26 61 39 40 56 15 35 46 9 55 36 58 57 37 8 60 14 28 38 41 1 59 18 54 16 29 42 43 53 19 13 50 44 27 49 30 34 20 24 33 45 21 2 31 23 47 48 4 5 22 25 32 3 12 6 11 7 10
	39 40 1 28 61 35 60 18 36 26 46 4 56 15 2 19 17 59 20 24 37 21 9 14 41 58 29 13 30 38 51 42 52 5 31 25 3 12 8 43 55 57 32 34 6 7 33 10 11 44 48 47 54 16 22 45 53 23 27 50 49
	26 16 39 35 1 51 4 5 46 2 40 61 28 58 17 60 29 59 3 56 15 6 52 57 36 37 55 7 12 8 30 10 18 34 41 11 19 31 38 54 9 32 13 14 33 20 53 27 23 42 24 22 25 21 43 44 47 50 48 49 45
	16 1 2 39 40 26 61 3 60 46 59 51 4 5 41 15 14 52 18 35 17 12 11 28 6 58 7 36 56 13 19 10 29 20 9 37 30 21 31 8 55 34 24 22 38 42 57 54 53 50 27 25 43 23 44 49 48 47 45 33 32
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1
	1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1

ตารางที่ ข.31 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 1 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 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1
	2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 17 17 18 18 18 19 19 20 20 21 22 23 23 24 24 25 26 27 27 28 28 28 29 30 30 31 31 32 32 33
	1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 8 8 9 10 11 12 12 12 13 13 13 14 14 15 16 16 17 17 17 18 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 31 32 33 33 33
	1 1 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 11 12 12 13 13 13 14 14 15 15 16 16 16 17 17 18 19 19 19 20 20 21 21 22 23 24 25 26 27 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33
	1 1 2 3 4 4 5 5 6 7 8 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 21 22 23 24 24 25 25 26 26 27 28 29 30 30 31 31 32 32 33 33
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.32 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36

ลำดับขั้นงาน	61 58 26 15 18 16 28 60 14 39 57 29 30 46 59 40 41 35 56 36 13 51 17 12 1 4 11 10 37 5 34 52 2 31 32 33 19 9 38 55 54 8 3 20 53 24 27 42 25 7 6 50 21 22 23 43 49 47 48 44 45
	18 1 17 16 15 28 39 26 9 29 61 60 56 55 12 30 11 14 58 34 40 19 51 59 10 57 35 46 2 31 41 3 54 20 8 53 52 50 13 32 7 24 27 25 4 6 21 49 36 45 23 48 5 22 47 33 37 44 38 42 43
	17 28 29 12 1 26 46 30 51 18 19 9 31 52 61 4 60 8 32 58 34 59 16 20 57 15 56 35 36 39 40 14 41 13 21 55 54 53 11 22 50 24 25 49 33 10 27 7 37 3 2 38 47 45 23 5 42 43 48 6 44
	17 18 19 51 20 46 16 39 4 21 5 9 28 26 6 12 8 29 40 35 61 56 15 14 13 22 36 24 60 30 52 23 34 55 58 1 25 2 27 57 59 41 31 11 32 54 37 10 53 7 3 33 38 50 49 47 48 45 44 42 43
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1
	2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 1 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1
	2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 4 5 5 6 7 7 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 17 18 18 18 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 24 25 26 27 27 28 28 29 29 29 30 31 32 32 33 33 34 34
	1 1 1 2 3 3 4 5 5 5 6 7 8 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 21 21 22 22 22 23 23 24 25 26 26 26 27 27 27 27 28 29 29 30 31 31 32 32 33 33 34

ตารางที่ ข.32 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 9 9 10 10 11 12 13 14 15 15 16 16 17 18 18 19 19 19 20 20 21 22 23 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33 34
	1 1 1 2 3 4 5 6 6 7 7 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 16 17 17 18 19 19 20 20 21 21 22 23 24 24 25 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 31 31 32 32 33 33 33 34
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.33 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38

ลำดับขั้นงาน	15 61 16 51 26 58 17 18 9 39 1 14 4 19 28 2 52 60 12 20 13 57 46 59 24 5 25 6 35 11 36 10 56 29 30 40 55 31 37 41 54 34 21 22 8 3 7 32 33 23 53 38 50 49 42 45 48 27 47 44 43
	35 16 17 18 39 12 51 46 15 9 40 61 26 19 8 41 20 60 11 21 1 24 59 25 28 52 22 23 10 27 36 2 4 56 3 5 29 37 55 38 14 30 31 6 34 42 13 58 57 43 7 44 54 47 45 48 32 53 50 49 33
	15 46 35 51 18 4 19 61 60 20 17 26 14 21 16 24 58 52 36 9 1 28 5 6 29 57 12 25 30 11 37 59 13 22 23 56 55 2 10 3 27 54 53 8 7 34 39 40 41 31 38 32 50 49 33 47 48 45 42 43 44
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1

ตารางที่ ข.33 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1
	2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 10 11 12 13 14 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 22 22 23 24 24 24 25 25 26 27 27 28 28 29 30 31 32 32 32 33 33 34 35 35 35 36
	1 1 2 2 3 4 4 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 12 12 13 14 15 16 17 17 18 19 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 29 30 31 31 31 32 32 33 34 35 35 35 36
	1 2 2 3 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 8 9 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 14 15 16 17 17 18 19 20 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 29 29 30 31 32 32 32 33 33 34 35 35 36 36
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

3.2 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ ข.34 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3

ลำดับขั้นงาน	46 61 39 15 14 51 58 57 28 29 1 13 2 3 56 35 36 30 31 32 33 4 5 26 17 9 8 34 18 19 20 24 25 21 22 23 27 37 38 40 41 42 43 44 48 45 47 49 50 60 59 6 7 10 11 52 53 54 16 55 12
	51 15 14 46 1 16 13 61 60 58 35 36 37 38 17 9 8 18 19 20 21 24 25 26 12 57 39 40 41 52 56 55 28 2 3 59 4 5 6 7 10 22 23 54 53 50 49 47 34 45 48 44 43 33 32 31 30 27 29 11 42

ตารางที่ ข.34 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	16 35 36 37 61 58 26 56 4 39 18 19 20 38 15 14 13 17 9 8 51 21 22 55 46 23 5 6 1 2 3 7 10 11 40 41 42 12 52 60 24 25 27 43 44 48 47 45 28 29 30 34 57 59 54 53 50 49 33 32 31
	46 18 28 26 19 16 35 17 9 8 15 14 13 51 1 52 20 24 25 29 36 37 38 4 5 6 61 58 57 60 30 31 34 21 22 23 59 39 40 41 56 55 54 53 50 49 47 48 45 44 43 32 33 42 12 11 10 7 3 2 27
	61 56 51 52 17 9 60 59 1 2 4 5 26 39 40 41 18 55 58 16 57 54 3 46 12 11 10 19 20 24 21 22 23 25 27 6 7 13 53 50 49 48 34 45 47 15 8 14 28 29 30 31 32 33 35 36 37 38 42 43 44
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 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
	2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1
	2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 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 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 12 12 13 13 13 13 14 14 14 15 15 16 17 18 18 19 20 21 21 22 23 23 24 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33
	1 1 2 2 3 3 4 4 5 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 10 10 11 12 12 13 14 15 16 16 16 17 17 18 18 19 20 20 20 21 21 21 22 23 24 24 25 25 25 26 26 27 27 28 29 29 30 31 32 32 33 33

ตารางที่ ข.34 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 2 2 3 3 4 4 5 6 7 7 8 9 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 14 15 15 16 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 31 31 32 32 33
	1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 7 8 9 10 10 11 11 12 12 12 12 13 13 14 15 16 17 18 18 19 20 21 22 23 23 24 24 24 25 25 25 26 26 27 27 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33
	1 1 2 2 2 2 3 4 5 5 5 6 6 7 8 8 8 9 9 10 11 11 12 12 13 14 14 15 16 17 17 18 19 20 21 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 30 31 31 31 32 32 33 33
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.35 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36

ลำดับขั้นงาน	16 46 1 28 29 2 3 4 17 15 14 51 30 31 32 33 13 18 52 39 40 34 41 12 9 8 19 20 24 21 22 23 25 35 36 37 38 42 43 44 48 45 61 56 55 58 60 57 47 49 50 11 10 26 5 6 27 53 54 59 7
	39 16 40 41 1 26 4 5 6 17 9 28 12 11 15 61 2 3 7 51 52 14 8 58 57 46 60 59 29 30 34 31 32 33 10 18 19 20 21 22 23 24 25 27 56 55 54 53 50 49 47 45 48 44 43 42 38 37 36 35 13

ตารางที่ ข.35 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	39 40 17 12 46 35 36 37 38 28 29 30 34 31 16 32 33 15 14 13 26 9 41 42 1 11 10 2 3 61 56 60 59 55 18 19 20 24 25 21 22 23 27 58 57 54 53 52 51 50 49 48 47 45 44 43 8 7 6 5 4
	28 17 35 18 1 2 3 19 51 20 24 25 61 60 59 56 55 21 58 57 54 53 22 39 40 41 36 9 8 4 5 6 52 29 30 31 32 33 34 15 16 23 50 49 48 47 14 13 27 37 38 42 43 44 46 12 11 10 7 45 26
	16 4 1 18 19 5 51 52 39 40 41 35 36 28 61 56 58 57 20 24 21 25 2 3 22 23 27 17 9 8 15 14 13 12 11 10 7 29 30 31 32 33 55 37 38 42 46 26 60 59 54 53 50 49 48 47 45 44 43 6 34
	39 16 40 41 1 4 5 6 17 9 28 12 11 15 61 2 3 7 13 51 14 8 58 57 46 60 59 29 30 34 31 32 33 26 10 18 19 20 21 22 23 24 25 27 56 55 54 53 50 49 47 45 48 44 43 42 38 37 36 35 52
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 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 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.35 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 8 9 9 10 10 10 11 12 12 13 13 13 14 14 15 16 16 17 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 27 28 28 28 29 29 30 30 30 30 31 32 32 33 34
	1 2 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 7 8 8 9 9 10 10 10 11 11 12 13 14 15 16 16 17 17 18 19 19 20 20 20 21 21 22 23 24 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33 34
	1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 14 15 15 16 16 17 17 18 19 20 20 21 21 22 23 24 24 25 26 27 27 28 28 29 29 30 30 30 31 31 32 32 33 33 34 34 34 34
	1 1 1 2 2 2 3 3 4 5 6 7 8 9 10 11 11 11 12 13 13 14 15 16 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 20 21 21 22 22 23 24 25 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 32 32 33 33 34
	1 1 2 2 2 2 3 3 4 5 5 6 6 6 7 7 8 9 10 11 11 12 12 13 14 15 16 16 16 17 17 18 18 19 20 20 21 21 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 29 29 30 30 30 31 31 32 32 33 33 34
	1 2 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 14 15 16 16 17 17 18 19 19 20 20 20 21 22 22 23 24 25 26 27 27 28 28 29 29 29 30 30 31 31 32 32 33 33 34 34 34
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.36 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38

ลำดับขั้นงาน	61 17 15 51 58 9 18 19 28 12 11 39 40 46 60 10 29 30 31 32 33 34 56 55 4 5 1 2 3 8 16 57 6 7 26 41 20 24 21 22 23 25 27 13 52 14 59 54 35 36 37 38 42 43 53 50 49 48 45 47 44
	16 61 26 56 55 1 28 4 5 17 9 8 6 39 40 51 2 46 60 59 18 19 3 7 13 12 11 10 35 36 41 20 21 22 23 24 25 27 37 38 42 43 44 45 47 48 58 57 54 53 50 49 34 33 32 31 30 14 52 15 29
	16 35 36 1 2 28 46 4 51 52 5 15 14 13 6 17 12 11 10 9 3 7 18 19 20 24 21 22 23 25 37 26 38 61 58 56 55 60 59 57 54 53 50 49 34 48 47 45 44 33 32 31 30 43 42 41 40 39 29 8 27
	18 15 4 39 19 17 9 8 28 29 1 2 3 12 40 11 35 30 34 31 46 16 41 51 10 26 5 6 36 37 38 42 43 14 13 61 56 55 60 7 32 33 52 58 57 59 54 53 50 49 47 48 27 23 22 21 25 45 24 44 20
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1
	2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 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 2 2 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 6 7 8 9 10 10 11 11 12 13 13 14 14 15 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 19 20 21 21 22 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 31 31 31 32 33 33 33
	1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 6 7 7 8 8 9 10 10 11 11 12 12 13 14 14 15 15 15 16 16 17 18 19 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 26 27 27 28 28 28 29 29 30 31 32 32 32 33 33

ตารางที่ ข.36 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 7 8 9 9 10 10 11 11 11 12 13 13 14 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 25 26 26 27 28 29 29 30 30 31 32 32 33
	1 1 1 2 3 3 3 4 4 5 5 6 6 7 8 9 9 10 10 11 12 13 13 14 14 15 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 22 23 24 24 25 25 25 26 26 27 28 29 29 30 31 32 32 33
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

3.3 การหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข.37 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3

ลำดับขั้นงาน	4 17 5 6 46 39 35 28 18 19 61 56 60 59 29 36 37 51 30 31 52 26 32 33 1 2 3 20 24 25 15 16 7 10 13 8 11 40 41 55 21 22 12 14 34 58 57 54 53 27 50 49 45 47 48 44 43 42 38 9 23
	61 18 35 15 4 5 26 36 37 28 14 29 30 31 32 19 17 12 11 10 33 20 24 25 39 1 46 6 56 55 21 22 23 60 59 2 3 7 8 34 13 27 58 57 54 53 52 38 9 50 49 45 47 48 44 43 42 41 40 51 16
	18 39 28 4 5 6 26 51 52 15 14 40 19 20 21 24 13 17 9 12 11 10 41 16 61 56 58 57 60 55 46 1 2 3 7 35 36 37 38 42 43 59 54 53 27 23 44 47 45 48 50 49 34 33 32 31 22 25 29 8 30
	18 35 61 58 4 28 46 36 16 5 6 37 1 2 17 12 38 26 39 11 10 40 41 42 43 44 47 45 15 14 13 19 20 60 59 21 22 23 3 7 8 9 51 52 29 30 34 31 32 33 56 55 48 49 50 57 54 53 27 25 24

ตารางที่ ข.37 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	46 4 16 39 40 41 1 2 51 15 14 3 5 6 7 8 9 13 18 52 26 35 36 37 38 42 43 44 45 47 61 56 55 60 59 10 11 48 58 57 54 53 50 49 33 27 25 24 32 31 17 34 30 29 23 22 21 20 12 28 19
	17 9 51 52 12 16 8 15 14 13 28 29 30 31 32 39 40 41 18 19 20 21 22 23 24 34 26 25 11 61 56 55 1 2 3 27 46 60 59 33 35 36 37 38 42 43 44 48 47 58 57 54 53 50 49 10 7 6 5 45 4
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1
	2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.37 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 3 4 4 4 5 5 6 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 16 17 18 19 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33
	1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6 7 7 8 8 9 9 10 11 12 13 14 15 15 16 16 16 17 17 18 19 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 30 31 31 32 32 33
	1 2 3 3 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 9 9 9 10 11 11 12 12 13 13 14 15 16 16 17 17 18 18 19 19 19 20 20 21 21 22 22 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 28 29 30 31 32 32 33 33
	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 7 8 8 9 10 10 11 11 12 12 13 13 13 14 14 15 15 16 17 18 18 19 20 21 21 22 22 22 23 23 23 24 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 32 33
	1 1 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10 10 11 11 12 12 13 13 13 14 14 15 15 16 17 17 18 19 20 20 21 21 21 22 22 23 24 25 26 26 27 27 28 29 30 30 31 32 32 33
	1 1 1 1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 8 9 10 10 10 11 12 12 13 14 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 23 24 25 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 31 31 31 32 32 32 32 33 33
จำนวนสถานีงาน	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1

ตารางที่ ข.38 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36

ลำดับขั้นงาน	18 46 51 61 58 56 39 57 55 1 2 35 40 19 28 29 30 31 16 17 12 9 8 52 11 26 41 4 5 6 36 37 38 32 10 15 14 34 20 21 24 25 13 7 33 22 23 27 3 60 59 54 53 50 49 45 47 48 44 43 42
	46 61 56 39 1 17 4 55 9 26 8 51 18 19 58 52 12 5 20 24 25 35 15 14 16 13 11 10 7 3 36 37 21 22 23 28 60 59 27 2 29 30 31 34 32 33 38 6 57 54 53 50 49 48 45 47 44 43 42 41 40
	26 35 28 29 30 34 31 18 39 40 41 1 17 12 15 2 32 33 14 13 61 56 55 58 57 60 11 10 19 4 5 6 59 54 53 27 50 49 47 48 23 52 25 24 36 9 8 51 37 38 42 43 44 45 20 21 22 46 3 7 16
	1 2 39 40 41 26 51 3 17 9 12 16 8 61 58 60 59 57 52 56 11 28 29 30 34 35 36 37 38 42 43 44 47 31 32 33 15 14 13 45 10 7 6 5 48 49 50 46 4 55 18 19 20 21 24 25 54 53 27 23 22
	18 1 26 28 17 39 15 14 13 12 9 46 4 5 6 40 41 51 35 36 37 38 16 29 52 42 43 19 20 24 25 21 22 23 27 2 3 11 10 44 47 45 48 8 7 30 31 32 33 34 49 50 53 54 57 59 55 60 56 58 61
	51 15 14 28 4 39 29 30 52 26 5 16 31 32 33 46 61 58 17 12 11 10 9 8 6 13 7 40 41 1 2 3 35 36 37 38 42 43 44 47 45 48 18 19 60 57 56 55 59 54 53 27 25 23 22 50 24 49 21 34 20
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.38 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 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 2 2 2 2 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 11 12 12 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 16 17 17 18 18 19 20 20 21 22 23 23 24 25 26 27 27 28 29 29 30 30 30 31 31 32 32 33 33
	1 1 2 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 9 10 11 11 12 12 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 19 20 21 22 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 29 30 31 31 31 32 32 33 33
	1 1 2 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 15 16 16 17 17 17 17 18 18 19 20 20 20 21 21 22 22 23 24 25 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 30 31 32 32 33 33
	1 1 2 3 3 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 19 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 26 26 27 27 28 29 29 30 31 32 33
	1 1 1 2 2 3 4 4 5 6 6 7 7 7 7 8 8 9 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 15 16 16 17 18 19 19 20 20 21 21 21 22 23 23 24 24 25 26 26 27 27 27 28 28 29 30 30 31 32 32 33
	1 1 2 2 2 3 4 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 9 9 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 16 17 17 18 18 19 19 19 20 20 21 22 23 24 24 25 25 26 27 28 29 30 30 31 31 32 32 33
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.38 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.39 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38

ลำดับขั้นงาน	39 4 46 26 40 28 16 18 5 6 17 15 14 13 9 41 61 60 59 58 57 8 1 2 56 19 20 21 22 23 24 25 51 52 29 30 31 32 33 34 3 7 10 55 54 27 11 35 36 37 38 42 43 44 45 48 47 49 50 12 53
	1 2 39 40 41 26 51 3 17 9 12 16 8 61 58 60 59 57 52 56 11 28 29 30 34 35 36 37 38 42 43 44 47 31 32 33 15 14 13 45 10 7 6 5 48 49 50 46 4 55 18 19 20 21 24 25 54 53 27 23 22
	4 15 61 56 60 58 55 39 17 28 57 51 26 35 36 37 38 18 9 52 29 30 34 31 5 6 40 41 14 13 59 54 42 43 44 47 45 48 19 20 21 22 23 24 25 27 12 11 10 46 32 33 49 50 1 2 3 7 8 16 53
	46 61 60 35 36 37 1 56 18 19 15 59 38 51 17 12 14 13 58 20 21 24 2 3 25 28 39 40 41 4 5 6 7 10 8 11 55 9 52 26 42 43 44 47 45 57 54 53 27 50 49 33 32 31 34 30 23 22 48 16 29
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.39 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 16 17 18 18 19 19 19 20 21 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 30 31 31 31 32
	1 1 2 3 3 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 25 25 26 26 27 28 28 29 30 31 32
	1 1 2 2 3 4 4 5 5 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 17 18 18 19 19 20 21 22 23 24 24 25 25 26 27 27 27 28 28 29 29 30 30 31 32
	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6 7 7 8 8 9 9 10 11 11 12 13 13 14 15 16 17 17 17 17 18 18 18 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 22 23 23 24 25 25 25 26 26 27 28 28 29 30 31 32 32
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

3.4 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.40 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3

ลำดับขั้นงาน	39 40 46 61 17 12 26 16 1 2 3 15 56 11 28 29 41 30 18 14 55 51 19 10 52 13 58 57 34 9 20 60 31 32 33 8 35 36 37 38 42 43 21 22 23 59 54 53 50 27 49 45 47 25 44 24 48 4 5 6 7

ตารางที่ ข.40 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 2 3 17 46 39 40 61 58 41 18 60 59 9 12 28 29 57 19 30 51 15 20 35 26 16 52 4 31 5 6 56 11 10 21 22 14 24 23 8 32 25 7 27 13 34 36 37 38 42 43 44 33 55 47 48 54 53 50 49 45
	26 16 35 36 4 5 61 46 58 28 39 40 56 15 41 1 57 14 51 18 17 9 2 52 13 37 38 3 6 42 43 44 7 29 8 12 60 59 55 45 54 11 10 30 34 48 47 31 32 33 49 53 50 19 27 20 21 24 25 22 23
	39 16 1 15 28 46 61 2 3 17 29 60 30 58 56 51 57 14 59 4 5 12 26 6 31 18 35 36 11 10 52 13 37 19 38 9 20 55 34 7 40 32 8 33 54 53 50 49 45 41 27 47 25 24 23 22 21 42 43 44 48
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1
	2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 2 1 2 2 1 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 9 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 17 18 18 19 19 19 20 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28 29 29 29 30 30
	1 1 2 2 3 4 5 5 6 6 6 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 14 14 15 15 15 16 16 16 17 17 18 18 19 19 20 21 22 22 23 23 24 24 25 25 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 30 30 31
	1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 5 6 6 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 24 24 24 25 25 26 26 27 27 28 29 30 31

ตารางที่ ข.40 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 8 8 9 9 10 10 11 11 11 12 12 13 13 14 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 19 20 21 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 27 28 29 29 30 30 31 31
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.41 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36

ลำดับขั้นงาน	1 61 39 40 56 41 15 58 55 14 60 17 28 12 2 3 11 10 59 35 16 26 51 18 19 4 5 6 13 46 9 20 24 25 7 29 30 34 36 31 37 38 32 33 21 22 23 27 42 43 8 52 57 44 45 47 48 54 49 53 50
	46 28 15 17 16 26 61 56 4 58 5 14 60 9 51 1 18 19 12 59 35 36 13 37 38 29 55 6 2 11 10 30 34 57 31 54 8 53 20 24 25 7 39 40 41 52 50 49 48 47 27 23 22 21 3 32 33 42 43 44 45
	39 4 5 6 1 17 28 29 35 9 51 30 2 52 3 18 15 61 56 8 14 13 16 26 12 19 40 41 36 60 55 31 20 21 22 23 24 25 7 27 37 38 42 43 59 32 33 58 11 10 57 34 44 54 53 50 49 48 47 45 46
	4 39 40 41 18 46 51 1 35 16 26 36 52 17 9 2 3 19 5 6 20 24 25 7 13 8 15 61 56 55 37 38 21 22 28 58 29 60 30 14 57 34 31 59 54 32 42 43 44 23 10 11 27 33 53 50 49 48 47 45 12
	15 51 46 39 4 17 28 29 40 41 18 35 36 37 38 42 16 26 61 56 55 43 14 60 59 52 58 30 34 57 9 8 1 2 13 5 6 31 54 32 33 53 50 27 19 12 3 7 25 44 23 22 21 49 48 47 45 20 24 10 11

ตารางที่ ข.41 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1
	2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1
	2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 12 13 13 13 13 14 14 15 16 17 17 18 18 19 19 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 29 30 30
	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 19 20 20 21 22 22 22 23 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30
	1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 12 13 13 14 15 15 16 17 18 19 19 20 20 21 21 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 28 29 29 30 30
	1 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 22 22 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 30
	1 1 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 15 16 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 25 26 26 27 28 29 30 30

ตารางที่ ข.41 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.42 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38

ลำดับขั้นงาน	15 14 13 46 17 16 4 28 1 2 3 12 61 26 29 18 9 19 8 60 59 30 34 31 20 35 24 25 21 22 23 56 55 51 52 36 39 37 38 27 58 11 10 57 7 6 40 41 5 32 33 54 53 50 49 48 42 43 44 45 47
	46 61 58 56 15 28 26 16 1 18 19 17 12 51 14 13 55 20 24 57 2 52 35 36 37 38 9 60 11 10 59 54 53 50 27 21 22 49 48 47 3 34 33 25 29 45 44 23 39 4 8 5 40 32 7 6 31 41 30 42 43
	39 26 15 51 52 35 40 28 29 4 5 41 61 58 6 16 17 9 60 14 18 19 8 12 56 11 10 57 1 13 55 59 54 53 7 27 23 36 20 21 22 2 3 30 34 31 32 37 38 42 43 44 45 47 48 50 49 33 25 46 24
	51 52 35 16 17 9 61 12 28 18 19 4 39 60 29 30 34 15 1 8 58 20 24 25 21 22 23 27 36 5 6 31 14 32 33 13 56 11 10 2 3 55 26 37 7 40 41 59 57 54 38 42 43 44 45 47 48 53 50 49 46
	15 28 46 61 26 16 4 39 51 56 18 19 40 17 12 52 55 60 59 14 58 11 9 35 41 36 37 38 42 1 2 57 20 24 43 54 8 53 50 49 45 47 48 44 34 5 6 25 10 3 13 27 33 32 7 23 22 29 30 21 31

ตารางที่ ข.42 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	17 9 8 26 16 18 28 19 1 51 46 61 56 52 35 36 60 29 20 24 58 21 22 23 30 34 31 32 33 25 55 59 4 5 6 39 40 37 38 27 12 41 42 11 10 57 2 3 15 14 13 7 43 54 53 44 48 50 49 45 47
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1
	1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1
ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 7 8 8 8 9 10 11 11 12 13 13 14 15 15 16 17 18 18 19 19 19 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 26 26 27 27 28 28 28 29 29 30 30 30
	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 7 7 8 8 9 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 23 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30
	1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 7 7 7 8 8 9 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 30

ตารางที่ ข.42 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 12 12 13 14 15 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 29 29 29 30
	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 9 10 10 11 11 12 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 17 18 18 19 19 20 20 20 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 28 29 29 30
	1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 10 10 11 12 13 13 14 15 15 16 16 17 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 29 30 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

3.5 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.43 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3

ลำดับขั้นงาน	39 18 28 35 19 51 26 16 36 20 21 15 61 58 14 13 29 30 60 22 23 59 4 5 34 57 17 12 6 40 37 38 41 31 1 46 56 32 33 52 55 42 43 54 53 50 27 49 45 47 25 2 3 7 8 9 44 48 24 11 10

ตารางที่ ข.43 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.3 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	16 4 5 17 9 46 15 1 51 61 56 18 35 36 28 29 60 14 59 52 37 58 30 26 12 55 31 32 8 11 57 10 34 13 19 7 20 24 25 39 38 3 21 40 41 22 23 2 33 6 27 42 43 44 45 47 48 54 53 50 49
	39 26 16 15 35 36 61 46 51 40 58 28 56 41 18 17 57 1 29 60 14 13 4 2 52 3 9 19 37 30 34 12 8 11 10 31 5 6 55 32 33 20 24 25 7 59 21 22 23 27 54 53 50 49 47 45 38 42 48 44 43
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1
	1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 12 13 13 13 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 24 24 25 25 26 27 27 28 28 28 29 29 30 31 31
	1 1 1 2 2 2 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 13 13 14 15 15 16 16 17 17 18 19 20 21 22 22 23 23 23 24 25 26 26 27 27 28 28 29 29 29 30 30 31 31 31
	1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 17 18 18 19 20 21 22 22 23 23 24 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 30 30 31
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.44 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36

ลำดับขั้นงาน	16 18 28 51 61 46 1 15 14 60 13 52 29 30 58 4 17 9 8 2 35 36 59 5 31 26 12 19 32 33 57 11 39 40 41 56 55 6 37 34 54 38 3 20 24 25 10 21 22 23 27 7 53 42 43 44 47 48 45 50 49
	39 35 16 18 17 19 9 26 61 56 28 51 40 46 8 20 24 29 60 41 58 21 22 23 25 4 52 5 36 59 15 14 30 34 13 55 37 38 57 42 43 44 48 1 2 45 31 27 47 32 33 12 3 11 54 53 10 7 6 49 50
	46 61 58 57 39 40 51 16 15 4 1 5 6 26 14 13 2 3 7 56 55 60 35 59 36 37 54 53 50 49 33 32 31 34 45 28 29 10 30 27 11 25 41 47 38 24 48 42 43 44 52 18 17 12 19 9 8 23 22 21 20
	39 17 16 18 35 36 46 51 15 52 14 26 9 1 2 8 19 13 40 3 20 24 25 37 38 41 42 43 44 21 4 61 58 28 56 55 57 22 23 27 47 48 29 60 12 45 30 34 59 54 5 31 53 50 32 33 49 6 7 11 10
	35 36 37 26 16 61 39 28 40 51 46 4 1 18 17 12 19 60 59 58 11 5 6 56 55 52 57 54 53 50 49 47 38 2 41 9 20 24 25 21 27 45 34 33 22 23 48 42 43 44 29 10 30 3 7 13 31 8 32 14 15
	15 51 26 16 18 17 9 1 46 8 35 39 40 2 3 28 52 29 30 4 61 14 56 12 31 5 36 37 58 38 34 13 55 57 11 41 32 33 60 6 19 7 42 43 44 45 59 54 20 24 10 48 53 50 49 25 47 27 21 22 23
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1

ตารางที่ ข.44 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1
	1 2 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 9 10 10 11 12 12 13 13 14 14 15 16 17 17 18 18 18 19 19 19 20 20 21 22 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 30
	1 2 2 3 3 3 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 9 10 10 11 11 11 12 13 14 14 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30 30 30
	1 1 2 3 4 5 5 6 7 7 8 8 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 14 15 15 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 26 26 26 27 27 27 28 28 28 29 30 30 31
	1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 12 12 13 13 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 26 27 28 28 29 29 29 30 30 31 31
	1 1 1 2 2 3 4 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 9 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 14 14 15 15 16 16 16 17 18 19 19 20 20 21 21 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 30 31 31
	1 1 2 2 3 3 3 3 4 4 5 6 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 30 31

ตารางที่ ข.44 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.36 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.45 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38

ลำดับขั้นงาน	15 14 26 46 39 1 61 56 28 58 13 29 30 34 57 55 60 59 51 40 52 17 9 2 41 31 32 33 4 16 3 5 6 8 7 12 11 10 54 53 50 27 49 47 25 35 48 23 24 36 18 37 45 22 21 44 20 19 43 42 38
	39 40 41 35 15 1 2 46 28 36 17 29 18 9 4 16 8 19 51 3 30 61 58 56 26 37 57 14 5 52 20 21 12 55 34 13 11 10 60 6 22 31 23 24 32 33 59 54 7 53 50 49 48 25 47 45 27 38 42 43 44
	39 26 15 14 51 61 46 60 56 17 9 12 28 58 8 4 18 19 5 6 55 13 57 29 30 34 11 10 52 1 40 41 59 35 20 21 31 24 22 23 25 32 33 27 54 36 37 38 42 43 44 53 48 50 49 45 47 2 3 16 7
	39 16 26 46 51 40 4 41 61 56 15 35 60 55 5 6 14 18 59 28 58 1 2 29 52 57 19 13 30 3 34 36 7 31 10 37 38 20 54 32 11 33 53 17 9 50 42 43 44 49 45 47 27 8 12 21 25 23 22 24 48
	26 17 28 46 51 15 14 4 39 40 41 52 9 1 2 29 16 18 5 19 13 61 12 56 11 58 30 3 10 31 32 8 6 7 57 35 36 60 37 38 42 43 44 48 59 20 34 55 33 45 47 21 22 54 53 50 49 24 23 27 25

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1
	1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1
	1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1
	1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1
	2 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 4 4 5 5 6 6 7 7 8 8 9 9 10 11 11 12 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 20 21 21 22 22 23 24 25 25 25 26 27 27 28 28 29 29 30 30
	1 2 2 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 20 21 22 23 23 24 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28 29 29 30 30
	1 2 2 3 3 4 4 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 10 11 11 12 12 13 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 19 20 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 30 30
	1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 6 6 7 7 7 8 8 8 9 10 10 11 11 12 12 12 13 13 14 14 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 29 30
	1 1 1 2 2 3 3 3 4 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 11 11 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 20 21 22 23 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 27 28 29 30

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 3.38 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

4. ปัญหาขนาน 111 ขั้นงาน

4.1 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016

ลำดับขั้นงาน	79 111 78 40 84 66 89 99 65 68 105 109 106 101 104 88 39 81 110 80 52 108 100 67 86 21 90 63 33 53 87 1 31 77 76 46 51 50 48 96 44 5 107 6 85 69 82 26 2 74 102 3 4 7 97 10 8 9 12 103 45 15 98 95 92 93 94 91 11 75 57 60 18 14 38 29 25 72 24 23 20 36 16 13 27 17 32 28 58 59 71 22 19 35 49 34 64 37 62 30 42 47 83 56 41 43 55 54 61 73 70
	1 84 89 78 79 80 111 88 2 82 40 104 107 86 99 105 101 77 52 69 33 68 67 76 46 85 66 21 53 74 90 3 110 50 65 26 87 96 109 63 81 39 51 31 108 44 45 4 6 5 48 15 103 100 7 98 10 106 8 102 12 97 11 95 14 18 93 16 25 17 34 28 23 42 94 29 19 24 30 92 38 47 20 91 54 58 55 72 27 37 57 60 36 64 61 13 59 49 9 43 32 35 22 41 75 70 56 83 73 62 71

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	84 81 111 66 67 52 68 87 86 78 85 89 63 33 53 21 109 1 82 40 90 39 77 100 107 106 48 6 80 104 88 2 26 105 65 51 69 76 31 79 45 99 5 3 74 102 4 15 7 110 9 101 46 97 50 44 8 96 10 12 11 108 16 13 27 19 35 43 18 17 103 29 98 49 37 30 95 14 28 24 94 92 25 22 36 93 83 20 91 59 75 60 34 23 72 57 38 64 32 56 71 42 47 54 73 58 55 62 70 41 61
	1 2 111 109 33 81 85 68 52 76 40 90 82 65 78 66 105 86 3 46 50 26 87 100 44 80 88 15 4 7 6 110 8 89 51 99 79 101 84 96 104 45 107 74 21 5 67 39 63 108 77 31 9 10 106 11 69 12 20 103 17 98 102 97 19 14 25 28 16 24 53 27 13 22 30 38 18 34 23 83 32 36 95 92 29 48 94 37 42 93 91 35 60 47 57 58 41 59 43 49 72 56 75 64 71 54 62 55 61 70 73
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 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 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 23 23 24 24 25 26 27 27 28 28 28 28 29 29 30
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 16 16 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 26 27 27 28 29 30
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 17 18 18 18 19 20 20 21 21 21 22 23 24 25 26 27 27 27 27 28 29 30 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 20 20 20 21 22 23 23 23 24 24 24 24 25 25 26 27 27 28 28 29 29 30

ตารางที่ ข.46 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670

ลำดับขั้นงาน	80 86 84 79 78 81 85 89 88 111 67 51 76 45 77 53 40 69 21 39 109 6 1 31 106 107 82 74 63 99 33 102 48 87 52 26 65 110 100 50 5 90 105 68 108 66 97 103 15 104 44 2 46 101 98 96 3 4 7 10 9 12 8 95 92 93 94 11 17 18 29 37 16 91 71 59 60 36 62 20 28 14 38 13 24 83 23 19 75 30 57 22 72 49 58 64 25 34 56 42 43 47 32 55 54 73 61 35 70 27 41
	1 81 77 78 84 76 85 87 111 88 90 74 82 2 68 80 33 65 63 104 53 86 69 100 79 48 66 109 107 106 51 26 67 21 45 3 50 52 99 105 40 110 102 39 44 15 46 89 108 5 4 97 10 103 7 8 101 12 98 9 6 96 31 11 19 20 14 95 16 93 25 22 30 18 92 34 23 38 17 32 42 24 29 37 47 83 55 59 54 41 94 13 91 57 58 36 75 56 28 62 72 64 27 60 49 35 73 43 71 70 61
	78 76 81 111 50 77 99 82 104 1 26 74 110 40 39 80 69 5 107 63 52 21 90 33 100 109 85 53 86 48 87 68 84 15 106 6 108 66 67 2 105 46 3 101 65 79 4 89 51 103 44 45 88 7 98 96 102 31 8 10 9 12 11 17 97 95 13 92 94 28 16 20 93 91 58 72 71 37 57 36 62 27 18 60 64 38 19 29 30 83 35 59 49 22 56 43 75 73 14 23 24 70 41 32 54 25 34 42 47 55 61

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

	79 85 111 65 107 86 90 104 110 53 108 51 78 84 76 80 103 1 77 81 21 82 99 2 109 98 67 69 63 50 87 44 88 3 52 26 74 45 4 7 66 8 48 46 33 68 5 40 105 89 100 10 15 39 106 101 102 6 9 12 97 31 96 95 92 11 93 94 17 14 18 24 29 37 13 25 16 19 27 35 91 20 75 72 58 34 57 36 59 71 73 49 62 38 60 83 43 28 23 64 32 22 70 30 56 41 54 42 47 55 61
	78 111 100 84 76 105 109 50 110 79 101 96 1 89 68 77 106 88 69 44 104 21 90 86 51 80 108 107 103 74 81 2 87 66 63 85 98 102 65 45 97 40 33 52 46 3 4 8 6 53 67 9 39 5 48 7 31 82 99 10 12 11 17 14 13 18 26 20 22 83 23 25 95 16 24 93 32 29 37 28 19 15 41 36 27 94 34 35 92 91 58 43 59 60 72 49 42 38 75 73 70 47 57 56 55 71 30 54 61 62 64
ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	80 78 84 79 89 86 77 81 69 85 76 74 1 111 82 68 33 2 99 90 110 51 109 87 65 67 21 63 108 52 46 66 40 107 105 3 106 50 45 88 44 53 4 104 6 103 48 100 9 10 7 26 101 39 98 96 102 11 5 12 8 16 20 97 15 95 13 92 19 93 31 18 17 29 94 91 72 14 37 57 38 27 59 36 58 49 28 71 43 25 83 30 22 75 23 32 24 35 34 60 41 64 73 56 62 42 70 61 47 54 55
	1 76 74 77 111 99 104 85 84 50 78 88 33 81 82 100 69 90 40 87 68 2 109 67 80 86 110 21 53 107 79 39 66 6 31 89 108 103 5 105 52 63 101 51 65 46 3 106 45 44 98 26 15 4 96 7 102 10 48 9 11 8 12 16 97 17 27 19 95 92 13 30 20 14 28 22 35 24 25 94 93 36 38 83 43 91 57 37 29 59 72 60 23 18 49 32 34 42 75 64 47 54 41 58 56 55 73 62 70 61 71
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1
	2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1
	2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 23 24 25 25 25 26 27 27 27 28 28 28 29 29 30
	1 1 2 2 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 24 24 24 24 25 25 26 27 27 27 28 28 28 28 28 29 30 30
	1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 17 17 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 23 23 24 24 25 26 26 27 27 28 28 29 29 30
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 24 25 25 25 26 26 27 28 28 28 29 29 30
	1 1 1 2 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 25 26 26 26 27 27 27 28 29 30

ตารางที่ ข.47 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 22 23 24 24 25 25 26 27 27 28 28 29 30 30
	1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 18 19 19 19 19 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 24 25 25 26 26 26 27 28 29 29 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.48 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230

ลำดับขั้นงาน	78 77 84 76 81 74 88 85 69 89 1 111 107 53 2 63 90 65 80 105 101 99 40 110 52 96 100 46 48 68 3 50 108 67 86 87 79 82 66 21 26 39 51 104 103 109 4 10 33 6 12 106 98 9 8 11 17 31 44 19 18 14 30 5 15 23 32 102 20 41 45 22 24 38 13 7 16 28 27 35 97 83 95 92 43 94 25 29 36 93 34 49 91 71 37 62 60 57 72 75 73 64 42 58 47 56 55 59 61 70 54

ตารางที่ ข.48 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	79 111 63 52 110 99 81 50 21 107 78 80 76 51 68 67 105 40 44 89 101 65 109 1 82 86 106 74 33 88 85 108 45 87 90 46 66 39 100 5 6 53 96 31 77 26 48 104 84 69 15 103 102 2 98 3 4 97 95 93 10 9 94 11 7 92 8 12 17 18 28 13 19 16 30 27 35 36 91 20 29 37 38 72 43 58 49 14 60 75 73 71 59 83 24 22 64 23 57 62 25 32 34 41 56 42 47 70 61 55 54
	81 78 1 111 79 82 84 67 21 51 68 33 76 65 89 53 50 77 48 85 74 63 109 90 2 107 26 87 52 44 104 105 88 66 69 86 80 15 46 45 40 39 5 110 99 3 4 101 100 6 9 10 108 8 12 96 106 102 7 97 11 31 19 18 30 38 16 103 27 98 29 35 95 17 37 43 92 93 49 28 36 20 94 91 71 62 83 75 59 57 13 22 58 14 24 60 73 25 23 32 70 41 54 72 61 34 64 42 47 55 56
	77 111 85 40 51 76 78 53 109 52 67 66 21 81 100 84 69 88 107 79 106 45 48 63 65 110 1 99 80 108 82 33 90 26 89 103 104 74 86 68 98 15 102 105 2 50 87 3 97 46 39 6 4 101 5 44 8 31 96 10 95 12 9 93 92 94 11 18 7 29 17 16 20 19 30 91 28 14 83 22 23 57 36 71 25 58 32 38 49 41 13 60 75 73 70 54 43 37 35 72 61 27 24 34 64 56 62 42 55 47 59
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1
	2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1

ตารางที่ ข.48 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 29 30 30 31 31 32 32
	1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 9 9 9 9 9 10 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 19 20 21 21 21 21 22 23 23 24 25 26 27 28 29 29 30 31 32 32 32
	1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 22 23 24 25 26 27 27 28 28 29 30 30 31 32 32
	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 20 21 21 22 22 22 22 23 23 23 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 28 29 30 30 30 31 32

ตารางที่ ข.48 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1

4.2 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ ข.49 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016

ลำดับขั้นงาน	85 77 81 79 80 86 76 74 78 111 104 67 65 100 33 51 45 107 53 21 90 48 99 82 110 108 103 109 106 102 66 98 105 101 89 96 40 39 31 6 88 69 1 2 3 4 10 11 9 7 8 12 13 14 24 22 20 16 25 23 27 18 32 41 34 19 17 28 36 44 30 50 84 68 35 43 49 15 38 46 42 47 59 60 57 58 55 61 62 71 54 70 73 75 56 64 72 5 63 83 29 37 87 52 91 93 92 94 95 97 26
	79 77 85 1 2 78 69 76 84 88 89 3 111 40 65 67 63 105 39 31 110 68 50 107 86 44 101 96 66 6 90 109 104 100 33 87 108 5 99 81 103 80 82 26 15 74 4 10 11 7 9 8 12 14 23 17 24 16 27 18 35 19 25 30 38 28 36 29 37 22 83 20 43 48 32 41 46 13 34 42 47 54 56 64 72 58 60 57 59 55 62 61 71 106 102 97 98 95 92 93 94 91 75 73 52 51 49 21 70 45 53
	80 85 76 111 67 105 66 109 106 68 107 77 53 48 101 78 52 46 81 84 79 104 102 97 63 96 90 86 100 1 2 51 40 39 31 5 6 82 65 74 26 15 45 110 21 99 3 4 7 8 9 87 10 12 11 20 14 25 34 22 83 23 19 30 38 42 32 41 17 28 36 18 29 37 44 24 33 108 103 98 95 94 92 93 91 71 59 60 57 62 72 64 75 73 49 56 70 58 43 35 27 47 54 55 61 69 13 89 50 88 16

ตารางที่ ข.49 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 14 14 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 19 20 21 21 21 22 22 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30
	1 1 1 2 2 2 2 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 18 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 28 28 28 28 28 29 30 30 30
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 15 15 16 16 16 16 16 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 25 26 27 27 27 27 27 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30

ตารางที่ ข.49 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670

ลำดับขั้นงาน	80 111 104 85 84 40 67 76 90 66 77 89 78 53 105 63 82 26 51 45 101 100 87 86 88 110 108 15 50 44 65 21 107 103 98 1 2 109 106 81 96 48 68 102 97 74 69 52 3 4 9 10 11 8 5 12 19 13 14 24 22 25 31 30 17 28 36 34 42 47 55 56 60 6 23 59 38 20 57 16 27 35 43 49 32 41 58 61 39 79 46 7 62 71 33 83 99 95 92 94 64 72 93 91 75 73 70 37 29 18 54
	85 78 111 82 51 105 90 67 86 52 26 107 46 79 109 106 102 97 77 88 50 80 69 76 65 104 53 66 101 15 81 63 89 87 33 110 108 103 98 68 21 1 2 3 4 5 7 8 6 10 9 100 44 45 48 96 11 12 20 18 19 13 29 37 17 28 36 30 16 27 35 43 49 38 14 25 23 32 41 22 31 39 83 34 42 47 55 62 59 61 57 71 56 60 58 64 72 54 24 70 73 75 74 84 91 93 94 92 95 99 40
	77 79 78 80 111 33 50 63 40 86 100 1 2 107 39 31 104 65 110 108 44 68 21 103 98 99 81 87 3 66 69 105 89 101 96 85 5 88 90 4 9 10 11 12 15 13 18 29 37 19 26 14 22 24 25 23 45 30 34 42 47 56 64 58 55 62 61 72 74 59 38 16 27 35 7 83 82 53 48 67 54 8 71 17 28 36 109 106 32 41 70 46 73 75 6 51 60 20 84 76 52 57 43 49 91 93 92 94 95 97 102

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	85 78 79 80 86 81 87 90 1 2 3 4 9 6 7 5 8 111 66 63 99 82 110 67 40 52 46 65 109 106 68 53 48 51 45 108 26 15 39 104 105 89 101 96 31 50 44 107 103 102 97 98 84 10 12 76 74 21 33 11 20 19 17 13 30 16 27 35 43 49 38 14 22 23 32 41 25 34 24 42 47 60 59 54 55 61 62 57 69 56 64 72 70 58 28 36 18 29 37 73 75 71 100 95 94 92 93 91 83 88 77
	85 78 79 80 86 81 87 90 1 2 3 4 9 6 7 5 8 111 66 63 99 82 26 110 67 40 52 46 65 109 106 21 68 53 48 51 45 108 39 104 105 89 101 96 31 50 44 15 107 103 102 97 98 84 10 12 76 74 33 11 13 18 29 37 17 16 19 30 38 20 27 35 43 49 28 36 14 24 23 32 41 25 34 42 47 60 59 54 55 61 62 57 69 56 64 72 70 58 22 73 75 71 100 95 94 92 93 91 83 88 77
	81 87 111 63 99 105 89 85 100 79 110 108 77 78 69 107 52 84 67 1 2 3 50 51 45 65 109 106 102 97 88 40 33 101 96 53 44 76 74 39 6 5 48 86 80 82 26 15 68 31 46 21 4 10 8 9 12 11 17 28 20 14 25 34 16 13 36 23 32 41 24 18 29 27 35 43 49 7 37 103 98 19 30 38 66 42 47 58 57 56 54 55 61 70 73 75 64 72 60 59 62 71 90 22 83 91 94 93 92 95 104
	1 2 80 81 84 87 85 78 111 109 65 50 44 105 82 66 107 104 106 52 46 53 63 102 97 99 76 101 96 40 33 68 89 74 39 5 6 21 31 67 77 69 3 4 9 7 8 48 90 88 10 11 12 17 15 14 24 20 25 34 42 47 54 55 57 58 19 30 38 59 60 28 36 61 13 18 29 37 45 62 23 32 41 70 26 79 56 64 72 100 16 27 35 43 49 86 110 108 103 98 95 94 92 93 91 75 83 73 71 51 22
	1 111 51 63 50 68 67 33 21 76 44 86 82 26 109 81 45 77 78 69 80 107 87 85 110 108 103 98 40 39 5 31 53 6 84 88 79 106 102 97 48 105 101 96 66 100 74 89 2 3 4 9 10 12 7 8 11 16 18 29 27 37 20 17 13 28 36 19 30 38 46 35 43 49 14 22 23 32 41 83 25 34 24 104 52 65 90 42 47 56 59 54 55 61 62 70 73 75 64 72 71 57 60 58 91 94 92 93 15 95 99

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 1 1 1 1 1 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 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 1 1 1 1 1 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 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 16 16 17 18 18 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 29 29 30 30 30 30 30
	1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 14 14 15 15 15 16 17 18 18 19 19 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 26 27 27 27 28 29 30 30 30 30 30 30
	1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 14 15 15 16 17 18 18 18 19 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 25 25 25 26 26 26 26 26 27 28 28 28 28 28 29 30 30 30 30 30 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 16 17 17 17 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 26 26 27 27 27 27 28 29 29 30

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 16 17 17 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 23 23 24 24 24 25 25 26 26 27 27 27 27 28 29 29 30
	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 20 20 21 22 22 22 23 23 24 24 25 25 26 27 28 28 28 28 29 29 30 30 30 30
	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 16 16 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 29 29 29 30 30 30
	1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 16 16 17 18 18 18 18 18 18 18 19 20 21 21 21 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 29 29 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.50 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1

ตารางที่ ข.51 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230

ลำดับขั้นงาน	85 111 105 33 67 21 50 82 88 99 65 100 63 26 84 110 108 44 15 101 76 66 74 90 107 103 53 80 40 39 5 6 1 2 98 87 52 46 96 68 51 45 77 81 89 104 31 79 78 69 109 106 86 3 4 8 7 9 10 11 12 20 13 19 16 14 24 27 18 17 28 36 29 22 83 25 34 42 47 57 56 64 60 59 55 61 62 71 72 58 23 32 41 37 30 38 54 70 73 75 35 43 49 91 94 93 92 95 97 48 102
	81 87 84 77 88 89 90 76 111 65 82 109 63 105 101 66 106 99 53 48 67 107 102 97 26 15 33 68 21 51 45 100 86 110 108 78 40 39 5 31 85 1 2 96 52 46 50 44 6 3 80 79 103 98 104 95 94 92 93 69 74 91 83 49 36 28 60 22 59 20 17 75 43 35 37 27 7 71 8 13 62 38 73 70 61 55 41 24 32 23 54 57 58 72 64 56 47 42 34 25 14 30 19 29 18 16 11 12 10 9 4
	85 81 84 89 79 111 109 63 100 110 68 33 51 40 39 82 104 45 87 53 77 26 15 65 31 78 48 90 21 5 6 108 66 67 80 86 105 101 96 88 99 106 107 102 97 103 98 95 92 93 94 91 37 60 83 75 20 71 7 57 29 59 73 58 70 22 8 18 49 43 1 2 3 4 10 11 12 17 14 24 16 23 19 30 38 27 28 36 44 35 52 13 9 32 41 46 76 74 72 64 56 69 61 62 55 50 25 34 42 47 54
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.51 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 19 19 20 21 22 23 23 24 24 24 25 26 27 27 28 29 29 29 29 29 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32
	1 1 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 18 18 19 19 20 21 22 22 23 23 23 24 24 25 25 25 26 27 28 29 29 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32
	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 5 6 6 6 6 6 7 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 28 28 29 30 30 31 32
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1

4.3 การหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข.52 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016

ลำดับขั้นงาน	1 79 84 85 2 78 77 69 3 4 10 7 6 9 5 12 8 11 21 14 18 16 29 37 45 19 30 38 46 17 25 34 52 27 24 20 22 31 39 28 36 44 50 83 15 26 51 82 80 86 89 23 32 41 42 111 107 63 65 68 109 106 67 66 105 101 100 53 48 104 35 43 13 90 87 49 76 74 99 96 102 97 47 55 56 64 57 54 59 62 61 70 73 75 71 58 72 88 60 40 33 110 108 103 98 95 94 93 92 91 81
	79 78 81 80 86 85 84 88 1 2 3 4 6 9 10 11 5 12 21 16 19 18 29 37 45 15 51 17 14 25 34 24 23 8 32 41 27 35 28 36 44 50 77 69 76 74 30 38 33 89 26 82 7 13 22 31 83 87 90 20 43 49 111 100 52 53 40 68 107 66 65 67 105 101 96 109 106 102 97 63 42 47 55 54 59 60 61 70 73 75 56 64 58 57 72 48 62 71 91 92 94 93 95 98 103 108 46 104 99 110 39
	84 88 79 78 111 82 99 50 53 48 100 67 33 66 90 105 76 110 85 51 86 101 96 89 40 39 31 26 15 65 108 80 52 46 21 68 77 69 6 87 1 2 3 4 10 7 8 12 11 19 16 30 27 35 20 38 17 28 36 14 24 22 23 83 25 34 42 47 54 60 55 61 62 58 9 32 41 70 73 75 18 29 37 57 43 49 56 64 72 44 13 71 45 5 74 81 107 103 98 109 106 63 102 97 59 91 94 92 93 95 104
	111 50 63 40 105 101 109 106 110 89 39 79 80 88 5 104 52 46 78 68 84 31 67 90 77 69 108 51 45 6 96 1 2 3 81 66 65 87 82 26 15 33 99 21 76 74 4 8 7 10 11 12 14 24 18 16 9 27 35 43 17 20 29 37 49 25 34 42 47 55 62 60 54 59 58 86 56 85 64 72 19 30 38 22 83 23 32 41 44 13 71 107 103 98 102 97 53 28 36 100 95 93 92 94 91 75 73 70 48 57 61
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 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

ตารางที่ ข.52 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 20 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 18 19 19 20 20 20 21 21 22 22 23 24 24 24 25 25 26 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 16 17 18 19 19 19 19 20 20 21 21 22 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30

ตารางที่ ข.52 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 10 10 11 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 16 17 18 18 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 28 28 29 29 29 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670

ลำดับขั้นงาน	1 79 2 81 84 77 78 76 87 69 90 80 86 85 74 111 50 44 33 63 109 52 40 110 108 104 106 66 65 82 26 67 99 46 105 101 96 100 107 102 97 68 89 53 48 88 103 98 95 93 92 51 45 21 94 91 38 36 28 59 30 19 57 72 75 73 70 54 20 49 43 35 27 16 61 41 32 37 9 83 58 60 23 24 29 71 62 55 7 13 39 5 6 31 22 18 8 15 3 64 56 47 42 34 25 14 17 11 12 10 4
	81 85 111 33 40 68 100 66 67 105 89 88 78 63 39 6 31 50 52 82 107 65 86 109 106 102 97 21 51 45 104 79 80 46 26 15 44 77 84 110 108 103 98 5 76 74 69 101 96 87 53 48 99 95 93 94 92 91 20 57 59 72 64 56 49 37 29 43 35 27 16 60 38 83 22 58 75 30 19 18 7 73 70 61 24 41 32 9 23 54 1 2 3 4 8 10 11 12 13 17 28 14 25 34 42 47 55 62 36 71 90

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	111 100 53 107 40 63 90 39 5 82 31 66 99 110 109 65 108 103 98 1 2 21 106 102 68 76 81 48 97 104 78 87 85 84 89 6 80 79 52 3 4 8 7 9 10 11 12 17 19 13 20 15 28 36 30 38 44 14 24 25 23 32 41 22 88 86 74 33 46 34 42 47 57 55 61 60 59 56 64 72 58 62 54 69 70 73 75 16 27 35 43 49 71 67 83 26 18 29 37 91 92 45 94 93 95 96 101 77 51 50 105
	85 78 79 80 86 81 87 90 1 2 3 4 9 6 7 5 8 111 66 63 99 82 26 110 67 40 52 46 65 109 106 21 68 53 48 51 45 108 39 104 105 89 101 96 31 50 44 15 107 103 102 97 98 84 10 12 76 74 33 11 13 18 29 37 17 16 19 30 38 20 27 35 43 49 28 36 14 24 23 32 41 25 34 42 47 60 59 54 55 61 62 57 69 56 64 72 70 58 22 73 75 71 100 95 94 92 93 91 83 88 77
	77 79 85 111 65 67 82 53 109 107 51 45 48 110 33 105 101 88 96 80 40 39 31 5 6 63 26 15 50 1 2 76 74 86 106 21 99 78 69 52 3 4 8 9 7 68 66 81 87 102 84 104 44 100 97 46 89 90 10 12 11 18 14 22 25 16 34 42 47 54 55 59 60 58 61 23 19 30 38 20 17 28 27 35 13 36 57 62 71 83 43 49 29 37 32 41 56 64 72 24 70 73 75 91 94 92 93 95 98 103 108
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 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 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 22 23 23 24 25 26 26 27 28 29 29 29 29 29 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 26 27 27 28 28 29 29 30 30
	1 1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 18 18 18 19 19 20 21 21 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 30

ตารางที่ ข.53 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 16 17 17 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 23 23 24 24 24 25 25 26 26 27 27 27 27 28 29 29 30
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 17 17 18 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 25 26 26 26 27 27 28 29 29 30 30 30 30 30 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2

ตารางที่ ข.54 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230

ลำดับขั้นงาน	79 77 111 99 51 40 66 107 39 31 104 68 50 90 67 33 21 5 109 44 6 82 86 81 53 87 80 63 26 15 65 110 108 103 98 52 48 1 2 3 4 9 10 12 7 8 106 102 97 78 69 84 46 11 13 14 24 25 23 34 19 32 41 17 28 36 30 38 42 20 18 22 83 16 27 35 43 49 88 47 57 59 54 58 60 55 61 70 73 62 71 89 105 101 96 56 64 72 74 29 37 100 95 92 93 94 91 85 76 75 45

ตารางที่ ข.54 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	76 77 84 81 111 53 109 99 63 40 100 39 107 110 52 46 67 66 33 89 68 79 65 48 86 50 31 108 103 106 102 97 90 6 80 44 78 69 85 88 74 51 45 82 26 15 87 21 104 105 101 96 5 98 95 92 93 94 91 20 59 49 57 71 8 58 60 13 75 73 70 54 41 32 9 24 23 61 36 28 72 64 56 43 35 27 16 62 55 47 42 34 25 37 17 38 30 19 29 18 83 7 22 14 11 12 10 4 3 2 1
	84 85 111 86 105 40 67 79 63 81 107 53 101 80 87 100 65 90 110 21 51 45 104 109 106 102 97 78 108 103 98 89 33 1 2 3 4 6 10 11 5 12 19 20 14 23 13 30 38 24 15 26 52 77 48 16 39 31 96 18 29 37 46 99 95 92 93 94 22 88 8 9 32 17 28 36 44 25 34 42 47 56 55 62 59 54 58 71 50 68 7 83 76 74 57 91 72 75 73 70 49 43 35 61 64 60 66 27 41 69 82
	84 81 85 78 76 74 1 2 3 4 7 9 8 5 89 88 111 50 33 110 108 68 105 44 21 82 52 46 100 107 65 67 40 86 109 106 90 63 51 103 98 87 102 97 39 31 45 104 101 96 10 11 12 15 20 17 19 13 16 27 35 18 29 37 43 49 48 30 38 66 77 69 79 80 26 99 95 92 94 14 24 22 25 34 42 47 59 55 62 60 71 56 64 72 57 83 58 54 23 32 41 61 70 73 75 53 93 91 36 6 28
	78 84 85 88 81 89 1 76 87 90 77 69 111 52 65 53 51 82 107 21 40 67 66 46 104 63 86 39 6 99 45 109 106 33 102 97 110 108 103 98 105 101 50 44 68 96 2 80 100 95 93 92 94 91 59 83 49 60 71 13 36 57 7 38 30 62 28 58 17 79 75 73 70 41 24 32 9 54 61 55 3 31 4 10 12 11 14 18 15 16 29 27 35 43 5 25 48 19 8 74 72 64 56 47 42 34 37 20 22 26 23
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1

ตารางที่ ข.54 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 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 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 2 2 2 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 15 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 20 20 21 21 21 22 22 23 24 25 26 26 27 27 27 28 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31
	1 2 3 3 3 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 16 16 17 17 17 18 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 24 24 24 24 24 25 25 26 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31

ตารางที่ ข.54 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 18 18 19 20 20 21 22 22 23 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 26 27 28 28 28 28 29 29 30 30 30 31 31 31
	1 1 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 19 19 20 21 21 22 23 23 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28 29 30 31 31 31 31 31 31 31 31
	1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 17 17 18 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 26 27 28 29 29 29 29 29 30 31
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.4 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.55 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016

ลำดับขั้นงาน	85 79 84 88 77 80 111 21 65 104 107 89 100 50 109 51 99 110 81 45 52 105 86 66 82 44 76 74 1 2 40 26 15 63 106 102 3 108 46 97 103 39 31 98 101 33 68 5 6 4 7 53 48 67 9 96 95 92 94 93 87 10 8 91 72 60 71 59 58 37 20 64 56 12 11 38 13 83 30 19 29 17 28 36 62 57 49 43 14 24 22 35 23 32 41 27 25 16 18 90 78 69 34 42 47 54 75 55 73 70 61
	85 79 84 88 77 80 111 21 65 104 107 89 99 51 109 50 100 110 81 45 52 105 86 66 82 44 76 74 1 2 40 26 15 63 106 102 3 108 46 97 103 39 31 98 101 33 68 5 6 4 7 53 48 67 9 96 95 92 94 93 87 10 8 91 72 60 71 59 58 37 20 64 56 12 11 38 13 83 30 19 29 17 28 36 62 57 49 43 14 24 22 35 23 32 41 27 25 16 18 90 78 69 34 42 47 54 75 55 73 70 61
	76 111 99 67 77 79 68 85 66 53 40 90 80 87 50 81 86 104 65 33 82 44 39 31 52 107 5 105 101 63 48 109 106 102 96 89 21 26 15 97 1 2 74 88 100 84 51 46 45 6 3 4 78 69 10 110 108 8 7 11 103 98 95 92 9 94 12 18 29 20 13 14 23 37 16 27 25 32 41 19 30 38 24 17 28 22 35 43 49 83 34 36 42 47 93 60 59 91 72 75 54 64 58 56 57 55 62 71 73 70 61
	111 105 110 84 51 82 68 88 1 81 67 89 78 100 53 66 108 65 87 101 96 40 77 79 76 86 33 50 44 80 90 63 107 39 52 46 21 109 106 102 99 48 5 26 15 103 69 97 2 3 98 4 8 9 31 6 104 74 85 7 10 12 45 95 92 93 94 91 71 57 75 73 11 16 49 37 17 20 19 13 43 35 27 29 36 30 38 28 70 58 54 24 62 83 18 72 64 61 59 55 41 32 23 56 60 47 42 34 22 25 14

ตารางที่ ข.55 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	111 105 110 84 51 82 68 88 1 81 67 89 78 100 53 66 108 65 87 101 96 40 77 79 76 86 33 50 44 80 90 63 107 39 52 46 21 109 106 102 99 48 5 26 15 103 69 97 2 3 98 4 8 9 31 6 104 7 85 74 10 12 45 95 92 93 94 91 71 57 75 73 11 16 49 37 17 20 19 13 43 35 27 29 36 30 38 28 70 58 54 24 62 83 18 72 64 61 59 55 41 32 23 56 60 47 42 34 22 25 14
	84 81 85 79 111 33 67 77 40 110 51 107 66 87 78 68 52 63 69 89 99 105 104 100 88 109 21 53 48 46 108 103 98 90 39 65 80 82 45 50 6 101 44 31 5 26 106 102 1 97 15 2 86 76 3 4 8 9 7 74 10 12 11 17 18 13 19 30 29 16 38 28 96 20 36 95 94 92 93 37 14 25 22 83 23 24 27 35 91 34 59 75 60 71 58 62 42 47 56 57 49 73 54 55 64 72 32 70 61 41 43
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1
	1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1
	2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.55 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 24 25 26 26 26 26 27 27
	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 24 25 26 26 26 26 27 27
	1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 19 19 20 20 21 22 22 22 23 23 24 24 24 25 26 26 27 27

ตารางที่ ข.55 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 25 26 26 27 27
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 25 26 26 27 27
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 25 26 26 27 27
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.56 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670

ลำดับขั้นงาน	81 76 74 78 77 87 90 84 69 88 80 86 89 111 85 52 40 39 46 67 65 66 79 53 68 110 108 51 107 104 103 98 6 100 5 50 63 31 1 82 21 33 26 109 48 2 99 106 15 3 105 101 96 44 102 97 45 4 7 9 8 95 93 10 92 12 11 14 22 83 25 23 18 24 13 19 30 20 34 29 16 27 35 17 37 32 41 94 28 91 49 43 57 36 71 60 59 75 38 62 58 72 73 70 54 61 64 56 42 47 55
	77 78 84 81 88 85 89 87 80 1 69 111 79 100 107 99 63 51 90 33 21 104 110 40 65 2 76 67 68 74 45 53 105 50 109 44 101 82 86 39 108 3 26 66 48 96 103 4 6 7 9 5 15 10 8 98 12 11 19 17 14 22 83 30 31 18 16 20 28 29 37 27 38 36 24 106 46 13 23 32 41 35 52 43 102 49 97 25 95 34 93 92 42 94 91 47 56 54 71 57 59 58 72 64 75 60 73 62 55 70 61
	81 85 84 87 90 88 80 111 68 53 86 79 1 2 107 105 110 89 76 51 78 52 99 109 21 100 104 33 67 3 63 106 102 4 74 65 10 108 9 101 48 96 12 82 8 45 66 40 39 103 98 31 97 6 26 5 7 50 11 44 16 27 18 20 15 19 29 14 22 83 35 37 95 93 25 24 94 34 23 32 41 46 92 43 49 13 30 38 17 91 72 59 71 60 64 58 62 57 56 77 69 28 36 75 73 70 42 47 55 54 61
	84 1 2 80 85 76 86 111 68 79 66 50 40 107 33 39 5 52 104 3 88 78 81 74 110 100 31 51 6 87 99 65 63 105 101 108 89 45 103 46 109 77 106 53 90 21 48 4 8 96 44 69 10 82 11 12 17 13 28 102 18 20 97 7 98 95 94 26 9 14 29 25 92 19 30 38 16 15 36 93 34 42 47 56 91 60 58 83 37 27 35 75 49 54 59 64 73 70 61 41 32 24 57 43 23 72 71 22 67 62 55
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1

ตารางที่ ข.56 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (สุ่ม)	2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28
	1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 19 19 20 21 22 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 27 27 28 28
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 28 28

ตารางที่ ข.56 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 18 19 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 25 26 26 26 27 27 27 28 28 28
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230

ลำดับขั้นงาน	77 78 69 111 90 52 65 107 85 51 66 80 110 67 76 79 109 33 50 86 68 40 81 87 74 104 82 63 100 45 1 21 2 3 4 9 44 106 105 101 96 46 89 99 53 108 103 5 6 98 8 88 48 102 10 7 39 31 26 11 84 15 97 95 94 93 12 14 24 18 13 23 29 37 20 19 17 28 30 38 25 92 34 36 22 91 59 83 58 71 49 75 60 73 43 35 27 72 64 56 16 57 70 54 61 42 47 55 32 41 62
	1 84 85 79 81 87 90 77 80 76 89 86 74 111 52 46 110 108 78 82 40 33 100 109 107 66 88 51 106 69 105 26 53 67 65 21 39 31 50 99 15 2 3 44 4 10 11 7 102 48 97 12 19 20 8 6 103 9 16 17 28 18 30 38 36 27 35 5 98 101 96 14 22 43 24 49 23 29 13 104 63 68 95 93 92 83 94 32 41 37 91 60 71 75 57 73 58 72 64 56 70 54 61 59 25 62 34 42 55 47 45

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	77 78 111 21 86 53 51 82 66 52 68 110 81 50 79 90 46 85 84 33 107 65 80 99 63 89 67 69 109 76 105 48 108 101 87 106 104 40 88 26 102 100 15 39 6 74 97 31 5 1 96 45 103 44 98 95 94 93 2 3 4 8 7 9 92 91 49 75 36 73 83 58 70 54 61 59 72 64 56 38 41 32 30 37 57 60 71 62 55 47 42 34 22 28 20 25 19 13 17 23 10 12 11 14 24 18 16 27 29 35 43
	76 79 74 81 80 85 77 84 89 87 1 2 86 111 3 4 7 8 107 40 105 101 9 109 63 110 6 104 51 50 88 65 5 33 39 78 53 68 44 90 96 48 82 67 100 31 99 69 52 21 46 66 108 45 103 26 15 106 102 10 97 98 11 12 20 16 18 13 29 37 27 35 17 43 19 14 95 92 94 93 49 30 25 34 28 22 83 24 91 59 75 23 58 36 73 71 38 62 70 54 32 41 42 57 61 55 72 60 47 56 64
	80 77 78 81 87 69 90 79 76 74 85 84 86 111 21 88 110 40 33 107 52 108 82 99 63 66 68 103 39 31 105 101 65 67 50 89 1 44 26 15 96 98 5 51 104 45 46 6 100 2 3 4 8 10 12 9 109 106 7 102 11 19 18 16 29 37 14 17 22 23 25 27 35 30 34 42 47 32 59 83 58 57 43 56 24 38 41 54 64 13 72 49 28 48 20 97 95 94 93 53 92 91 75 36 60 71 62 55 61 73 70
	85 76 80 111 86 82 100 105 101 52 51 81 87 107 1 74 68 33 26 90 2 79 89 109 106 65 66 77 15 40 50 46 104 39 99 84 96 78 88 69 31 45 6 3 5 102 110 44 97 67 53 21 63 48 108 4 8 7 10 11 12 13 19 16 14 23 24 20 103 18 30 9 98 95 17 38 94 32 41 92 28 22 36 27 29 35 93 37 83 43 91 75 60 71 62 49 72 64 73 57 70 54 25 58 59 61 55 34 42 47 56
	77 80 76 79 85 74 1 2 86 111 52 53 40 50 110 105 63 66 100 89 65 82 26 108 99 68 33 90 109 84 48 101 87 96 78 104 69 88 15 67 81 106 46 21 51 45 3 4 7 9 39 31 5 10 11 12 107 19 18 30 38 16 29 37 27 14 13 20 25 22 23 34 42 83 32 41 35 102 6 97 8 103 44 17 43 49 28 24 36 98 95 94 93 47 56 55 60 61 54 70 62 64 73 57 58 75 71 72 59 92 91

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1
	1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1
	1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 1 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 13 13 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 26 27 28 28 28 29
	1 1 2 2 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 27 28 28 28 29 29
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 18 18 19 19 20 21 21 22 22 22 22 23 23 24 25 25 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30
	1 1 1 2 2 2 3 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 18 18 18 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 23 24 24 25 25 26 26 26 26 27 27 28 29 30
	1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 17 17 17 17 18 18 19 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 28 28 29 29 30

ตารางที่ ข.57 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 8 8 8 8 8 9 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 30
	1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 23 23 24 24 25 25 26 27 27 28 28 28 29 30 30 30 30
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 0
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 0
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 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 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016

ลำดับขั้นงาน	78 76 85 111 105 33 90 104 110 1 107 109 108 79 100 68 66 99 82 50 26 87 44 63 65 74 89 51 21 80 88 101 106 102 97 96 45 77 103 69 15 81 53 2 52 67 40 86 39 3 84 46 98 48 4 8 7 31 6 5 95 94 92 9 10 11 93 91 72 71 57 75 59 60 13 83 37 36 38 73 64 12 18 56 29 30 49 43 58 62 35 70 61 27 16 17 20 28 24 41 14 23 54 55 47 42 34 19 22 25 32
	76 80 74 85 84 89 86 1 111 110 99 40 39 31 66 88 105 101 96 2 3 78 107 81 53 48 21 104 68 52 46 67 87 79 65 63 33 108 103 98 50 44 51 45 90 100 109 106 102 97 95 92 93 94 91 20 59 36 28 17 58 57 83 7 71 13 62 49 77 69 82 26 15 60 43 35 4 6 5 8 10 11 12 18 16 29 22 75 19 27 9 30 14 37 38 24 73 70 72 64 54 41 61 25 55 23 32 56 47 42 34
	77 1 2 84 81 76 87 90 88 111 109 50 106 53 85 51 66 40 86 3 52 110 21 74 80 68 63 104 46 45 33 100 4 10 78 107 69 39 11 7 9 67 99 6 108 103 31 102 12 105 82 65 79 48 15 97 44 20 18 8 26 89 5 98 19 13 16 27 30 38 29 35 37 101 96 43 17 28 36 49 95 94 14 23 22 32 83 25 92 93 91 57 34 42 47 60 59 71 75 58 54 56 55 62 61 41 64 72 24 73 70
	111 65 84 85 53 107 48 100 50 105 1 86 110 109 2 78 82 80 68 104 63 99 101 89 106 67 79 26 3 102 97 51 45 44 33 90 21 52 66 46 40 81 88 77 39 87 5 108 4 9 103 96 7 8 76 6 15 10 12 69 98 31 11 19 17 20 30 28 13 36 38 14 25 95 92 93 34 24 18 74 23 16 42 47 55 58 56 32 41 60 62 57 54 61 70 27 29 73 37 71 59 94 91 49 72 75 43 64 35 22 83

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1
	2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1
	2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 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 1 2 1 1 1 1
	2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 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 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 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

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 23 23 23 24 25 26 26 26 27 27
	1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 14 14 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 24 25 26 27
	1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 17 18 18 19 20 21 21 22 22 22 23 23 23 24 25 25 26 26 26 27 27
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 18 18 19 19 20 20 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 27 27 27 27
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 16 17 17 18 18 18 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 27 27
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 16 17 17 18 18 18 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 27 27

ตารางที่ ข.58 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 6016 (ต่อ)

จำนวนสถานีงานขนาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670

ลำดับขั้นงาน	79 84 88 77 85 89 1 80 111 40 109 82 99 68 33 78 63 52 81 76 69 105 53 87 104 2 3 67 107 100 66 110 46 51 106 101 39 96 65 21 6 50 26 44 45 4 7 10 12 11 18 9 5 17 28 36 48 108 15 86 8 14 22 83 23 16 13 19 30 38 31 103 29 24 27 37 90 98 74 102 97 32 41 95 20 93 25 94 34 92 91 72 60 35 59 71 58 62 49 43 75 42 57 73 70 54 47 56 64 55 61
	76 1 111 66 86 50 33 51 81 109 52 87 107 67 82 40 104 53 74 65 105 85 78 84 88 110 77 79 101 106 108 21 102 80 90 44 63 96 68 26 48 45 103 98 15 99 97 100 89 69 39 6 95 94 2 5 92 93 91 49 57 36 43 75 20 46 31 3 28 73 70 54 58 60 59 41 61 35 32 38 30 17 4 7 10 12 9 27 19 37 83 23 72 71 13 24 22 29 11 16 14 18 25 34 42 47 56 55 62 8 64
	78 81 87 85 80 76 74 86 79 84 88 77 89 69 1 111 99 65 110 68 33 104 66 107 105 67 82 21 50 44 51 52 63 40 39 6 5 109 106 53 26 45 90 108 2 31 103 102 97 3 98 15 48 100 46 4 7 9 101 96 95 8 10 11 12 13 14 22 17 28 16 20 36 27 35 43 25 94 24 83 23 32 34 92 49 93 42 47 91 57 75 54 55 58 72 64 73 60 71 59 41 56 62 19 37 30 38 18 29 70 61

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	84 1 80 86 111 100 63 99 53 88 21 67 105 65 33 48 90 104 2 89 109 106 107 68 52 46 85 77 78 76 40 69 81 87 79 74 50 39 101 3 51 45 82 4 66 44 102 6 31 10 12 11 16 13 14 97 9 8 19 20 17 7 5 26 15 96 110 108 28 27 22 83 25 35 36 23 32 41 43 49 24 18 103 98 30 38 95 34 92 29 94 37 93 42 47 59 60 57 54 58 56 91 72 71 62 75 73 70 61 64 55
	1 2 77 80 76 85 74 111 40 3 65 109 52 99 39 107 110 79 4 108 6 90 86 67 33 10 104 5 66 87 53 103 68 98 63 82 48 7 9 51 45 105 88 50 26 15 8 81 78 100 89 31 21 44 101 46 106 11 96 12 17 18 16 20 102 97 29 14 37 13 84 95 28 36 94 24 27 35 93 43 69 49 92 25 22 19 30 34 91 72 60 64 83 42 47 75 38 23 54 55 59 32 41 58 62 57 56 73 70 61 71
	81 79 76 111 85 109 40 87 105 90 88 21 104 78 99 74 84 80 107 110 63 68 65 52 53 1 86 51 67 82 50 77 89 66 101 46 2 3 108 44 48 106 33 100 96 45 4 6 8 5 69 26 15 10 39 7 9 31 102 11 12 13 18 20 17 29 14 37 97 103 98 28 22 83 25 95 16 92 34 42 47 58 56 55 94 24 27 19 35 61 57 62 59 64 54 93 43 72 60 23 91 71 75 38 30 49 32 41 36 73 70
	76 81 79 87 85 80 74 84 78 86 111 110 40 50 33 88 90 89 66 105 108 21 53 51 82 104 39 77 109 101 31 52 46 106 5 45 65 48 100 26 1 2 3 67 44 63 96 4 6 8 10 11 68 7 69 99 15 9 12 17 28 36 19 16 13 20 18 27 30 38 35 29 37 43 14 22 24 23 83 32 49 41 107 25 102 97 103 98 34 95 92 93 42 47 58 60 94 55 54 91 71 57 56 59 64 61 75 72 62 73 70
ตำแหน่งขั้นงาน	2 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1
	1 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1
	2 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 19 19 20 21 21 21 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 26 27 28 28 28
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 24 24 25 26 26 27 28 28
	1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 19 20 21 21 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28
	1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 21 21 22 22 22 23 24 25 25 26 26 27 27 28 28 28
	1 1 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 18 19 19 20 20 20 21 22 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 27 28 28
	1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 17 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 22 22 23 23 23 23 24 24 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28

ตารางที่ ข.59 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5670 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 21 21 21 21 21 22 23 23 24 25 25 26 26 26 27 28 28
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230

ลำดับขั้นงาน	81 79 78 1 2 80 77 85 111 51 21 86 110 108 65 105 90 101 66 50 99 104 67 87 82 84 107 26 96 15 103 98 109 40 44 63 39 89 88 52 76 106 102 46 6 97 69 31 3 4 7 8 9 45 100 74 33 68 5 53 10 12 11 18 95 93 48 16 29 92 19 14 25 22 27 94 34 42 47 20 24 23 37 35 55 54 59 62 91 58 83 56 32 36 41 72 64 60 17 28 61 43 70 71 57 75 49 13 73 38 30

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 80 81 87 90 79 111 68 33 66 100 40 67 105 82 77 84 86 21 88 85 104 39 89 52 63 6 101 110 108 76 109 106 5 65 31 2 78 3 99 46 74 51 45 4 53 10 96 50 44 26 15 12 11 18 20 14 7 48 29 13 17 25 34 37 28 36 19 42 23 24 30 9 8 69 16 27 32 41 47 22 35 59 54 55 56 38 43 60 61 70 57 58 64 107 103 102 72 98 73 62 75 83 97 49 95 93 94 92 91 71
	81 111 87 66 79 52 109 68 99 90 53 40 39 85 82 1 51 45 46 6 77 65 106 110 86 50 105 33 48 26 31 76 15 101 89 67 5 80 44 63 104 84 88 2 96 74 108 107 103 21 100 102 78 97 3 69 4 9 10 98 12 11 16 14 22 7 95 8 19 17 24 28 36 93 13 23 20 94 27 25 92 35 91 49 43 30 83 71 72 75 37 38 58 32 60 34 62 59 73 57 64 18 29 42 70 56 54 61 41 55 47
	77 79 85 76 78 69 81 87 90 1 111 53 110 105 82 68 63 66 109 107 100 88 2 33 74 52 84 40 51 45 108 106 3 99 104 21 101 96 39 5 102 4 31 103 98 8 48 97 46 89 65 95 93 92 10 86 26 15 12 7 50 6 44 80 67 9 94 91 59 60 49 37 36 83 57 58 43 71 62 11 16 27 20 72 29 17 18 14 22 24 28 35 13 23 75 73 64 38 25 34 42 70 54 47 56 30 61 55 32 41 19
	1 76 78 2 3 4 8 9 6 74 80 84 88 85 77 79 69 81 111 90 33 87 50 89 86 44 21 107 68 65 63 53 104 100 40 10 12 11 14 22 19 17 18 5 67 110 52 109 106 108 15 16 27 24 13 23 20 46 31 26 51 48 30 35 29 7 66 39 105 82 38 25 34 42 47 56 28 36 102 97 45 60 101 59 54 58 57 43 96 49 37 83 103 98 64 32 41 72 55 61 62 70 99 95 93 92 73 75 71 91 94
	76 78 77 80 1 86 85 81 79 74 2 84 88 87 3 4 8 9 7 10 11 69 89 111 65 109 63 51 40 52 107 46 90 50 44 33 66 5 6 21 100 99 67 110 108 106 68 82 26 45 103 105 101 98 102 97 53 48 39 15 31 96 12 17 18 29 37 20 14 22 83 104 24 95 93 92 16 13 25 34 27 19 30 23 28 36 35 32 94 91 57 42 43 75 49 73 72 64 56 47 59 58 38 55 70 54 41 61 60 71 62

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1
	1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1
	2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1
	1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1
	2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 19 20 20 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 24 25 25 25 26 26 27 27 27 27 27 28 29 29 30 30 30 30 30 30
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 5 6 6 7 7 7 7 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 21 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 22 23 24 24 25 25 25 25 25 26 27 28 28 29 29 30
	1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 28 29 29 29 30 30
	1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 16 16 16 17 18 18 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 25 25 26 26 27 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30
	1 1 2 2 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 24 25 26 26 26 26 27 27 28 28 29 29 30

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.60 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5230 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1

5. ปัญหาขนาน 205 ขั้นงาน

5.1 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม COMSOAL

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049

ลำดับขั้นงาน	205 198 26 31 194 95 96 154 204 30 195 187 151 25 19 152 144 153 143 93 17 24 40 48 52 39 44 203 202 43 94 199 197 127 47 201 8 1 165 200 166 111 55 163 109 54 142 67 141 186 69 196 192 164 193 71 56 191 16 189 188 53 72 70 2 110 68 66 190 51 11 108 185 3 183 4 22 182 6 184 5 181 150 149 91 180 7 46 23 28 92 38 9 179 176 20 171 88 178 168 99 42 37 98 162 27 18 36 148 177 147 170 10 45 35 161 33 12 32 133 173 34 13 146 169 135 145 139 14 137 21 175 136 41 89 174 15 29 140 49 138 60 50 62 61 74 63 172 57 65 59 64 134 58 73 75 167 76 160 101 132 131 77 159 78 158 157 156 155 125 79 107 119 126 80 81 130 105 123 128 113 120 118 129 104 117 116 103 114 82 112 122 121 124 115 102 87 86 83 106 100 90 97 84 85

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 198 199 93 26 95 44 94 194 144 56 127 31 165 52 43 195 40 186 2 25 17 48 154 47 187 204 39 152 3 30 111 203 8 110 197 109 164 143 55 54 201 96 202 19 108 67 151 16 153 192 200 24 163 4 166 142 141 72 53 22 71 11 5 6 9 191 188 69 196 70 190 193 10 189 7 21 29 33 20 12 51 185 45 18 184 68 49 27 28 41 50 42 57 32 63 46 66 182 23 64 183 34 13 65 60 61 62 74 75 58 181 88 99 98 59 38 91 92 89 180 35 162 150 73 76 179 161 14 77 79 36 15 149 37 80 176 148 171 147 78 133 168 146 145 139 135 170 140 169 178 177 138 173 81 137 82 136 175 174 134 172 83 132 84 131 85 86 90 130 167 87 105 97 129 117 102 103 115 160 112 100 104 116 113 101 128 114 159 106 121 124 122 126 158 107 118 157 125 155 120 123 119 156
	205 195 186 151 93 94 153 154 31 48 40 95 30 204 187 26 152 16 199 127 1 2 109 196 25 3 47 144 24 4 9 39 19 143 67 198 6 44 8 96 203 22 55 52 111 142 194 43 202 165 201 11 54 56 53 69 141 200 5 166 191 197 71 163 164 17 7 188 110 72 193 108 70 68 192 66 10 20 189 18 190 33 185 45 21 184 182 32 51 12 49 29 27 183 13 35 50 36 57 37 14 15 58 34 23 46 38 181 91 99 42 150 63 92 64 180 28 179 162 60 89 41 61 62 98 65 178 177 88 161 175 59 174 73 168 74 75 76 176 77 149 78 148 133 170 79 173 147 172 80 81 171 169 82 83 167 84 101 160 146 135 85 145 137 90 136 159 139 140 97 100 86 138 158 155 87 134 102 104 120 132 106 131 156 115 123 122 118 130 124 126 107 103 128 157 113 105 125 121 119 117 116 114 112 129
	1 205 144 55 151 16 56 187 198 52 44 154 165 95 152 127 195 53 43 26 11 164 153 93 194 197 143 17 40 54 186 204 31 201 67 30 109 39 25 8 96 48 203 19 202 200 142 141 24 166 192 111 191 71 163 72 110 190 94 108 70 47 69 2 188 3 68 66 51 199 4 9 5 196 193 6 7 10 189 29 22 185 21 41 18 182 183 42 20 32 35 33 12 36 45 46 184 34 181 150 37 180 13 27 91 38 49 179 14 178 177 173 60 50 149 89 88 15 92 57 176 23 175 168 174 148 28 172 99 59 58 63 65 73 64 170 62 98 133 171 75 61 147 169 74 167 146 137 145 139 136 140 138 162 161 101 135 160 76 134 159 132 77 78 158 155 157 120 125 119 131 156 118 122 107 130 129 116 103 128 79 123 80 117 121 105 114 81 104 126 124 113 112 82 106 83 100 90 115 102 97 87 86 84 85

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 151 17 186 194 165 204 153 95 93 154 26 1 44 198 25 40 199 94 196 203 144 31 127 2 30 52 96 187 164 19 197 3 195 55 202 43 201 109 48 47 24 193 8 39 16 11 143 152 189 54 56 67 53 4 6 142 192 190 69 9 200 166 5 111 10 7 18 21 33 51 191 27 28 66 45 46 110 68 22 12 49 34 163 70 188 185 60 72 29 62 23 71 141 63 183 41 20 57 61 59 42 74 13 108 58 64 73 14 50 184 182 15 65 75 32 76 35 36 77 79 80 181 149 162 81 150 89 88 78 38 148 37 91 161 180 82 99 179 92 98 83 133 84 168 147 178 146 177 176 145 175 173 137 140 136 174 172 139 135 138 170 171 134 132 131 85 97 130 86 103 87 128 113 102 114 105 90 129 112 104 117 116 100 169 167 115 101 160 106 121 118 120 124 123 159 158 122 126 156 125 119 157 155 107
	205 31 204 127 109 154 198 40 195 30 93 201 165 199 39 144 194 1 26 48 151 25 55 196 197 17 47 95 16 164 186 8 56 96 94 52 152 24 19 11 53 2 143 54 193 142 111 69 203 202 141 110 192 44 190 43 200 187 108 71 3 153 163 191 67 4 72 188 5 6 189 185 182 70 10 7 183 20 22 51 21 12 18 68 49 13 9 32 166 14 35 36 66 23 27 34 57 28 33 60 45 29 50 46 58 59 15 61 41 73 37 38 184 63 64 42 65 62 75 74 181 180 89 88 162 99 161 179 76 149 178 91 177 92 77 79 98 150 176 168 81 171 170 173 78 175 80 169 174 172 82 167 160 148 133 159 101 147 158 83 157 126 156 123 107 122 146 135 145 137 139 140 84 138 121 125 155 120 119 85 97 136 90 134 132 131 124 118 100 106 130 129 128 114 117 105 116 86 113 87 103 104 112 115 102
	205 93 1 195 186 95 96 40 154 199 26 187 198 144 194 31 127 165 55 197 151 152 164 109 94 143 16 204 25 19 56 196 8 39 44 153 67 48 54 192 43 203 17 142 141 193 47 190 2 202 53 72 201 52 189 11 111 30 69 110 3 4 108 9 71 6 200 24 163 5 22 191 70 188 7 166 10 29 21 41 42 185 51 12 66 68 13 23 27 14 184 183 182 18 33 181 34 88 46 45 150 38 20 91 89 32 49 60 63 57 35 92 62 59 64 28 37 180 50 149 65 61 36 58 162 74 148 179 75 147 146 168 135 145 140 99 139 98 15 138 137 178 161 133 177 175 174 73 76 136 134 173 176 170 77 78 171 169 79 80 172 132 167 131 101 160 159 158 157 126 107 155 120 119 130 103 125 128 124 118 129 117 116 81 113 82 83 84 114 105 115 85 90 156 122 86 112 97 100 104 87 102 106 123 121

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 165 187 96 40 151 198 95 17 1 16 26 25 204 127 186 164 19 44 201 111 109 24 2 154 3 11 110 8 39 48 31 47 153 108 144 152 195 30 93 56 194 197 203 202 94 52 53 143 55 192 200 67 191 163 188 4 142 43 190 9 69 199 141 5 10 71 7 6 51 29 66 18 20 41 22 68 33 42 54 21 12 72 13 23 166 70 32 14 35 36 196 193 49 27 57 63 60 28 62 34 58 59 15 73 189 65 45 61 37 185 74 38 182 64 184 75 46 50 76 183 181 92 150 99 91 89 180 162 98 149 179 88 178 177 173 77 176 168 78 171 79 80 170 161 81 175 169 148 133 82 174 83 147 146 172 135 137 84 136 167 85 86 101 90 145 140 97 160 87 102 103 100 159 112 106 115 116 107 139 118 158 121 157 114 156 123 113 119 122 117 126 128 120 104 125 105 138 124 134 132 131 155 130 129
	1 2 3 205 95 96 144 186 94 154 48 17 152 93 4 56 5 8 26 9 194 52 31 10 47 19 30 127 55 22 153 44 151 40 43 25 53 199 187 6 16 39 54 11 198 165 109 195 111 204 203 197 24 192 202 201 200 196 143 190 166 67 7 193 51 33 163 18 110 45 29 41 108 191 66 164 32 46 35 21 20 12 68 23 27 34 142 69 141 72 189 70 71 188 13 42 185 184 182 14 28 183 15 49 60 57 63 64 58 65 62 61 74 75 50 181 88 162 149 150 148 133 89 92 59 161 38 147 180 146 135 179 137 178 176 171 145 168 99 73 37 140 170 91 139 136 169 98 76 36 138 77 177 173 175 134 174 78 172 167 101 132 160 131 79 130 129 80 128 81 105 114 113 159 103 117 82 116 112 158 157 107 156 83 104 84 123 85 115 97 86 87 122 90 102 125 155 121 119 126 120 118 124 106 100
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1
	2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 1
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.61 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
(ต่อ	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003

ลำดับขั้นงาน	1 205 17 186 94 153 198 165 40 93 95 164 39 187 194 26 204 203 127 96 144 199 143 55 31 151 154 30 52 54 25 111 202 48 142 16 44 69 152 195 196 47 193 110 11 67 201 8 109 189 43 108 197 192 200 2 163 24 141 19 191 71 190 188 3 185 166 183 184 4 72 5 6 182 181 20 7 70 22 92 180 38 149 56 179 37 150 23 53 88 28 148 89 168 176 99 10 27 98 9 178 18 171 133 91 12 29 170 41 177 21 34 147 175 36 146 51 68 66 33 169 135 35 32 46 42 45 137 173 145 140 139 162 174 161 138 49 136 134 132 57 50 59 172 167 101 13 160 60 14 15 62 63 131 159 130 158 107 157 128 129 155 120 114 58 119 126 64 73 116 156 117 65 115 61 103 105 113 74 125 118 104 124 112 102 122 123 121 75 87 106 76 86 100 90 97 77 85 84 83 78 79 80 81 82
	1 205 186 187 31 153 93 165 195 30 127 26 109 151 111 40 198 144 96 194 199 204 55 44 95 196 39 54 193 25 8 197 2 201 43 19 189 52 164 110 3 56 143 16 48 17 67 154 94 108 203 142 69 47 24 192 202 141 71 152 4 53 6 200 166 72 190 11 70 68 163 5 191 22 9 66 7 51 188 185 182 10 20 29 41 42 21 18 27 184 12 23 183 181 180 91 33 149 179 13 45 46 150 28 178 168 99 38 34 89 92 177 148 162 133 14 161 176 147 15 49 171 50 37 98 88 36 60 32 173 35 146 175 135 57 174 58 170 63 137 172 145 61 64 59 140 73 139 136 62 74 65 169 167 75 76 160 77 101 138 79 78 80 134 132 159 158 131 157 107 155 119 81 120 118 126 130 105 104 128 82 129 156 122 116 123 113 83 117 125 115 124 103 121 84 85 97 106 90 100 114 86 87 112 102

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน	205 144 44 95 40 56 204 201 55 31 203 202 43 1 52 198 93 94 151 195 197 200 166 187 2 154 30 165 127 164 16 111 152 96 186 153 17 110 109 163 26 54 25 191 11 48 199 39 8 47 196 108 194 188 193 19 24 3 143 189 67 142 192 69 141 53 190 185 4 184 183 182 22 5 7 9 181 46 99 10 20 45 42 88 71 28 18 98 51 33 180 92 29 12 66 6 34 23 49 63 149 150 64 21 65 148 41 60 68 27 162 32 72 89 13 35 36 133 147 75 91 70 161 38 57 58 179 37 50 14 59 73 62 61 146 168 137 136 74 178 177 135 175 145 139 15 176 174 140 170 76 77 138 79 171 81 173 78 134 80 169 172 167 132 101 131 160 82 130 105 129 128 113 116 117 103 159 104 158 115 107 114 83 155 112 84 119 85 102 90 120 156 86 157 126 87 123 122 121 118 97 125 100 106 124
	1 205 40 186 151 93 195 39 144 199 196 55 44 16 26 95 165 48 143 198 43 204 54 194 203 31 127 67 94 164 193 189 109 153 197 202 192 47 11 190 187 52 2 3 30 154 56 4 111 96 5 152 19 53 142 10 25 6 201 9 69 24 22 8 7 32 141 200 17 21 20 27 166 18 12 110 13 28 163 108 33 35 29 71 14 51 49 34 36 66 60 15 61 72 57 50 37 68 70 41 59 191 45 23 58 46 42 73 188 63 185 183 65 62 64 184 74 75 182 76 181 180 89 162 88 38 149 150 99 91 148 133 179 147 146 77 176 178 170 145 177 135 161 98 92 168 79 173 78 140 175 137 81 80 136 139 138 174 82 83 134 171 169 132 84 172 85 167 160 101 159 90 97 86 158 156 157 107 87 100 155 102 131 126 122 123 106 115 121 117 112 103 120 116 113 114 128 125 104 119 118 105 124 130 129
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 16 16 16 17 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 33 33 33 33 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37

ตารางที่ ข.62 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 36 36 36 36 37 37 37 37
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 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 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849

ลำดับขั้นงาน	205 165 154 17 198 94 197 153 187 44 96 93 95 127 164 48 31 195 199 40 30 109 204 39 194 201 26 47 152 203 111 202 200 151 43 186 1 163 192 2 3 144 110 52 56 190 53 196 55 54 193 25 8 189 19 108 24 166 191 143 142 188 141 185 71 72 4 184 69 182 16 9 11 70 68 22 6 5 67 183 66 181 149 99 51 10 18 46 7 12 29 88 34 20 91 38 21 42 45 98 49 60 62 180 33 57 23 32 50 41 58 59 37 27 89 28 63 35 179 178 36 162 177 173 168 161 64 175 61 74 150 148 133 174 65 176 75 73 92 13 170 147 146 145 140 139 171 169 135 138 14 172 76 137 77 79 78 81 136 134 132 15 167 160 159 101 80 158 131 130 103 129 156 82 157 155 119 83 84 85 117 86 128 105 125 97 114 123 116 107 126 87 90 124 115 104 120 113 100 122 106 121 112 102 118

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 194 2 44 17 144 127 3 55 153 94 48 26 95 143 151 142 186 54 141 52 165 195 25 67 93 40 69 96 72 71 164 111 4 19 39 198 154 31 47 30 5 43 204 24 22 109 10 187 7 199 197 11 16 196 201 6 9 193 29 203 18 20 21 189 56 53 8 12 110 23 13 108 49 50 63 32 70 35 57 51 64 36 192 33 202 60 65 152 27 34 66 61 190 59 41 62 200 45 42 166 37 191 46 68 58 188 73 38 75 14 185 15 74 28 182 183 76 163 77 184 78 79 81 181 89 150 162 149 99 180 91 179 80 92 161 82 168 176 178 148 83 133 98 170 171 84 177 173 85 97 169 88 100 86 87 102 104 90 105 106 175 124 101 103 147 107 121 174 123 125 172 115 118 116 146 117 129 137 136 119 167 112 145 113 135 139 120 160 114 155 122 156 128 140 159 158 130 131 157 126 132 134 138
	1 2 3 4 19 8 9 6 205 22 93 94 204 44 48 43 144 127 52 55 47 195 54 154 187 109 201 95 96 40 151 186 143 67 153 165 56 198 203 5 39 202 26 152 53 200 16 166 194 142 10 191 199 163 17 11 164 196 25 31 7 20 12 69 51 111 33 49 45 23 24 110 197 46 57 60 192 66 61 50 18 59 29 32 141 21 108 27 72 13 62 71 28 41 188 63 30 34 70 58 65 42 14 73 193 64 75 189 74 15 68 76 77 78 79 80 81 190 82 35 36 37 185 38 184 183 182 181 150 149 162 91 161 89 148 133 180 92 83 88 147 99 146 84 85 179 137 176 168 178 136 171 86 145 98 97 100 170 169 177 87 175 140 173 174 172 139 90 101 106 138 107 167 102 135 103 134 160 124 121 104 159 115 118 116 105 125 132 158 122 156 126 155 112 119 117 157 120 123 129 113 114 131 128 130
	1 2 3 205 26 186 151 199 187 17 198 194 195 196 44 4 165 22 8 197 95 48 19 6 127 96 204 192 193 164 31 154 152 203 111 40 47 109 189 43 94 202 25 153 93 30 9 16 24 144 110 108 39 56 11 55 53 190 5 52 10 201 7 18 200 29 32 166 191 163 51 33 54 66 35 68 12 69 13 45 23 70 72 41 143 67 14 34 21 142 188 141 71 15 185 46 49 42 184 50 183 182 36 60 61 27 28 37 181 20 63 92 62 38 64 180 74 99 150 179 65 168 176 162 89 161 88 75 57 170 58 91 149 171 148 147 98 59 133 169 73 146 137 135 76 136 77 78 178 79 80 177 173 81 175 145 174 82 140 139 172 167 160 83 84 138 134 132 101 131 85 86 97 100 159 130 128 103 90 158 129 117 116 155 114 156 106 105 122 107 120 124 119 123 115 121 157 113 126 125 118 104 112 102 87

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 199 154 31 152 165 198 187 196 1 186 194 48 204 144 153 93 193 96 189 55 47 127 111 203 110 202 94 26 25 2 197 201 56 54 24 151 40 30 17 19 44 3 164 16 43 95 52 195 53 39 11 192 109 200 4 22 190 5 191 108 10 7 163 9 51 20 188 66 67 143 32 185 29 8 18 142 141 69 35 184 33 36 37 166 21 6 183 12 72 41 45 38 71 34 49 182 42 63 57 70 58 46 68 181 60 65 88 92 99 64 59 50 61 28 27 62 23 149 89 75 91 162 150 74 73 98 161 76 148 147 13 180 133 179 14 77 168 15 176 171 170 79 81 80 82 169 78 83 146 84 85 178 86 90 145 87 177 175 174 173 139 135 97 102 137 104 115 103 116 117 129 136 100 140 101 138 106 107 124 125 105 126 134 157 112 132 131 121 118 123 172 120 114 130 122 156 119 128 167 160 113 159 155 158
	205 198 26 127 96 40 199 144 204 1 194 201 48 25 111 2 203 202 8 95 3 195 4 52 187 143 151 6 24 9 197 154 93 109 22 152 153 5 67 142 31 30 186 10 47 141 19 17 94 72 56 44 53 55 16 200 11 39 71 43 70 69 191 68 54 7 192 12 23 51 66 18 21 32 196 188 110 20 34 29 33 45 190 108 27 163 41 42 13 14 165 15 164 166 35 46 28 36 193 37 189 38 185 184 49 50 183 57 60 62 58 63 182 61 74 59 64 181 91 73 162 88 99 149 92 98 65 161 75 89 76 180 150 179 148 77 168 79 178 133 177 175 81 78 173 80 82 83 174 172 147 146 137 136 84 135 145 176 139 171 140 85 86 170 169 138 87 90 134 132 167 160 131 97 159 101 130 102 158 103 115 128 157 156 100 107 114 116 125 105 122 126 112 104 113 117 129 123 121 155 124 119 120 106 118
	1 205 144 31 48 55 194 17 94 187 143 127 44 186 111 195 40 142 30 47 198 110 154 152 69 141 165 71 153 151 96 56 197 204 39 164 43 16 192 201 190 67 52 95 53 2 109 199 108 11 93 54 3 196 203 4 202 6 200 72 9 166 70 22 8 19 26 191 5 188 7 68 10 18 66 20 193 33 32 45 21 29 189 12 41 23 42 49 60 35 61 57 185 182 62 24 74 25 163 51 34 59 58 46 183 36 37 13 50 184 14 73 15 38 63 65 64 75 27 76 77 78 79 81 28 80 82 181 89 99 150 162 88 92 161 149 98 91 83 180 148 147 179 168 176 178 146 137 135 145 139 84 171 177 133 136 175 170 85 90 140 138 86 87 174 102 97 112 114 104 115 103 116 134 117 113 129 169 100 128 173 172 106 124 101 118 107 126 119 120 125 167 157 132 105 160 155 159 131 158 130 156 122 123 121

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 95 94 44 1 198 2 154 17 152 144 26 43 153 96 56 55 187 199 151 194 186 52 53 40 165 3 197 196 25 39 19 164 24 8 192 93 195 193 54 4 6 143 31 189 190 67 204 48 127 203 22 201 30 16 109 202 5 11 7 9 200 191 10 188 18 142 33 141 47 166 32 72 45 71 111 69 185 20 184 12 51 23 66 13 29 182 14 110 41 34 68 46 49 15 163 60 62 63 61 70 64 21 183 27 50 35 74 57 108 181 180 38 88 42 99 59 89 65 58 149 36 150 37 162 92 148 147 73 161 28 179 178 75 76 146 168 135 137 77 133 145 139 98 136 78 91 79 140 176 170 177 173 80 175 171 138 174 81 169 82 134 172 132 167 101 160 83 159 158 131 157 125 126 130 84 105 155 119 128 124 114 85 107 120 97 104 103 156 118 100 86 113 123 112 129 87 117 102 90 106 121 115 116 122
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 1 1
	1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 1 1 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 2 1 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 2 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 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 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1
	2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 1 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 26 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37
ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 37
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.63 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

5.2 การหาคำตอบโดยอัลกอริทึม NSGA-II

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049

ลำดับขั้นงาน	205 31 127 199 95 17 195 44 194 93 204 201 153 151 186 30 109 187 26 40 39 94 25 19 8 43 144 55 56 53 54 198 197 192 190 196 193 189 24 203 202 200 191 163 188 185 183 182 184 181 28 20 38 150 91 180 179 168 176 171 178 88 22 177 173 175 174 172 37 36 99 18 6 170 169 167 27 21 23 1 2 3 4 5 7 9 10 33 11 12 34 13 51 45 46 32 47 66 68 69 67 16 98 42 41 165 164 49 57 59 50 58 60 63 65 64 73 75 61 52 154 152 149 148 133 147 146 145 139 140 138 135 137 136 134 132 131 130 103 128 114 129 116 105 113 112 104 48 143 142 96 14 15 117 115 102 87 35 166 162 161 101 160 159 158 107 156 122 157 123 121 126 155 120 119 118 125 124 106 100 90 89 70 71 72 141 62 74 76 77 78 79 81 80 82 83 92 111 110 108 97 86 85 29 84
	205 194 95 94 48 47 144 153 204 201 203 202 96 199 31 1 52 198 93 186 200 191 163 165 17 188 56 53 197 192 190 55 54 164 196 193 189 143 142 69 141 72 127 109 111 110 108 151 16 11 40 39 30 154 67 71 70 68 66 51 166 187 195 185 182 183 184 181 89 88 28 27 21 180 22 179 178 177 173 175 168 92 150 176 171 20 170 169 46 99 18 6 98 45 33 91 174 172 167 2 3 4 9 5 19 8 7 10 12 29 13 14 34 15 23 49 63 65 64 41 32 42 50 43 35 36 37 57 59 58 75 24 25 73 26 38 44 152 149 148 133 147 146 135 145 139 137 140 138 136 134 132 131 130 129 116 105 104 103 117 115 128 113 114 112 102 87 86 60 62 61 74 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 90 97 100 101 106 121 118 119 107 120 123 122 156 124 125 126 157 155 158 159 160 161 162

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 95 44 31 186 154 96 127 111 110 30 43 165 187 144 52 93 195 143 55 40 39 17 199 142 69 196 153 109 141 71 204 201 203 202 94 1 2 3 4 5 19 7 6 9 22 67 152 108 48 47 151 16 11 56 53 198 197 54 194 193 192 190 26 25 8 24 200 191 188 163 166 10 33 51 29 12 23 66 32 35 36 13 45 34 18 46 14 15 68 70 21 27 28 49 50 63 65 64 75 57 58 60 61 62 59 164 72 74 189 185 183 182 184 181 91 150 180 42 99 88 92 98 179 178 176 170 168 171 169 177 173 175 149 148 147 146 145 137 133 136 135 89 162 161 139 38 140 138 134 132 131 130 105 104 129 103 128 114 113 112 117 116 115 102 87 86 73 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 90 97 100 101 106 107 121 122 118 119 120 123 156 124 125 126 157 37 155 158 159 160 167 172 41 20 174
	1 2 3 4 6 19 9 22 8 5 10 7 33 18 21 12 23 51 52 53 66 68 69 67 70 72 54 49 63 64 65 75 57 58 34 11 16 29 41 42 43 44 45 46 55 50 47 48 56 32 35 27 36 24 25 26 37 38 205 153 165 17 31 93 154 199 198 40 197 127 111 110 109 94 95 186 96 152 144 143 142 141 108 195 164 28 187 151 71 60 62 61 74 194 192 190 20 204 201 203 202 200 191 188 163 166 30 39 196 193 189 185 184 182 183 181 180 91 149 179 176 171 178 170 169 150 89 162 161 148 147 146 135 137 136 145 139 140 138 134 88 168 99 98 133 132 131 130 105 103 128 113 104 129 117 116 115 114 112 102 92 87 86 13 14 15 59 73 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 90 97 100 101 106 107 118 120 119 155 124 121 123 125 122 156 126 157 158 159 177 173 175 174 172 167 160
	205 199 93 17 195 48 194 204 201 153 151 186 95 127 111 110 44 94 187 26 40 39 96 25 19 8 144 55 54 52 56 53 198 197 192 190 109 196 193 189 24 203 202 200 191 163 188 185 183 182 184 181 20 92 38 91 180 179 168 176 171 178 22 99 18 98 6 37 36 35 32 89 177 173 175 174 172 88 170 169 167 150 23 1 2 3 4 5 7 9 10 29 41 11 51 33 45 66 67 12 13 49 50 34 21 60 62 61 74 57 59 63 64 65 27 28 42 68 70 72 71 69 141 142 75 58 143 16 108 165 164 31 154 152 149 73 14 15 30 166 162 161 101 160 159 158 156 157 123 155 120 119 118 122 121 125 107 46 76 77 79 80 78 81 82 83 84 85 97 86 87 100 90 106 124 102 104 105 112 113 114 103 115 117 116 129 128 130 131 132 133 134 136 137 138 140 135 139 145 146 147 47 126 43 148

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 93 40 198 154 26 31 195 39 165 164 144 52 199 196 17 44 43 152 151 56 194 193 189 16 11 96 25 8 24 19 204 201 203 202 200 163 166 48 47 95 197 192 190 191 188 94 55 54 53 1 2 186 127 109 153 143 67 142 141 69 71 72 70 3 4 5 10 6 9 7 32 33 29 18 45 21 46 12 23 34 20 41 35 36 37 38 49 27 28 42 63 65 64 50 22 13 14 15 75 60 61 62 74 51 66 30 68 57 58 59 73 76 77 79 80 78 81 82 83 84 85 97 88 91 100 90 106 121 101 122 123 156 92 107 98 99 118 120 119 155 89 111 110 108 86 87 102 104 105 112 113 103 115 117 114 128 116 129 130 131 132 133 134 136 135 137 124 125 126 157 158 159 160 161 162 167 168 169 170 172 174 171 176 175 173 177 178 179 180 187 185 184 183 182 181 150 149 148 147 146 145 140 139 138
	1 2 3 4 5 22 7 8 6 19 9 10 20 33 18 12 34 13 11 21 51 17 54 55 14 15 23 24 25 26 16 45 46 47 48 29 41 42 43 44 205 94 204 154 152 199 96 31 30 198 201 151 127 109 197 186 203 93 202 195 200 191 163 188 187 166 153 194 192 190 49 60 62 61 50 63 65 64 75 165 164 196 193 189 185 184 182 183 181 99 180 150 98 28 179 168 178 176 170 38 171 92 91 149 148 147 146 135 145 140 137 136 162 161 139 138 134 89 57 58 59 73 95 88 40 39 37 36 35 177 173 175 174 172 53 56 169 167 160 159 158 156 122 123 155 120 157 125 119 118 121 107 101 126 124 106 90 100 52 144 143 142 141 72 71 69 67 70 68 32 111 110 108 97 74 76 77 79 80 78 81 82 83 84 85 86 87 102 104 105 103 115 117 116 129 112 114 113 128 130 131 132 66 133 27
	1 2 3 4 5 19 6 205 151 154 186 95 40 39 187 48 26 16 195 96 11 31 152 194 198 47 127 153 165 164 25 24 197 192 204 203 201 202 200 163 191 188 166 94 30 111 110 9 93 44 43 10 190 8 109 108 144 55 54 143 67 52 56 53 142 141 71 72 70 69 68 66 51 17 22 7 20 29 33 45 46 41 42 12 13 49 60 57 50 61 58 63 59 65 73 64 75 34 32 35 36 37 38 21 14 15 18 23 62 74 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 91 90 89 92 88 86 87 102 103 104 105 115 112 114 113 128 117 97 100 106 101 121 123 122 124 126 125 157 156 107 118 119 120 155 158 159 160 167 168 172 174 175 161 173 177 178 169 170 171 116 129 130 131 132 134 135 138 139 136 137 98 99 162 27 28 140 145 146 147 133 148 149 150 176 179 180 181 182 183 184 185 189 193 196 199

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 95 40 204 94 151 154 195 152 186 198 144 56 44 43 16 17 197 53 187 165 164 153 39 143 67 96 48 203 202 93 142 69 141 71 72 70 68 66 194 192 190 1 26 25 19 11 201 200 166 191 188 163 52 55 54 51 127 111 109 110 108 47 199 196 193 189 185 183 184 182 181 162 20 149 88 91 46 99 98 42 41 89 38 37 36 6 150 148 133 147 146 135 145 140 137 136 139 138 134 132 131 130 128 113 105 129 116 103 104 114 112 92 29 117 115 102 87 86 180 22 179 168 176 171 178 177 175 173 174 172 35 32 161 8 2 3 4 9 5 10 7 33 21 27 12 49 50 63 65 64 75 34 13 14 15 57 58 59 73 23 24 31 30 18 28 60 61 62 74 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 90 97 100 106 121 124 125 122 101 123 156 107 118 119 126 157 120 155 158 159 160 167 169 45 170
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25
	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 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	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 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25

ตารางที่ ข.64 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	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 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003

ลำดับขั้นงาน	1 205 151 96 195 93 186 204 31 203 40 39 44 201 202 200 166 191 188 153 194 144 143 56 53 26 25 8 187 43 55 16 11 52 163 67 19 127 109 142 141 72 71 70 69 68 66 54 51 2 3 95 154 152 24 94 48 47 199 196 193 189 17 111 110 108 4 6 5 10 7 21 29 33 45 46 20 27 32 35 36 37 38 18 41 42 28 12 23 49 13 63 64 65 75 60 62 61 74 34 57 59 58 73 9 14 15 22 30 165 164 198 197 192 190 185 184 182 183 181 162 88 149 180 150 148 133 179 178 176 171 170 169 147 146 145 140 139 138 168 91 137 136 89 177 173 161 92 135 134 132 131 130 105 104 129 116 128 114 113 112 103 117 115 102 87 86 175 174 172 167 160 159 158 157 155 120 125 101 119 118 107 126 124 99 98 50 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 97 100 90 156 123 122 121 106
	1 205 26 31 187 48 151 194 44 165 43 153 47 154 152 17 198 197 199 95 195 96 93 164 186 144 143 52 56 53 55 196 192 2 3 94 142 141 71 72 70 40 39 67 25 8 24 193 189 19 69 68 66 4 5 7 22 6 9 10 29 18 20 12 34 49 63 65 64 75 23 13 14 32 35 51 15 50 57 58 59 73 33 45 46 60 62 61 74 76 77 79 81 80 78 82 83 84 85 90 86 89 91 97 108 110 109 92 98 99 111 100 106 101 118 107 121 123 124 126 120 122 156 125 157 119 87 102 115 103 112 113 114 128 104 117 105 116 129 130 131 132 133 134 136 135 138 140 139 145 137 146 147 148 150 149 155 158 159 160 161 162 167 172 168 173 163 166 169 171 170 176 88 204 203 202 201 200 191 188 11 54 36 37 38 174 175 177 178 179 180 190 185 183 184 182 181 42 127 21 27 28 30 41 16
	1 205 26 31 151 144 143 187 48 194 52 56 53 44 165 43 55 153 47 154 17 198 197 199 95 195 96 93 164 186 152 196 192 2 3 94 142 40 39 67 25 8 24 193 189 19 141 71 72 70 69 68 66 4 5 7 22 6 9 10 29 18 20 12 34 49 63 65 64 75 23 13 14 32 35 51 15 50 57 58 59 73 33 45 46 60 62 61 74 76 77 79 81 80 78 82 83 84 85 90 86 89 91 97 108 110 109 92 98 99 111 100 106 101 118 107 121 123 124 126 120 122 156 125 157 119 87 102 115 103 112 113 114 128 104 117 105 116 129 130 131 132 134 133 135 138 139 140 145 136 137 146 147 148 150 149 155 158 159 160 161 162 163 166 167 172 168 173 169 171 170 176 88 204 203 202 201 200 191 188 11 54 36 37 38 174 175 177 178 179 180 190 185 183 184 182 181 42 127 21 27 28 30 41 16

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 2 3 4 22 8 9 19 6 5 7 10 21 29 41 42 12 34 27 28 23 24 25 26 43 44 30 31 32 35 18 33 45 46 51 66 67 68 69 52 54 55 53 56 70 72 71 141 142 143 144 20 49 57 59 58 50 60 63 65 73 64 75 61 62 74 13 17 14 15 76 77 79 80 78 81 82 83 84 85 92 94 86 87 97 100 108 109 98 99 91 93 90 102 112 115 117 114 103 116 129 113 128 88 95 110 101 111 127 106 121 122 123 156 107 104 105 130 131 47 48 124 126 125 157 89 96 11 16 118 120 119 155 158 159 160 167 172 168 164 173 165 174 175 177 178 169 171 170 176 179 180 205 187 153 198 194 154 152 40 39 195 151 197 192 190 204 203 202 201 200 166 163 191 188 186 199 196 193 189 185 183 182 184 181 149 162 150 148 147 133 146 135 137 136 145 139 140 138 134 38 37 132 161 36
	205 194 153 198 186 96 48 144 93 187 31 30 47 95 52 143 67 142 141 71 26 25 8 44 69 72 24 151 197 192 190 94 204 203 202 199 196 19 193 189 55 54 16 11 43 195 201 200 191 166 163 188 185 183 182 184 181 89 46 45 88 180 23 179 176 170 22 33 20 91 171 42 28 27 169 168 178 177 173 175 21 38 92 174 172 167 162 161 101 154 56 53 40 39 37 36 35 32 127 111 110 109 108 150 165 164 160 159 158 155 107 157 126 125 124 156 122 120 119 123 152 149 148 133 147 146 145 135 137 139 136 140 138 134 132 131 130 128 114 105 104 113 112 70 68 66 51 118 99 98 6 18 41 29 17 121 106 90 34 100 15 14 13 9 97 129 117 116 115 1 2 3 4 5 10 7 12 49 50 60 61 57 58 63 64 65 75 59 73 62 74 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 86 87 102 103
	1 2 3 4 19 6 8 5 22 9 10 7 21 33 11 29 41 16 45 42 12 23 49 63 65 64 46 47 48 32 35 36 57 59 58 73 20 34 50 13 14 15 37 39 40 38 17 51 54 52 55 75 66 68 67 69 70 72 71 141 142 143 27 43 44 53 56 144 60 62 61 74 76 77 79 78 81 80 82 83 84 85 88 92 95 91 93 90 94 89 96 86 87 18 102 103 112 114 104 105 115 116 117 113 128 129 130 131 132 133 28 30 31 97 98 99 100 106 107 118 124 125 101 119 126 120 155 121 122 123 156 108 109 110 111 127 157 158 159 160 164 165 161 162 166 163 167 169 170 171 172 174 175 173 168 176 177 178 179 180 24 25 26 205 194 195 151 187 154 198 199 196 193 153 189 197 192 152 190 204 203 201 202 200 191 188 186 185 182 183 184 181 150 149 148 147 146 135 145 140 139 138 137 136 134

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 2 3 4 19 8 6 5 7 10 51 12 49 63 66 68 34 52 50 32 18 21 20 69 53 57 59 58 73 27 28 30 29 41 42 43 44 65 33 9 67 60 62 31 13 17 14 15 22 23 24 25 56 54 55 70 72 61 74 64 75 76 77 79 78 81 71 141 142 143 144 205 48 127 94 195 111 204 151 165 16 109 186 40 39 47 96 93 95 203 202 201 198 197 200 163 166 154 152 110 108 187 153 11 26 194 192 190 45 46 35 36 37 38 164 191 188 80 82 83 84 85 89 90 92 91 88 97 98 100 101 106 124 125 126 157 118 120 107 121 122 119 155 99 123 156 158 159 160 161 167 168 169 170 171 176 172 173 174 175 177 178 179 180 162 86 87 102 112 104 105 114 115 116 117 129 113 128 103 130 131 132 133 134 138 136 140 139 145 135 137 146 147 148 149 150 181 182 184 183 185 189 193 196 199
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 33 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 36 36 36 36 36 37 37 37 37

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 20 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 20 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 35 35 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 37 37

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 37 37 37 37 37
	1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37 37 37
	1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 37 37 37 37 37

ตารางที่ ข.65 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849

ลำดับขั้นงาน	1 2 205 194 151 96 165 127 109 40 39 164 204 17 187 44 203 16 93 153 43 199 196 26 11 195 94 154 152 48 47 111 144 52 143 142 69 67 56 53 141 72 201 95 186 25 19 8 3 110 108 31 30 193 189 198 197 192 190 202 200 191 166 163 188 185 182 184 183 181 149 162 150 92 46 89 28 88 161 27 180 179 178 168 176 171 91 38 37 36 35 32 45 33 20 148 147 146 135 133 145 139 140 138 177 175 174 173 172 137 136 134 132 131 130 129 105 104 103 116 128 114 117 115 113 112 102 87 86 21 4 9 5 10 170 169 167 160 159 158 156 122 155 107 120 101 157 126 125 119 118 124 123 121 106 34 100 90 15 14 13 55 71 70 68 66 99 18 98 97 85 84 83 82 80 81 79 24 23 78 77 76 74 73 58 75 64 61 59 65 63 62 60 57 50 49 12 22 7 29 41 51 6 54 42

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 96 199 186 48 47 127 93 44 111 198 197 204 26 203 43 40 39 94 165 164 187 144 56 55 153 54 17 202 110 195 154 196 25 8 24 19 201 200 191 188 166 163 52 31 30 95 53 194 192 190 1 2 3 4 6 5 10 7 18 32 33 45 21 11 12 34 13 49 51 23 60 27 62 35 36 37 46 29 66 50 57 58 68 70 71 20 61 74 22 67 143 59 73 193 189 185 183 182 72 9 14 15 109 108 152 16 69 141 38 151 63 64 65 75 76 77 79 80 81 82 78 83 84 85 86 92 90 97 98 100 106 107 118 119 120 101 91 87 102 112 113 114 128 103 115 117 104 105 155 88 99 116 129 130 131 132 133 134 135 138 139 140 145 89 121 122 123 156 136 137 146 147 148 150 149 28 41 42 184 181 162 161 180 179 168 178 177 173 175 174 172 176 170 171 169 167 160 159 158 157 125 126 124 142
	1 2 3 205 204 201 187 165 164 154 44 43 48 47 26 195 17 93 40 25 24 96 8 194 31 198 197 203 202 200 191 188 163 166 94 152 127 109 111 110 108 4 22 9 153 30 192 95 144 56 53 55 143 142 141 72 71 52 70 67 39 151 6 186 19 16 199 196 193 189 54 69 68 66 51 190 185 184 182 5 7 10 20 29 12 18 32 41 42 23 35 36 37 38 49 60 62 61 57 59 58 73 74 63 65 64 75 21 27 28 34 50 76 77 79 80 81 82 78 83 84 13 14 15 33 45 46 11 85 86 87 91 92 97 98 99 100 89 88 90 106 124 126 125 107 118 120 119 101 155 102 112 115 117 103 114 113 128 104 105 121 122 123 156 157 158 159 160 161 162 167 172 169 168 173 171 174 175 177 178 170 176 183 181 150 180 149 116 129 130 131 132 134 138 139 135 133 136 137 140 145 146 147 179 148
	1 2 3 4 6 19 9 8 5 7 10 32 18 29 12 13 17 34 41 51 53 56 52 66 67 14 15 23 24 11 16 21 68 70 71 72 54 22 25 26 69 27 28 30 31 49 60 61 57 59 58 73 63 64 65 75 205 127 199 195 204 165 194 151 186 154 144 143 142 40 39 44 43 95 196 193 189 153 152 48 47 96 94 164 201 62 74 33 45 46 20 111 110 198 197 192 190 203 202 200 191 166 163 188 50 76 187 185 183 184 182 181 149 180 92 150 148 179 176 171 170 169 147 146 135 145 139 178 177 175 173 174 172 162 161 99 98 88 38 37 168 167 160 159 101 158 107 156 123 122 121 157 125 126 124 137 136 141 77 79 81 80 82 133 89 155 120 119 118 106 100 90 140 138 134 132 131 130 105 129 104 117 128 114 116 115 103 113 112 102 87 42 93 91 36 35 78 83 84 85 86 97 108 55 109

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 198 96 151 95 94 199 127 109 195 204 154 144 52 143 203 186 26 67 197 194 192 190 1 2 55 201 44 31 30 17 56 153 93 196 193 25 24 54 165 164 48 43 8 187 142 141 69 72 202 200 166 163 191 188 111 110 108 189 185 183 184 182 181 20 162 180 179 22 150 161 89 42 176 171 41 29 88 99 18 28 6 23 98 168 27 91 38 170 169 178 21 19 16 71 70 68 3 92 4 9 5 7 53 66 51 177 175 173 174 172 167 101 160 159 158 155 120 119 118 157 125 107 126 124 156 122 123 121 106 15 34 100 90 97 14 13 10 12 49 63 64 50 60 61 32 35 62 74 33 45 57 59 65 75 46 36 37 39 58 73 76 77 79 80 78 81 82 83 84 40 152 149 148 133 147 146 135 145 140 139 138 137 136 134 132 131 130 105 104 129 116 103 128 114 113 112 47 117 115 102 87 86 11 85
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 27 27 27 28 28 28 29 29 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37 37 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 36 36 37 37 37 37 37 37 37

ตารางที่ ข.66 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 35 36 36 37
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

5.3 การหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่อง

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049

ลำดับขั้นงาน	205 144 52 204 95 143 94 127 111 110 201 44 43 109 199 165 164 153 151 186 154 142 141 72 108 40 39 1 195 93 2 3 4 22 6 5 10 7 12 34 13 49 63 64 50 29 41 42 19 23 24 8 33 45 46 18 196 203 202 47 57 58 59 73 31 152 67 69 51 53 66 54 96 20 65 198 197 56 11 30 75 194 193 192 190 189 32 35 36 37 38 9 14 15 16 187 60 62 61 74 76 77 79 80 81 82 78 83 84 85 90 97 100 101 106 121 123 118 120 98 88 122 89 86 92 87 102 103 104 119 155 105 91 124 125 126 115 117 116 129 107 156 99 200 163 166 191 112 113 114 128 130 131 132 133 134 135 136 137 138 140 139 145 146 21 27 28 26 55 25 71 70 68 48 147 148 150 149 17 188 185 183 184 157 158 159 160 161 162 167 169 168 170 171 176 172 173 174 175 177 178 179 180 181 182
	205 199 196 93 31 48 194 193 198 197 17 40 187 1 2 189 95 94 26 25 24 96 19 47 192 190 3 165 164 44 43 151 16 11 195 4 9 39 144 143 142 67 141 72 71 70 52 22 153 127 111 110 204 201 8 6 109 108 186 30 56 53 154 152 5 10 7 51 54 18 20 12 34 49 60 57 23 62 58 63 64 66 68 21 27 65 75 61 32 35 33 45 46 29 74 41 42 50 36 37 59 73 76 77 78 28 79 81 80 82 83 84 55 85 91 90 86 87 88 92 89 102 104 105 115 112 114 113 117 128 97 100 98 99 116 129 103 130 131 132 134 133 136 137 135 138 139 140 145 146 147 148 149 150 13 69 38 203 202 200 166 191 188 185 184 182 183 181 180 179 176 170 171 169 168 178 177 175 174 163 162 161 173 172 167 101 160 159 158 156 123 107 122 121 155 120 119 118 157 125 126 124 106 15 14

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 2 205 198 194 31 144 52 55 54 56 17 186 53 26 40 25 93 8 44 43 187 143 67 30 154 152 95 199 3 4 22 5 7 6 9 96 24 94 204 201 195 151 16 11 39 19 203 202 200 163 191 188 166 127 109 111 110 108 197 192 190 10 21 20 32 35 36 29 41 42 18 12 34 23 49 50 63 65 64 75 57 59 58 73 13 14 15 27 28 60 61 62 74 76 77 78 37 38 33 45 46 47 48 196 142 69 141 72 71 70 68 66 51 165 164 193 79 80 81 82 83 84 85 88 91 89 97 98 99 86 100 90 101 106 118 119 121 123 122 156 124 126 107 125 157 92 87 102 115 117 116 112 114 113 128 103 104 105 129 130 131 132 134 133 136 135 137 138 139 140 145 146 147 148 149 150 189 185 182 183 184 181 180 179 168 176 178 177 173 171 162 161 170 169 175 174 172 120 155 158 159 160 167 153
	1 205 194 40 44 144 55 186 198 43 31 30 56 93 187 143 48 47 26 52 154 152 95 96 25 24 17 94 195 19 204 203 201 202 200 163 191 188 166 53 151 54 197 192 190 16 11 67 127 109 111 110 108 8 2 199 196 3 4 6 5 7 9 22 142 69 141 72 71 70 68 66 51 10 18 29 32 33 45 46 35 36 37 38 12 13 14 34 15 23 49 50 60 61 62 57 58 59 73 63 65 74 64 75 76 77 78 165 164 193 79 80 81 82 83 84 21 27 28 85 88 91 89 97 98 99 86 100 90 101 106 118 119 121 123 122 156 124 126 107 125 157 92 87 102 115 117 116 112 114 113 128 103 104 105 129 130 131 132 134 133 136 135 137 138 139 140 145 146 147 148 149 150 39 189 185 182 183 184 181 180 179 168 176 178 177 42 173 171 162 161 170 169 175 174 172 120 155 158 159 160 20 167 153 41
	1 2 3 4 22 8 205 96 93 95 198 154 152 165 144 199 26 151 55 143 142 69 194 31 16 11 204 203 48 47 9 186 127 109 111 44 43 17 164 94 202 25 24 5 10 7 33 18 12 23 32 34 49 63 64 65 75 50 35 36 37 38 39 45 46 57 58 51 66 68 70 53 13 195 54 14 15 196 52 197 192 190 30 153 19 67 110 108 56 40 187 21 27 28 71 20 141 6 60 61 193 189 62 74 201 200 166 191 188 185 183 184 163 182 181 180 162 161 149 150 148 133 147 146 137 145 139 140 92 135 138 42 41 89 91 136 134 88 99 98 179 168 178 177 173 175 174 172 176 170 171 132 131 130 105 103 129 116 117 115 104 128 113 114 112 102 87 86 169 167 101 160 159 158 107 155 119 156 123 157 125 126 124 120 122 118 121 106 90 100 97 85 84 83 82 78 81 80 79 77 76 73 29 72 59

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 199 196 31 93 44 96 194 193 40 39 198 197 17 187 43 94 1 2 189 153 26 25 24 19 192 190 3 165 164 151 16 11 195 4 9 144 55 54 56 143 142 141 71 69 53 72 52 22 127 109 111 204 201 48 47 8 6 70 68 95 186 30 154 152 5 10 7 32 51 33 18 20 12 23 21 27 35 34 45 46 36 37 38 29 41 42 28 49 60 50 61 63 65 64 75 62 74 110 108 66 67 13 57 58 59 73 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 88 97 98 99 92 90 100 89 86 87 91 102 104 103 105 115 116 112 114 113 128 117 129 130 131 132 133 134 135 138 139 140 145 136 137 146 147 148 149 150 203 202 200 166 191 188 185 184 182 183 181 180 179 176 170 171 169 168 178 177 175 174 163 162 161 173 172 167 101 160 159 158 156 122 123 121 155 119 107 157 125 126 124 120 118 106 15 14
	205 17 48 31 94 26 93 165 25 24 96 187 8 154 152 199 47 195 30 40 44 43 39 198 197 1 2 194 153 196 193 189 95 151 16 11 144 143 52 56 67 53 192 190 164 55 54 127 109 111 110 108 3 4 5 7 22 10 20 21 27 29 33 45 46 41 28 51 66 32 35 36 37 38 42 9 68 70 69 71 6 18 204 203 201 202 200 163 166 191 188 186 185 182 184 183 181 92 99 88 89 180 179 178 176 170 23 177 175 174 171 169 150 149 148 133 147 146 145 137 136 140 135 173 172 91 168 167 139 138 134 162 161 160 159 101 158 155 157 126 156 125 124 119 107 122 98 123 121 120 118 106 34 15 100 97 14 13 90 19 12 49 57 60 62 50 58 63 65 64 75 61 74 72 141 142 132 131 130 128 113 105 103 129 116 117 115 104 114 112 102 87 86 85 84 83 82 81 78 80 79 77 76 73 59
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	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 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25

ตารางที่ ข.67 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003

ลำดับขั้นงาน	1 205 151 17 153 40 39 165 199 94 96 186 127 164 187 195 144 143 67 52 56 53 26 25 8 142 141 72 93 44 43 204 201 16 11 55 54 109 31 154 152 196 194 193 189 71 70 2 69 68 66 51 95 111 110 108 3 203 202 200 191 166 163 188 24 48 47 30 4 6 5 7 9 10 18 32 21 27 12 13 14 15 35 36 33 45 46 28 20 34 37 38 49 60 62 50 57 59 23 29 41 42 58 73 22 61 74 63 64 65 75 76 77 78 79 81 80 198 197 192 190 185 183 182 184 181 149 150 148 133 88 99 162 89 98 147 161 92 146 145 140 135 139 138 180 179 168 178 176 171 170 169 137 136 91 82 83 84 85 86 97 100 90 106 107 118 119 101 87 124 125 126 157 120 155 121 123 122 156 158 159 160 167 172 174 173 175 102 104 105 103 115 117 116 112 113 114 128 129 130 131 132 19 134 177
	1 205 165 151 153 40 39 199 94 164 96 186 127 187 195 144 143 67 52 48 56 53 26 25 8 142 141 72 93 44 43 204 201 16 11 55 54 109 31 17 154 152 196 194 193 189 71 70 2 69 68 66 51 95 111 47 110 108 3 203 202 200 191 166 163 188 24 30 4 6 5 7 9 10 18 32 21 27 12 13 14 15 35 36 33 45 46 28 20 34 37 38 49 60 62 50 57 59 23 29 41 42 58 73 22 61 74 63 64 65 75 76 77 78 79 81 80 198 197 192 190 185 183 182 184 181 149 150 148 133 88 99 89 98 147 92 146 145 140 135 139 138 180 179 168 178 176 171 170 169 162 161 137 136 91 82 83 84 85 86 97 100 90 106 107 101 87 124 125 126 157 121 123 122 156 118 119 120 155 158 159 160 167 172 174 173 175 102 104 105 103 115 117 116 112 113 114 128 129 130 131 132 19 134 177
	1 2 3 205 95 48 186 198 153 187 194 197 192 26 25 24 195 199 96 127 111 110 109 31 30 40 39 144 56 55 54 53 17 19 52 143 142 67 141 71 72 190 93 165 164 196 193 108 154 152 8 44 43 189 47 94 204 203 202 201 200 166 191 163 151 16 11 4 5 7 10 33 51 22 12 34 49 50 57 59 58 63 73 29 41 60 21 27 28 6 32 35 36 37 38 13 66 68 18 45 46 64 61 62 9 14 15 23 20 42 65 75 74 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 90 86 88 97 100 101 106 107 91 121 123 122 98 156 124 126 99 92 87 102 104 112 113 115 117 116 129 105 89 103 125 157 118 119 120 155 158 159 160 167 168 161 162 172 173 174 175 177 178 114 128 130 169 170 171 176 179 180 131 132 134 133 135 138 139 140 145 136 137 146 147 148 150 149 181 183 182 184 185 188 69 70

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 93 186 26 17 199 194 165 151 40 44 144 143 67 55 127 109 204 203 111 110 54 198 197 164 108 56 53 25 24 19 48 47 202 153 8 154 152 201 200 163 191 188 2 3 4 5 10 22 9 96 195 187 52 7 11 32 35 12 34 23 51 18 36 37 49 13 66 63 65 29 41 42 50 38 60 61 62 74 21 27 28 30 64 94 14 15 196 193 189 16 33 45 31 75 20 166 68 70 72 69 71 141 57 58 59 192 190 185 184 183 182 181 89 162 149 99 98 92 150 148 147 146 137 136 133 145 140 139 135 161 138 134 180 179 178 177 175 173 174 172 132 131 130 128 113 114 105 168 104 112 73 76 77 78 79 80 81 103 39 176 170 171 169 167 101 160 159 158 155 120 119 157 156 123 107 125 118 122 121 126 124 106 100 97 90 95 88 91 142 43 129 117 116 115 102 87 86 85 84 83 6 82 46
	1 2 205 94 198 154 153 93 165 199 151 31 144 55 143 56 187 195 127 111 110 3 16 196 142 69 141 186 67 71 72 70 68 66 40 39 152 11 48 96 44 43 53 17 52 4 19 8 9 22 5 10 7 33 45 46 20 29 51 41 42 12 23 24 25 13 14 49 57 58 59 73 50 63 64 6 164 32 35 36 37 38 34 60 62 61 74 54 26 30 18 204 203 202 201 200 191 163 188 197 47 21 27 28 95 166 194 193 189 192 190 185 183 182 184 181 180 149 92 99 98 179 168 176 170 89 162 161 178 177 173 91 88 150 148 147 146 137 135 136 145 139 140 138 134 171 169 175 174 172 167 160 159 158 107 155 120 156 122 123 157 126 119 118 121 125 124 106 101 90 100 133 132 131 130 128 114 129 103 105 104 117 113 112 15 65 75 76 77 79 78 81 80 82 83 84 85 97 86 108 87 102 115 116 109
	1 2 3 4 19 8 5 10 7 11 33 45 51 52 16 18 32 12 23 49 63 57 58 34 24 25 50 65 26 35 36 37 38 39 40 13 53 56 21 6 60 62 27 28 30 31 61 46 47 48 9 14 64 75 59 73 205 187 194 94 95 165 199 196 93 193 189 44 43 127 109 111 153 164 195 110 108 151 204 201 203 202 198 197 192 186 144 55 143 67 142 141 72 71 70 200 191 188 166 163 15 22 154 54 29 41 42 190 185 183 182 184 181 88 92 180 179 168 176 162 161 170 150 178 177 175 173 174 171 169 91 172 167 160 159 101 158 157 125 107 126 156 123 124 155 120 119 118 69 68 152 149 148 147 133 146 137 136 135 145 140 139 138 134 132 131 130 128 114 103 129 117 116 115 105 104 113 112 102 87 86 66 74 76 77 79 81 78 80 82 83 84 85 90 89 97 100 98 106 121 99 20 96 17 122

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 22 23 23 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 28 28 28 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 36 36 36 36

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 36 36 36 36 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 20 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 36 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 36

ตารางที่ ข.68 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 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 1 1 2 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849

ลำดับขั้นงาน	1 2 205 127 31 94 26 111 44 109 151 187 198 95 199 204 201 186 154 152 197 195 48 47 110 108 30 17 16 11 43 40 39 194 192 190 25 8 19 24 96 3 4 9 6 22 5 196 193 189 93 203 202 200 166 191 188 185 183 163 184 165 164 7 153 10 29 32 20 12 49 60 61 63 65 64 13 34 50 33 45 75 23 46 35 57 59 58 73 36 51 66 67 54 55 53 56 52 68 70 71 72 141 18 62 74 76 77 78 79 80 81 82 83 14 15 21 27 28 84 85 91 88 92 86 87 102 115 104 116 105 103 112 114 113 128 117 129 97 98 99 130 37 38 69 142 143 182 181 42 162 149 150 180 179 178 168 176 170 148 147 171 169 161 177 175 174 173 172 167 101 160 159 158 107 156 157 125 123 126 124 155 119 122 121 133 146 137 145 140 139 138 136 135 134 132 144 41 131 90 120 118 106 89 100

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 2 3 4 6 19 9 22 5 10 7 21 33 29 12 23 32 41 20 49 63 64 50 65 45 46 47 75 35 34 60 62 24 18 51 66 52 53 56 68 69 42 43 44 36 37 38 39 48 11 40 13 17 14 15 54 55 16 61 74 70 71 72 141 142 67 143 144 27 28 30 31 8 25 26 205 153 165 93 186 127 111 109 199 95 164 94 96 195 187 204 203 110 108 154 152 201 194 202 200 166 163 191 188 151 196 193 189 198 197 192 190 185 182 183 184 181 180 179 176 170 99 149 91 171 169 92 98 162 161 178 177 173 175 174 172 89 88 168 167 101 160 159 158 107 156 123 157 125 155 120 126 124 119 118 122 121 106 90 100 97 150 148 147 146 145 137 136 135 139 133 140 138 134 132 131 130 129 105 128 113 103 116 114 112 104 117 115 102 87 86 85 84 83 82 81 80 79 78 77 57 59 58 73 76
	205 31 187 195 194 153 96 44 95 165 26 204 201 154 198 197 25 19 8 94 152 151 16 11 43 144 55 56 54 93 199 196 193 189 40 39 17 52 53 143 142 141 71 69 72 70 68 164 192 190 186 67 66 51 1 2 3 48 47 203 202 200 191 188 166 185 183 184 163 182 181 99 18 42 98 162 150 6 92 180 179 168 22 91 38 37 36 178 177 173 41 29 20 88 35 32 149 148 147 146 135 137 136 46 145 140 139 138 134 175 174 172 45 33 89 24 23 4 9 5 10 7 12 49 60 34 63 65 62 13 14 61 74 57 58 59 73 50 21 27 28 64 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 85 86 87 97 100 108 109 110 111 90 102 115 116 103 117 129 104 105 112 113 114 128 130 131 132 15 106 124 125 121 122 118 119 120 155 123 126 107 156 101 30 157 158 159 160 167 169 171 170 133 127 161 176
	1 205 95 154 26 40 39 25 186 187 24 151 16 11 165 96 199 204 201 203 17 48 47 194 196 31 195 8 193 152 202 93 44 43 200 166 191 188 94 153 19 189 144 52 56 55 143 142 69 67 53 54 198 141 71 72 70 68 66 51 127 111 110 109 108 163 30 2 3 4 6 22 9 5 10 7 29 12 33 13 23 32 49 57 41 42 59 21 20 35 50 58 73 36 37 38 27 28 18 14 15 45 46 34 63 64 65 75 197 192 190 185 182 183 184 181 91 150 88 149 89 180 179 168 178 177 173 176 162 161 175 174 172 92 148 133 170 171 169 147 146 145 139 140 138 137 136 99 98 135 134 132 131 130 105 103 128 114 129 116 117 113 112 115 167 101 104 102 87 86 60 61 62 74 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 90 97 100 106 118 121 123 120 122 156 119 124 126 125 157 155 107 158 159 160 164

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 95 127 154 194 187 195 186 144 52 56 109 55 204 111 110 143 67 93 94 17 152 198 197 31 203 201 151 16 11 2 3 4 19 22 9 6 142 141 71 69 192 190 53 202 200 191 166 153 40 39 30 188 5 7 199 196 193 189 185 183 184 48 182 181 20 38 92 28 27 99 18 98 180 37 150 91 36 88 179 176 171 170 169 178 177 175 173 21 54 174 172 35 32 165 164 168 167 163 162 161 160 159 158 156 123 122 121 155 157 125 107 101 72 70 68 120 149 148 133 147 146 135 137 136 108 47 46 45 33 10 51 12 13 49 60 62 50 57 58 59 73 29 41 42 61 63 65 64 75 74 76 77 79 80 78 81 82 83 84 85 90 89 86 87 102 104 103 112 114 105 113 128 115 117 116 129 130 97 100 23 24 66 8 25 96 34 26 43 119 14 15 145 139 140 138 134 132 126 124 131 44 118 106
	205 154 152 151 186 199 26 204 40 165 17 201 195 96 198 93 95 44 43 196 164 48 47 194 127 94 16 11 203 109 193 153 202 197 192 190 200 191 188 166 163 25 24 8 19 39 1 2 144 55 54 52 56 53 143 142 141 71 72 67 69 70 68 66 51 189 187 185 182 183 184 181 89 149 162 38 37 36 150 148 91 147 146 137 145 135 139 35 32 161 136 88 140 138 134 46 99 6 18 180 22 179 176 168 178 170 98 23 177 175 174 173 172 92 20 45 33 171 169 167 160 159 158 107 101 155 119 120 118 156 123 122 121 3 4 5 10 7 29 41 21 27 9 12 13 49 57 50 63 64 34 59 58 73 14 15 60 62 61 74 28 30 65 75 76 77 78 111 110 108 42 133 132 131 130 128 129 117 103 114 105 104 113 112 116 115 102 87 86 157 126 125 124 106 90 100 97 85 84 83 82 81 80 31 79
	1 2 3 4 9 22 6 19 205 165 31 40 187 154 152 164 198 26 17 199 196 144 143 56 67 39 55 195 204 203 201 53 186 142 141 52 30 127 111 110 109 108 44 43 194 193 189 25 24 197 192 190 69 94 95 48 202 47 54 71 93 96 5 10 7 11 12 18 23 20 34 21 33 45 16 32 35 51 66 68 70 46 49 63 65 64 75 60 61 62 74 50 151 29 41 42 57 59 58 73 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 88 89 92 86 87 91 102 104 112 113 114 105 97 98 100 115 116 117 103 90 99 128 129 130 131 132 133 134 138 139 136 135 140 145 137 146 147 148 150 149 153 36 37 8 27 28 72 38 200 191 163 166 188 185 183 182 184 181 180 162 161 179 176 170 171 169 168 178 177 173 175 174 172 167 101 160 159 158 157 125 126 124 155 119 156 122 107 120 118 123 121 106 15 14 13

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 198 195 153 144 52 55 54 40 39 31 127 109 151 197 194 199 44 43 192 190 95 16 11 165 164 154 152 204 203 93 26 25 30 17 96 196 193 189 94 201 56 53 186 187 202 200 191 188 163 185 182 183 184 181 42 180 28 38 37 36 41 99 18 6 98 35 32 149 179 168 91 20 29 150 148 147 133 146 145 137 136 140 178 88 177 173 175 174 135 22 172 48 111 110 108 8 143 67 142 141 72 71 70 166 162 161 27 21 24 23 69 68 66 51 92 89 1 2 3 4 5 7 9 10 33 12 34 45 46 49 57 59 58 50 60 61 62 74 73 63 64 65 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 86 90 87 102 103 112 114 113 97 100 128 104 105 115 116 117 129 130 131 132 134 138 176 170 171 169 167 160 159 158 107 155 120 157 125 126 124 119 101 156 122 123 121 118 106 15 14 19 47 13 139
	205 48 153 165 198 197 144 52 31 194 154 152 187 94 55 54 47 192 190 95 151 16 11 127 111 110 17 195 96 1 2 3 4 19 22 5 7 9 10 32 35 33 18 36 37 39 20 38 44 8 26 186 164 43 51 66 67 68 70 72 71 141 6 204 203 202 201 200 166 163 191 188 40 29 41 42 69 142 12 13 14 15 34 23 24 109 108 45 46 53 93 21 27 28 49 63 65 60 57 59 50 62 58 73 64 61 74 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 97 92 98 90 91 86 87 102 115 104 105 112 113 114 116 103 117 129 128 130 131 88 99 89 143 56 30 132 134 135 133 138 139 140 145 136 137 146 147 148 149 150 25 100 101 106 124 118 120 125 126 157 119 107 155 121 123 122 156 158 159 160 161 162 167 168 169 170 171 176 172 173 174 175 177 178 179 180 181 182 184 183 185 189 193 196 199
ตำแหน่งขั้นงาน	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 37 37

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 2 2 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 26 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 36 37 37 37 37 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 27 27 27 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 37 37 37 37 37 37 1 1 1 1 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 35 35 35 35 35 35 36 36 37

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 37 37
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 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 1 1 2 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 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.69 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน (ต่อ)	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2

5.4 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049

ลำดับขั้นงาน	205 144 96 55 40 153 165 154 1 93 48 186 94 151 152 16 198 44 197 31 54 2 187 95 3 11 4 5 22 9 7 10 52 43 51 21 20 12 13 49 63 23 24 18 164 30 204 201 203 60 66 26 47 195 17 27 67 62 68 28 61 74 143 32 57 35 33 6 36 70 14 202 34 199 196 200 163 191 8 188 69 127 59 58 15 37 111 110 109 39 53 142 141 56 65 71 19 25 50 73 45 29 46 41 108 72 166 38 42 64 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 97 98 89 100 86 90 106 87 88 102 112 107 115 92 99 91 118 119 120 155 113 104 103 105 116 117 121 122 129 124 123 101 156 194 193 189 192 190 185 182 183 184 181 149 180 179 178 177 173 175 168 174 114 126 125 128 130 131 157 132 134 138 136 137 150 140 139 176 148 133 135 171 147 146 170 169 162 161 172 167 160 159 158 145
	1 2 205 165 44 164 186 144 40 39 151 16 94 204 43 143 201 195 127 187 96 93 142 69 109 67 26 203 31 198 197 52 111 110 202 200 163 141 30 55 54 199 3 194 154 48 4 5 7 6 19 166 56 191 9 22 11 53 47 25 8 188 10 51 12 13 29 32 35 17 152 95 23 24 108 34 36 49 50 57 21 20 18 63 58 41 65 72 196 193 189 192 190 66 185 183 64 60 62 184 182 181 92 91 88 38 162 180 28 59 37 68 42 14 33 15 161 73 45 46 27 153 71 70 61 74 75 76 77 78 79 80 150 89 179 176 170 171 169 81 82 149 148 147 133 146 145 139 140 83 84 85 97 86 90 87 102 104 112 115 116 103 105 113 114 128 100 101 106 118 119 107 124 126 99 98 168 137 138 136 178 177 175 135 174 125 121 117 123 122 129 157 156 134 132 131 130 173 172 167 160 159 158 155 120

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 165 204 195 44 31 187 94 96 199 186 198 197 127 48 26 47 203 25 17 153 151 16 30 43 95 144 55 154 52 109 24 164 201 196 111 93 19 54 1 2 56 143 40 11 142 67 8 152 69 53 110 39 141 202 200 163 191 188 72 71 70 68 66 51 108 3 4 22 5 7 10 166 32 20 33 45 46 35 36 37 38 12 34 29 41 42 49 13 60 61 57 63 64 65 58 62 74 23 18 21 27 28 75 59 73 50 9 194 193 189 6 76 77 79 81 78 80 82 83 84 85 88 89 91 90 97 98 92 99 86 100 87 102 104 112 103 105 113 114 128 115 14 192 190 185 183 182 184 15 181 162 161 117 106 121 107 124 116 123 126 118 120 125 157 150 149 180 179 176 171 170 168 178 177 173 175 174 169 119 155 129 130 131 101 132 134 138 172 167 139 140 133 135 145 148 147 146 137 136 122 156 158 159 160
	1 2 205 198 26 187 194 93 17 40 44 197 25 24 204 186 144 195 151 165 48 95 56 94 96 16 201 43 53 164 203 31 30 153 154 199 196 192 3 4 19 47 52 193 8 202 200 22 6 152 163 189 166 11 39 143 67 142 69 127 109 191 188 190 9 5 10 185 184 183 182 181 149 162 38 46 37 36 45 35 33 42 32 55 91 99 98 161 92 88 150 89 7 111 110 18 51 66 180 68 70 41 29 12 23 28 141 71 108 72 49 27 20 34 50 57 58 59 73 60 62 63 61 64 65 13 14 54 74 15 75 148 147 179 178 76 168 177 173 175 174 176 133 146 137 145 135 171 170 169 139 172 21 167 101 77 79 81 78 136 140 138 134 132 131 160 159 158 156 80 107 123 122 130 121 129 117 103 157 126 125 124 116 105 104 115 155 119 120 128 118 106 100 90 97 114 113 112 82 83 84 85 86 87 102
	1 205 144 52 143 2 56 48 17 55 194 53 142 67 54 199 196 165 96 153 40 164 47 195 93 141 127 109 39 44 198 94 151 154 95 3 204 186 4 19 9 71 72 16 193 197 22 6 11 192 190 152 43 201 203 187 5 69 111 202 110 70 68 66 200 163 191 188 10 189 31 30 166 108 7 33 45 32 35 36 51 46 21 27 20 18 12 23 24 8 25 13 29 14 15 41 42 185 182 183 34 28 37 38 26 49 60 61 57 50 58 62 184 181 91 99 92 59 149 180 88 98 89 150 148 73 147 133 179 168 176 178 177 171 146 145 135 137 170 175 174 140 139 138 136 134 132 131 130 129 169 173 105 172 167 103 117 116 115 128 104 114 113 63 64 65 74 75 76 77 78 79 112 81 162 161 160 159 158 155 157 125 101 120 119 156 122 118 126 123 107 121 124 102 87 86 106 100 90 97 85 84 83 80 82

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 198 197 95 195 154 152 94 151 40 153 96 199 196 144 127 204 109 203 202 16 143 26 111 110 39 44 165 187 25 164 194 93 56 24 201 43 8 186 11 31 19 30 55 54 200 166 1 2 3 48 193 108 163 67 142 191 188 4 5 69 141 192 190 52 22 10 7 189 6 47 29 51 53 72 71 18 33 45 70 20 41 12 13 23 34 46 66 17 32 68 42 21 27 28 9 35 36 49 60 61 57 58 59 73 37 185 183 184 182 62 14 63 181 38 50 15 65 64 180 92 89 150 91 99 98 162 149 148 147 179 178 146 137 145 133 135 139 140 177 175 173 174 168 172 176 136 171 170 169 75 74 76 77 78 161 79 80 81 82 83 84 85 97 88 90 100 106 107 101 86 124 126 125 118 120 121 87 102 122 123 119 157 115 117 116 156 138 155 158 112 103 129 104 114 113 128 134 105 132 131 130 167 160 159
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 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 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 2 2 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 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24

ตารางที่ ข.70 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24
	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 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24
จำนวนสถานีงาน	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003

ลำดับขั้นงาน	1 205 127 187 44 43 204 165 154 152 40 194 111 109 31 30 39 2 96 3 144 56 53 199 198 110 201 52 143 48 17 94 47 93 153 203 151 142 195 4 16 19 11 69 6 9 141 5 186 55 54 10 8 72 196 22 108 193 189 26 71 7 29 41 33 32 21 27 51 28 45 46 66 20 202 200 67 164 68 70 191 12 166 18 163 197 192 190 34 23 49 13 14 15 60 42 63 57 64 65 75 58 50 59 188 25 35 61 62 185 184 73 182 74 183 24 36 37 76 77 181 99 92 180 149 98 89 38 150 91 179 168 148 178 147 146 135 137 176 177 136 133 145 78 171 173 170 79 80 162 169 175 174 172 167 139 140 161 138 81 134 132 82 131 83 84 160 85 159 86 158 157 156 125 123 87 107 101 88 155 119 120 126 124 118 122 121 106 90 100 97 102 115 103 117 130 105 104 128 114 116 112 113 129 95
	1 2 205 198 3 95 48 31 30 154 153 199 197 144 56 96 55 151 194 54 127 109 53 187 16 11 186 94 165 40 26 4 5 7 39 47 44 93 164 6 9 19 192 8 196 43 195 152 190 143 142 52 69 141 72 71 70 68 22 193 111 67 110 10 20 32 51 18 33 189 108 204 201 17 29 12 23 34 49 57 13 14 59 63 66 35 36 37 58 45 50 41 24 38 25 64 73 21 27 203 202 200 191 188 166 185 183 182 60 65 75 61 28 42 46 62 163 15 74 76 77 78 79 184 181 88 150 91 99 92 162 98 89 161 180 149 148 133 147 146 179 178 176 177 80 173 170 145 137 139 140 168 171 175 169 135 136 174 172 138 134 132 131 167 130 103 129 116 128 114 117 105 104 115 113 112 81 82 83 84 102 160 85 159 97 87 101 86 158 155 119 120 156 122 123 107 157 126 100 90 106 118 121 125 124
	205 186 194 96 204 26 127 187 44 153 17 25 154 93 1 2 95 48 195 94 165 40 19 199 198 3 152 201 24 164 196 4 8 47 43 109 151 31 16 39 111 11 144 143 142 141 72 71 70 193 110 189 30 67 55 52 5 9 6 54 69 203 10 22 197 202 200 7 21 56 53 20 68 66 18 27 51 28 12 29 49 41 23 32 35 13 191 192 33 14 57 58 45 46 59 73 15 50 36 188 166 60 61 62 34 63 64 65 74 42 37 38 163 108 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 190 185 183 184 85 97 90 100 106 124 86 107 125 101 118 120 121 126 98 122 123 157 156 99 92 119 155 88 182 89 181 180 162 91 150 149 148 161 179 176 147 158 168 178 171 133 177 175 173 174 87 102 103 172 115 117 104 112 114 170 146 145 140 139 169 135 167 160 159 138 113 128 105 116 129 130 131 132 137 136 134

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 40 39 17 93 204 48 31 95 154 186 187 199 144 201 44 165 47 56 194 96 127 26 195 153 94 151 43 52 203 16 109 196 143 111 1 202 53 55 25 24 11 200 142 30 193 152 110 108 69 141 2 191 188 166 67 8 54 163 71 3 72 4 22 5 164 189 10 7 29 12 23 70 9 19 68 41 18 21 66 33 32 198 13 35 36 14 20 49 63 64 65 57 27 50 59 45 46 37 42 28 38 60 61 58 197 192 6 190 185 62 73 74 51 183 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 15 182 184 181 89 99 92 162 98 161 180 85 97 90 100 86 179 176 34 101 106 107 91 149 88 171 178 168 170 177 124 87 125 126 102 103 173 169 175 157 115 121 122 123 156 104 118 105 174 172 167 116 117 119 120 155 158 112 113 160 159 114 150 148 133 147 146 145 135 139 140 138 128 129 130 131 132 137 136 134
	1 205 165 40 44 153 17 93 194 144 56 2 31 164 26 39 53 204 187 195 94 151 43 16 95 25 55 203 143 142 52 30 69 24 11 186 201 202 48 3 154 19 67 200 163 191 166 141 8 54 4 22 71 9 5 6 10 7 199 198 72 152 51 188 47 32 21 12 20 18 27 23 33 13 35 36 28 37 45 14 46 34 49 63 50 38 65 60 61 62 70 68 66 29 41 42 15 197 192 190 196 193 189 127 109 96 57 58 59 73 74 64 75 76 77 78 79 80 81 82 83 84 185 183 111 85 182 89 97 86 87 102 115 103 112 113 114 88 116 128 100 117 104 129 90 106 110 108 92 98 91 99 101 121 107 124 123 125 126 122 105 157 118 120 130 156 184 181 180 179 162 161 150 149 178 177 175 173 148 147 133 146 135 137 174 136 145 140 168 176 170 171 169 172 139 167 119 138 134 132 131 160 159 158 155
ตำแหน่งขั้นงาน	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 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 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 2 1 1 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 1 2 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 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 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 1 2 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34

ตารางที่ ข.71 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849

ลำดับขั้นงาน	205 96 48 31 195 151 93 1 198 2 30 40 26 154 16 25 39 17 204 203 165 47 202 153 197 19 3 94 187 186 152 44 8 194 127 144 24 143 56 53 55 4 22 192 52 6 9 111 109 110 108 11 95 164 201 54 190 199 196 193 189 5 200 191 166 163 10 142 69 141 72 43 7 21 33 12 34 23 27 20 29 28 18 41 42 45 67 51 49 57 59 13 14 46 58 50 60 32 63 64 62 61 74 71 188 65 70 73 15 185 184 75 183 68 35 36 37 76 77 79 80 81 78 82 83 84 38 66 182 85 97 86 87 89 92 181 88 150 91 149 148 147 146 135 133 180 99 90 100 106 101 121 162 98 145 137 140 136 107 139 118 122 123 120 156 124 126 125 157 138 161 179 168 134 132 131 176 171 178 177 175 119 155 158 130 105 104 128 103 174 102 159 114 112 115 117 116 129 160 167 113 172 173 169 170
	1 2 205 199 196 186 44 43 26 198 94 96 151 16 25 3 31 144 30 11 95 194 127 187 195 111 153 93 52 40 48 56 53 24 197 192 4 19 5 7 10 29 41 143 8 109 17 204 47 39 20 165 22 32 9 201 110 193 189 67 164 203 6 42 33 12 49 45 60 46 57 13 35 51 36 37 58 50 55 54 190 21 38 63 66 27 68 70 64 62 61 74 71 18 72 23 69 28 65 75 108 142 154 152 141 59 202 200 191 188 14 15 185 183 73 166 163 182 184 76 77 78 79 81 80 82 83 84 34 181 88 150 180 179 168 149 176 170 171 92 85 90 97 100 106 101 121 118 122 123 86 91 99 148 147 133 89 120 169 98 146 135 137 162 87 156 107 102 115 124 103 125 126 112 114 113 128 157 119 104 116 117 105 129 130 131 132 134 136 145 140 138 139 178 177 175 173 174 172 167 161 160 159 158 155

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 96 151 31 95 48 195 199 194 165 154 94 187 198 1 17 44 2 152 16 93 11 30 47 204 153 197 127 109 111 201 203 202 200 192 144 52 26 25 55 56 166 163 191 188 143 53 19 196 186 142 8 24 54 40 3 110 141 71 72 190 39 43 108 69 67 164 193 189 185 4 5 10 6 9 182 183 7 21 27 20 12 184 51 181 34 28 162 92 180 38 150 99 88 98 89 161 91 22 18 42 33 32 35 149 148 179 168 178 147 41 45 46 66 37 36 70 29 68 49 57 60 59 50 58 133 177 13 23 62 61 73 74 14 15 176 170 146 145 171 169 175 137 139 173 135 174 136 140 138 134 132 131 130 105 103 128 114 172 104 129 167 63 64 117 101 116 115 160 113 65 75 159 158 107 156 123 122 121 155 157 126 125 120 119 118 124 112 102 106 90 87 86 76 77 78 79 80 81 82 83 84 100 97 85
	205 165 40 48 151 16 95 44 94 26 25 194 1 127 153 198 204 201 144 186 17 203 11 199 196 24 154 96 143 111 8 47 39 164 197 52 109 31 110 193 56 53 43 55 192 108 67 30 142 152 190 54 69 141 202 200 163 187 195 2 19 72 93 3 71 166 189 70 191 4 22 5 9 10 6 68 66 7 29 32 35 21 51 188 27 28 185 12 41 18 33 183 13 14 15 45 184 36 37 42 38 49 57 60 46 63 50 65 182 58 59 73 181 88 91 150 180 162 92 99 161 20 62 34 23 64 149 148 179 147 168 61 74 178 177 175 173 133 89 75 146 135 137 136 174 172 145 140 139 176 98 171 76 77 78 79 170 169 138 134 132 131 130 105 129 128 104 103 113 114 117 116 112 115 102 87 86 167 101 80 81 82 83 84 85 97 90 100 106 118 121 122 160 107 123 119 156 120 124 125 126 155 157 158 159
	205 17 48 154 93 151 1 127 186 187 31 152 204 165 40 96 203 202 2 26 25 47 39 164 201 111 153 30 44 109 200 191 166 163 188 198 94 3 199 196 24 8 19 95 194 144 16 11 193 189 43 143 67 55 54 197 192 4 5 7 22 6 9 195 110 142 52 69 141 108 72 190 10 51 66 185 184 53 29 68 32 35 21 183 12 34 23 20 49 33 182 71 70 36 45 60 61 27 46 28 18 41 42 63 64 62 181 89 99 88 50 38 150 180 65 57 37 58 92 162 179 178 98 161 91 75 149 177 176 170 171 169 148 133 74 56 173 147 146 168 175 137 174 172 136 167 160 159 158 157 126 107 156 122 155 123 135 120 119 125 101 145 140 139 121 118 124 106 100 97 138 134 132 90 59 73 15 131 130 103 128 113 114 112 105 104 129 116 117 115 102 87 86 85 76 77 78 79 81 84 83 13 14 80 82

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 40 48 26 127 109 186 187 25 39 144 143 67 55 154 93 96 204 153 195 151 142 201 203 141 56 199 196 44 194 165 47 54 24 71 164 17 43 111 52 69 53 202 19 95 1 2 110 3 72 70 4 16 5 8 6 10 9 108 193 152 22 200 191 7 11 33 189 18 21 12 23 20 49 63 57 34 31 94 166 65 13 45 46 29 27 60 61 58 51 188 28 64 30 163 41 75 14 59 73 15 50 42 66 68 62 74 76 77 78 79 81 80 32 35 36 37 82 83 84 38 85 97 100 90 106 124 86 107 126 125 101 121 122 123 157 118 98 89 99 92 120 119 87 155 102 104 103 112 115 105 117 116 129 114 113 156 128 158 159 130 198 131 132 134 135 136 133 91 138 139 137 160 167 161 168 162 88 140 169 170 171 172 145 173 174 146 197 192 176 175 190 185 184 177 147 178 148 179 182 183 150 180 149 181
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 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 2 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 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 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 8 8 8 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 24 24 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 19 19 19 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 22 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 34 35 35 35 35

ตารางที่ ข.72 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 30 30 30 30 30 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35
จำนวนสถานีงาน	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 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 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.5 การหาคำตอบโดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049

ลำดับขั้นงาน	205 154 127 199 95 109 111 198 151 152 17 194 48 165 204 93 197 192 195 40 201 47 196 31 26 16 1 96 44 144 143 11 52 164 203 153 30 186 94 43 110 25 8 2 193 187 55 3 54 24 190 108 189 142 69 39 202 67 4 19 200 56 163 9 5 10 166 191 53 141 71 72 6 7 21 27 12 34 28 32 18 13 188 185 23 183 20 29 41 70 22 49 51 66 33 63 65 60 50 61 184 45 35 68 42 182 62 64 14 181 92 36 37 162 46 38 88 150 89 161 180 74 179 176 170 15 171 149 178 75 57 59 91 168 169 148 147 146 137 145 136 99 139 140 135 177 133 175 98 173 138 174 172 134 167 58 73 76 77 78 101 160 132 131 130 103 105 159 128 113 129 158 155 117 116 119 157 125 120 114 115 126 79 81 124 118 107 104 112 102 80 82 83 87 86 84 85 90 97 100 106 121 122 123 156
	1 205 144 198 204 203 187 17 55 56 94 165 153 151 199 2 54 3 53 95 164 44 143 26 25 202 8 201 154 43 16 67 152 4 48 40 9 6 142 31 197 194 192 11 30 200 166 24 19 47 196 190 69 39 195 163 127 93 96 111 110 22 191 5 10 193 52 189 7 141 186 109 32 72 71 29 41 12 34 51 20 188 18 42 185 49 23 108 33 66 21 63 65 57 45 70 68 64 75 58 184 35 46 27 182 183 36 37 59 50 60 13 38 61 14 28 15 73 62 74 181 99 180 98 92 179 176 89 88 149 170 178 171 169 76 168 91 162 150 148 147 161 133 177 77 79 80 81 82 146 135 137 145 136 140 139 138 175 174 134 78 83 132 131 130 103 129 128 113 105 117 116 114 112 173 172 104 84 115 102 87 86 85 90 97 100 101 167 160 106 121 123 118 120 107 124 119 125 159 155 158 156 122 126 157

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 144 143 67 194 153 95 199 48 47 204 187 44 203 17 93 154 96 195 152 56 186 26 43 127 165 55 54 151 16 11 142 53 69 40 109 25 111 110 108 24 1 94 8 141 202 164 19 196 31 30 52 193 189 201 200 71 72 70 191 198 197 39 2 166 188 163 68 66 51 3 192 190 185 4 6 9 5 184 183 7 10 32 12 13 21 18 182 29 33 23 49 63 34 20 60 65 64 14 181 38 75 162 150 88 99 161 46 37 92 180 179 176 170 50 22 98 28 57 45 35 62 58 27 89 36 171 169 149 168 61 74 42 178 148 91 147 41 59 73 76 77 177 133 175 78 79 81 80 174 173 172 82 83 167 160 101 159 84 85 158 97 100 157 126 156 123 125 124 90 107 122 121 86 87 102 115 117 112 113 155 120 119 118 114 128 104 105 116 106 103 129 130 146 137 145 136 135 15 139 140 131 132 138 134
	205 154 17 44 96 48 127 95 194 111 152 109 26 1 195 43 47 110 108 144 198 93 55 197 54 40 187 25 186 56 2 153 151 199 143 142 53 141 72 39 67 192 71 69 8 16 3 19 24 196 31 52 94 30 193 189 190 4 22 5 10 7 20 29 41 42 11 204 203 165 201 32 51 35 36 18 9 33 12 34 6 202 164 200 166 45 21 46 163 191 13 188 185 70 66 183 27 23 68 49 57 63 65 60 50 59 14 184 37 64 75 182 58 61 38 28 62 74 181 99 88 180 92 149 89 179 176 91 150 98 178 168 170 15 171 169 177 162 175 148 147 133 73 174 173 161 146 172 137 76 135 167 160 101 159 158 107 77 155 145 140 139 138 136 156 78 79 81 80 120 122 119 157 118 123 125 134 126 124 121 82 83 132 131 130 129 116 106 90 103 105 128 114 113 112 100 104 117 97 84 85 86 87 102 115
	205 153 95 44 43 154 96 195 40 186 152 17 1 199 144 31 198 93 194 187 196 193 143 67 2 189 3 94 26 151 39 127 109 111 197 192 190 4 9 6 25 56 142 141 22 5 204 19 16 53 69 8 48 24 71 72 52 7 110 55 30 203 201 47 54 202 10 32 29 51 12 34 108 41 66 165 164 11 20 42 23 200 163 191 188 185 182 183 184 181 150 99 98 89 180 179 168 178 177 173 175 174 172 176 171 170 91 88 149 148 133 147 146 135 137 136 145 140 139 138 92 38 166 162 161 28 46 45 68 70 27 21 37 33 13 14 15 49 60 62 61 74 63 65 64 75 50 57 59 58 73 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 86 90 36 35 18 87 102 97 104 105 100 112 103 169 167 101 160 114 159 115 106 118 124 113 158 119 120 157 125 117 126 116 128 121 122 129 130 131 132 107 123 156 155 134

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 26 151 16 31 30 186 153 127 95 1 198 199 94 17 40 39 195 197 48 47 109 196 165 164 11 111 110 108 194 193 189 192 190 2 3 4 5 10 7 51 52 18 66 68 70 12 13 49 50 57 59 58 73 60 62 61 74 63 64 65 75 76 77 79 80 78 34 23 33 45 46 53 32 35 36 37 38 29 41 42 21 27 28 20 56 8 69 71 24 19 6 72 67 141 142 22 9 14 15 54 204 201 203 202 200 166 163 191 188 55 96 187 185 184 183 182 181 180 179 168 176 170 99 98 89 150 92 88 162 161 143 144 25 154 152 149 148 147 133 43 44 178 171 169 146 145 139 81 177 137 173 175 174 136 135 172 82 140 167 160 138 83 134 159 158 155 93 91 84 132 131 119 157 126 156 122 107 101 85 86 125 130 128 113 129 124 97 100 117 90 116 114 120 106 115 112 118 103 105 123 121 87 104 102
	1 205 144 198 26 197 94 17 2 153 195 186 48 127 109 25 19 187 111 24 194 204 199 47 96 110 95 44 93 31 56 53 201 52 143 142 151 8 16 3 69 11 30 203 165 196 43 108 55 193 189 202 200 40 39 192 67 191 166 54 163 4 141 22 71 72 9 70 5 190 7 10 32 29 41 42 33 51 20 66 21 18 188 185 45 27 182 46 35 12 23 68 34 6 183 13 49 60 28 61 184 14 181 38 88 91 180 179 168 176 50 57 59 37 150 170 89 99 58 36 171 169 62 162 98 161 178 15 177 74 164 154 173 73 92 175 174 172 167 160 101 159 158 157 156 107 122 126 155 119 123 121 120 125 124 118 106 100 97 90 63 152 64 65 75 76 77 78 79 81 80 82 83 149 148 147 133 84 85 86 87 102 103 112 104 105 113 115 117 116 114 146 135 129 128 145 139 140 137 136 138 134 130 131 132
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 2 2 1 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 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 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 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 3 3 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 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 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.73 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 7049 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003

ลำดับขั้นงาน	205 44 26 95 153 96 144 31 17 143 93 195 151 204 165 194 30 187 48 186 67 55 52 201 40 154 43 54 152 16 11 198 199 94 1 2 196 47 25 19 24 39 164 8 3 4 203 9 127 111 110 109 108 6 5 7 22 142 69 141 71 10 32 35 21 27 28 202 200 191 163 72 33 18 197 12 188 166 36 49 50 63 57 37 192 190 56 53 38 64 65 60 62 59 61 74 13 20 51 34 45 46 66 193 70 68 29 41 14 15 58 73 42 75 23 76 77 78 79 81 80 82 83 189 185 182 183 84 85 88 89 90 184 181 99 91 162 98 180 92 149 150 148 179 147 146 133 178 177 173 175 176 171 174 172 161 86 87 97 100 106 107 168 170 169 137 145 140 139 138 167 160 159 158 155 157 156 124 123 102 101 120 119 122 125 126 118 121 136 135 104 105 112 113 114 115 117 103 128 134 116 132 131 130 129
	1 205 195 26 198 17 194 204 186 48 47 96 153 40 151 144 187 95 199 2 197 203 201 55 52 94 154 127 192 190 16 25 31 109 152 165 93 44 19 11 56 8 24 3 4 9 6 143 67 142 54 43 202 69 141 71 30 53 111 196 193 164 200 191 189 110 39 72 70 166 22 108 163 188 185 182 184 5 68 66 51 183 181 88 180 99 38 162 161 179 91 37 28 42 89 168 176 171 7 10 33 18 12 20 92 149 34 45 46 178 177 173 175 41 23 21 27 29 150 98 170 169 174 172 36 49 63 64 65 35 148 133 147 146 57 59 58 75 60 73 32 135 145 139 140 137 136 138 134 167 160 159 158 156 123 50 157 155 119 62 126 122 121 101 125 120 118 107 13 14 15 132 131 130 129 128 103 114 124 116 117 113 105 104 106 112 115 90 102 87 100 86 61 74 97 85 84 83 78 82 80 76 77 79 81
	205 186 127 109 199 94 196 204 26 198 111 40 39 1 48 95 195 187 96 144 194 31 30 52 151 47 93 203 16 11 56 143 202 197 110 201 142 141 153 25 192 72 193 189 24 53 55 17 154 2 54 3 4 9 8 19 5 22 71 70 6 190 108 7 10 32 29 35 36 21 69 20 33 18 45 46 67 165 37 51 38 68 66 200 163 166 12 34 13 49 63 14 50 15 64 65 41 42 27 152 28 23 60 62 61 74 191 188 185 182 57 184 44 43 75 183 58 59 73 76 164 77 78 79 80 181 180 92 91 162 161 179 99 150 88 89 98 178 168 81 176 149 177 82 83 175 174 173 171 148 172 170 84 169 133 147 146 135 137 145 140 167 139 138 101 160 159 158 156 123 85 107 122 121 157 126 125 124 86 87 97 100 90 106 102 136 103 104 105 155 119 120 118 115 134 116 117 112 113 114 128 132 131 130 129

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 96 93 94 40 198 153 151 165 204 186 203 31 95 44 164 194 144 143 56 202 39 55 17 16 201 154 127 199 142 53 152 54 200 191 163 166 188 67 11 52 111 195 43 1 109 196 193 2 110 48 197 187 189 30 69 192 190 108 3 141 71 72 4 8 26 19 9 5 10 7 51 66 29 6 12 34 18 22 49 23 185 41 60 32 68 184 21 27 183 35 61 50 36 37 182 70 24 20 42 181 92 150 28 62 33 63 45 13 57 74 65 38 14 15 58 88 89 162 91 99 64 59 73 25 149 148 147 180 98 161 179 146 178 168 135 47 145 139 140 137 75 176 170 136 76 133 177 171 169 173 175 174 172 167 101 138 160 77 78 79 81 80 159 158 107 134 157 125 156 123 122 132 82 83 46 155 120 131 130 128 119 118 121 126 105 124 113 103 84 85 90 114 97 104 86 129 112 116 87 102 115 106 100 117
	205 194 31 44 93 154 127 95 151 186 48 96 94 144 199 40 39 17 1 56 198 153 109 143 195 187 111 2 47 142 53 55 52 196 43 54 67 30 69 152 16 110 108 11 197 192 190 193 189 3 141 71 204 203 202 4 19 8 26 25 165 201 200 166 191 163 164 24 22 72 70 6 9 5 10 188 185 7 20 21 27 18 28 68 66 33 12 23 183 29 45 13 49 182 51 60 62 61 74 41 42 57 63 14 46 32 65 35 34 58 50 64 59 73 36 37 184 15 38 75 181 99 88 98 91 162 89 161 180 92 179 76 178 176 149 177 168 170 171 169 175 174 173 172 77 79 150 148 78 81 80 82 83 167 101 84 160 147 146 145 139 140 135 159 158 156 122 107 157 85 86 87 90 125 97 137 123 121 126 102 100 104 105 112 103 114 115 155 138 136 116 113 134 133 106 120 132 131 130 119 118 117 128 124 129
	1 205 198 96 26 144 44 25 195 95 94 154 127 40 165 194 31 56 153 199 143 67 19 39 164 204 187 43 52 109 186 203 30 197 55 48 142 141 201 111 202 196 24 69 53 151 17 2 47 192 200 71 93 152 3 54 16 11 190 8 193 189 166 110 72 4 9 70 6 163 68 5 10 66 7 21 27 51 20 32 12 28 23 22 29 34 35 36 191 41 42 37 18 13 38 14 15 33 108 45 46 49 50 63 57 65 64 75 58 60 59 62 61 188 185 74 182 184 73 76 77 79 80 81 82 183 181 162 89 161 92 88 149 78 180 150 99 148 147 146 145 139 140 135 83 138 84 91 179 176 171 178 168 170 169 177 85 90 137 173 175 86 87 102 103 174 136 134 172 98 97 104 105 112 114 113 128 167 101 115 100 160 133 106 121 124 126 116 132 131 130 129 117 118 123 122 119 159 120 156 125 107 155 158 157

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	205 26 144 52 31 96 44 43 95 1 187 199 40 195 56 94 204 53 201 30 198 153 93 154 151 39 2 196 165 16 194 48 164 197 143 67 152 47 3 127 193 25 8 19 109 186 4 6 9 5 142 111 192 189 69 203 17 55 24 22 11 202 110 108 141 71 54 200 166 10 190 7 21 51 66 32 18 29 35 36 68 12 23 34 27 20 37 13 38 14 15 33 28 191 49 63 41 42 57 188 72 70 60 61 65 59 45 185 64 46 163 183 182 75 58 73 184 50 181 89 99 150 98 180 179 176 170 162 91 171 169 92 149 88 168 62 74 178 177 76 77 161 148 147 146 145 139 140 175 173 79 81 138 174 78 135 133 172 80 82 83 137 136 134 167 84 85 86 90 160 101 159 158 155 157 125 87 120 156 126 124 119 118 132 131 107 122 123 130 129 116 128 103 105 113 102 97 104 112 100 114 121 106 117 115
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 2 1 2 2 2 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 2 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1
	2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 5 5 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34
	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 19 19 20 20 20 21 21 21 22 22 22 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 20 20 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34
	1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34 34

ตารางที่ ข.74 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 5003 (ต่อ)

จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 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 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 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 1 1 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 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 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849

ลำดับขั้นงาน	205 93 165 17 187 194 195 198 44 151 26 40 186 154 48 43 31 16 95 144 55 11 47 197 56 127 152 164 111 143 142 52 54 109 53 141 25 8 19 96 153 24 204 39 203 202 201 199 30 94 69 72 200 166 1 2 3 67 196 193 163 191 189 188 192 190 185 183 184 182 4 22 6 9 110 108 5 10 71 70 181 20 42 149 162 41 28 38 161 99 88 150 18 46 29 27 92 91 180 179 89 45 68 23 37 148 7 12 33 21 66 34 51 178 177 176 133 147 168 173 146 171 145 135 13 36 32 140 175 98 139 138 137 136 35 14 15 134 132 131 130 128 113 114 112 174 129 117 116 105 115 104 172 170 169 49 63 65 50 60 62 103 64 75 102 87 61 57 59 74 167 101 160 159 158 155 119 120 157 126 125 124 107 156 118 58 73 76 77 78 79 80 81 123 82 83 84 85 122 121 106 100 86 90 97

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 93 17 127 111 109 154 95 152 187 26 153 204 31 144 186 203 94 25 8 201 52 110 55 56 199 2 196 19 108 165 30 198 195 197 143 142 67 54 141 72 69 24 71 70 164 3 53 68 66 51 4 5 10 6 40 96 39 22 48 194 44 202 192 190 200 191 188 163 193 189 185 184 151 43 7 18 166 12 49 182 20 57 59 60 21 33 9 29 58 34 27 50 73 61 63 65 64 62 47 16 11 32 23 74 75 28 41 35 36 37 13 183 38 181 180 99 92 98 149 46 179 150 168 178 91 162 42 45 14 15 88 89 161 176 171 170 148 147 169 177 175 174 146 137 133 136 145 139 140 138 135 134 132 131 130 105 103 128 173 76 77 78 114 79 81 80 82 129 116 83 113 117 172 104 115 112 102 87 86 167 101 160 159 84 85 97 100 90 106 124 121 107 126 122 125 158 156 123 155 119 157 118 120
	1 2 3 4 19 9 8 5 22 7 10 11 12 23 13 18 34 51 66 33 24 54 25 16 21 14 15 68 69 53 6 20 29 27 49 63 50 28 70 45 41 32 35 26 17 30 31 67 71 72 56 55 60 61 62 74 64 57 59 36 37 38 141 142 42 58 73 46 65 75 76 77 78 79 81 80 82 83 84 85 97 100 39 40 90 106 124 125 126 157 92 91 86 118 87 88 98 121 122 102 107 104 101 112 120 123 89 95 143 105 115 113 114 117 156 116 129 128 119 155 158 159 160 167 168 108 110 47 205 93 194 199 151 44 204 203 202 144 103 161 99 52 109 96 48 154 198 197 192 164 127 43 187 153 165 111 186 190 201 200 163 196 152 193 191 195 162 166 188 94 169 171 170 189 185 184 183 172 130 131 173 174 176 132 134 136 175 182 137 181 149 180 179 138 135 140 133 139 178 145 177 150 148 147 146
	1 2 3 205 144 153 44 186 154 48 26 195 56 127 109 52 151 43 31 25 111 24 4 152 40 187 194 198 165 16 8 19 199 204 6 196 11 22 17 94 30 203 197 201 110 93 96 143 67 5 10 95 55 7 18 53 108 54 51 21 20 9 29 27 32 202 35 36 142 141 192 190 164 66 68 69 200 163 70 39 72 71 191 188 166 41 12 49 23 42 28 37 33 34 57 193 47 38 50 58 63 59 64 45 46 60 61 73 189 185 182 183 184 181 162 92 99 161 62 13 89 14 91 74 180 98 88 150 179 168 178 176 171 177 175 173 170 169 149 148 133 174 15 172 167 101 160 147 146 137 145 140 136 65 75 76 77 79 80 139 78 135 159 138 134 81 132 158 131 157 107 126 125 155 120 82 83 84 85 97 86 100 130 119 118 87 105 129 128 156 116 124 123 114 117 115 103 122 102 90 106 121 104 113 112

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ลำดับขั้นงาน (ต่อ)	1 205 144 48 26 153 143 95 52 56 17 187 198 31 25 8 94 199 194 55 151 196 19 127 111 165 16 44 186 2 24 154 193 43 11 47 164 197 152 109 53 67 142 54 3 4 5 22 141 192 190 189 40 39 69 6 7 9 72 71 110 93 96 195 204 10 203 70 30 51 66 12 68 34 32 23 202 33 18 108 201 200 191 166 188 35 36 37 49 63 185 38 13 184 50 65 29 45 14 57 20 60 62 58 15 163 46 41 61 64 59 73 182 74 75 76 77 78 183 181 28 162 42 88 21 27 92 149 180 150 148 147 89 146 91 135 137 133 161 99 179 176 178 177 173 98 145 175 139 170 171 168 79 81 80 82 169 83 174 172 167 101 84 136 160 159 158 156 123 107 157 125 126 122 124 140 138 134 85 97 121 132 100 90 131 130 129 155 119 120 103 118 106 105 128 86 113 114 117 116 112 104 115 102 87
	1 205 144 48 26 153 143 95 52 56 17 187 198 31 25 8 94 199 194 55 151 196 19 127 111 165 16 44 186 2 24 154 193 43 11 47 164 197 152 109 53 67 142 54 3 4 5 22 141 192 190 189 40 39 69 6 7 9 72 71 110 93 96 195 204 10 203 70 30 51 66 12 68 34 32 23 202 33 18 108 201 200 191 166 188 35 36 37 49 63 185 38 13 184 50 65 29 45 14 57 20 60 62 58 15 163 46 41 61 64 59 73 182 74 75 76 77 78 183 181 28 162 42 88 21 27 92 149 180 150 148 147 89 146 91 135 137 133 161 99 179 176 178 177 173 98 145 175 139 170 171 168 79 81 80 82 169 83 174 172 167 101 84 136 160 159 158 156 123 107 157 125 126 122 124 140 138 134 85 97 121 132 100 90 131 130 129 155 116 117 115 86 128 114 113 112 105 104 106 118 103 120 119 102 87
ตำแหน่งขั้นงาน	2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 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 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 2 2 1 1 1
ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 1
	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 1

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งขั้นงาน (ต่อ)	1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 1 2 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 2 2 2 1 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 1 1 2 1 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 1 1 2 1 1 2 1
	1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 2 2 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 1 2 2 1 1 2 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 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 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 2 1
ตำแหน่งสถานีงาน	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 26 26 26 26 26 27 27 27 28 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 32 32 32 32 33 33 34 34 34 34 35 35 35 35

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 8 8 8 8 8 9 9 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 12 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 19 19 20 20 20 20 21 21 21 22 22 22 22 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 1 1 1 1 1 2 2 3 3 3 3 4 4 4 5 5 5 5 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 9 9 9 9 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 17 17 17 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 24 24 25 25 26 26 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 34 34 35 35 35 35 35 35 35 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 35 35

ตารางที่ ข.75 ผลลัพธ์ของขั้นงานที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ขั้นงานที่รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 4849 (ต่อ)

ตำแหน่งสถานีงาน (ต่อ)	1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 5 5 5 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 8 8 8 8 8 9 9 10 10 10 11 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 13 13 13 13 13 14 14 14 14 14 14 14 14 14 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 16 16 17 17 17 17 18 18 18 18 18 18 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 23 23 24 24 24 24 24 24 25 25 25 25 26 26 26 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 31 31 31 31 31 32 32 32 32 32 32 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35
	1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4 4 4 4 4 5 5 5 5 5 5 6 6 6 6 6 6 6 7 7 7 7 7 8 8 8 8 9 9 9 10 10 10 10 10 10 10 10 11 11 11 11 11 11 12 12 12 12 13 13 13 13 14 14 14 14 15 15 15 15 15 15 15 15 16 16 16 16 16 16 17 17 18 18 19 19 19 19 19 19 19 19 19 20 20 20 21 21 21 21 21 22 22 22 22 22 23 23 23 23 23 23 24 24 24 24 24 25 25 25 26 26 26 26 27 27 27 27 27 27 27 28 28 28 28 28 29 29 29 29 29 29 29 29 30 30 30 30 30 30 30 30 31 31 31 32 32 32 32 32 33 33 33 34 34 34 34 34 35 35 35 35 35 35 35 36 36 36 36 36 37 37 37 37 37 37 37 37 38 38
จำนวนสถานีงาน	1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 1 2 1 1 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 1 1 1 1 1
	1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 2 1 1 1 1 2 1 1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1
	1 1 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2 2 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 1 2

ภาคผนวก ค
การคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะและตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ค

การคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะและตัวอย่าง

1. ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ

ทำการคำนวณหาค่าตัวชี้วัด 3 ตัวที่ใช้ในการวัดสมรรถนะของพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม NSGA-II กับพารามิเตอร์ที่ใช้หาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค และกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดในแต่ละอัลกอริทึม โดยใช้โปรแกรม MATLAB R2009a ในการค้นหาคำตอบ มีขั้นตอนการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ทำการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal) จากกลุ่มคำตอบที่หาได้ทั้งหมดที่จะทำการหากลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (ในตัวอย่างนี้จะแสดงวิธีการคำนวณการหาค่าพารามิเตอร์ของอัลกอริทึม NSGA-II)

ตารางที่ ค.1 กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal)

กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ที่แท้จริงตัวที่	$f_1(x)$	$f_2(x)$
1	0.0447	0.4888
2	0.0475	0.4063
3	0.0514	0.3750
4	0.0522	0.3611
5	0.0564	0.3150
6	0.0782	0.2250
7	0.1184	0.2014
8	0.1283	0.1910

ขั้นตอนที่ 2 ทำการหาค่าตัวชี้วัดจากกลุ่มคำตอบที่ได้ดังตารางที่ ค.2 ในทั้ง 3 ตัวชี้วัดโดยมีขั้นตอนดังนี้

ตารางที่ ค.2 กลุ่มคำตอบที่หาได้ (Obtained Pareto Optimal)

กลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่	$f_1(x)$	$f_2(x)$
1	0.0463	0.4088
2	0.0522	0.3611
3	0.0575	0.2500
4	0.0890	0.2020
5	0.1184	0.2014

1.1 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to The Pareto-Optimal Set)

$$Convergence = \frac{1}{|S^*|} \ : \ d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}\right]^2} \qquad \text{(ค.1)}$$

ซึ่ง S^* คือเซตคำตอบที่แท้จริง

$f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ที่มีค่ามากที่สุดและน้อยที่สุดตามลำดับ

x คือคำตอบที่หาได้ในกลุ่มคำตอบที่หาได้

y คือคำตอบที่แท้จริงในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

d_{xy} เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้

k คือจำนวนฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่หาได้กับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์ จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นเป็นกลุ่มคำตอบที่ลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีวิธีการคำนวณค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการหาค่า $f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มคำตอบที่หาได้กับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงจากตารางที่ ค.1 และ ค.2

วัตถุประสงค์ที่ 1 : $f_1^{\max} = 0.1283$ และ $f_1^{\min} = 0.0447$

วัตถุประสงค์ที่ 2 : $f_2^{\max} = 0.4888$ และ $f_2^{\min} = 0.1910$

ขั้นที่ 2 ทำการคำนวณหาระยะทางของคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์โดยใช้สมการที่ (ค.1) ดังนี้

การคำนวณจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 จากสูตร $\left[\frac{f_i(x)-f_i(y)}{f_i^{\max}-f_i^{\min}}\right]^2$

ระยะทางของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 1 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1

$$\left[\frac{0.0463-0.0447}{0.1283-0.0447}\right]^2 = 0.0004$$

ระยะทางของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 2 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1

$$\left[\frac{0.0463-0.0475}{0.1283-0.0447}\right]^2 = 0.0002$$

ระยะทางของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 3 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1

$$\left[\frac{0.0463-0.0514}{0.1283-0.0447}\right]^2 = 0.0037$$

หาจนครบทุกตัวจะได้ดังนี้

ตารางที่ ค.3 การคำนวณหาระยะทางของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1

กลุ่มคำตอบที่หาได้	กลุ่มคำตอบที่หาได้				
	1	2	3	4	5
1	*0.0004*	0.0080	0.0234	0.2808	0.7772
2	0.0002	0.0032	0.0143	0.2464	0.7193
3	0.0037	0.0001	0.0053	0.2023	0.6423
4	0.0050	0.0000	0.0040	0.1938	0.6271
5	0.0146	0.0025	0.0002	0.1521	0.5500
6	0.1456	0.0967	0.0613	0.0167	0.2312
7	0.7438	0.6271	0.5307	0.1237	0.0000
8	0.9621	0.8286	0.7172	0.2210	0.0140

การคำนวณจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 2 จากสูตร $\left[\frac{f_i(x)-f_i(y)}{f_i^{\max}-f_i^{\min}}\right]^2$ ได้ดังนี้

ตารางที่ ค.4 การคำนวณหาระยะทางของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 2

กลุ่มคำตอบที่หาได้	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง				
	1	2	3	4	5
1	*0.0722*	0.1839	0.6430	0.9275	0.9314
2	0.0001	0.0230	0.2755	0.4706	0.4734
3	0.0129	0.0022	0.1762	0.3375	0.3398
4	0.0257	0.0000	0.1392	0.2854	0.2876
5	0.0992	0.0240	0.0476	0.1440	0.1455
6	0.3809	0.2089	0.0070	0.0060	0.0063
7	0.4850	0.2876	0.0266	0.0000	0.0000
8	0.5349	0.3263	0.0393	0.0014	0.0012

การคำนวณ $d_{xy}=\sqrt{\sum_{i=1}^{k}\left[\frac{f_i(x)-f_i(y)}{f_i^{\max}-f_i^{\min}}\right]^2}$ จากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2

ระยะทางจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 1 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1 $=\sqrt{(0.0004+0.0722)}=0.2693$

ระยะทางจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 2 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 2 $=\sqrt{(0.0002+0.0001)}=0.0166$

ระยะทางจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มคำตอบที่หาได้ตัวที่ 3 กับ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 3 $=\sqrt{(0.0037+0.0129)}=0.1289$

หาจนครบทุกตัวจะได้ดังนี้

ตารางที่ ค.5 การคำนวณหาระยะทางของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2

กลุ่มคำตอบที่หาได้	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง					ระยะทางที่มีค่าน้อยที่สุด
	1	2	3	4	5	
1	0.2693	0.4381	0.8164	1.0992	1.3071	0.2693
2	0.0166	0.1619	0.5383	0.8468	1.0921	0.0166
3	0.1289	0.0476	0.4260	0.7347	0.9910	0.0476
4	0.1750	0.0000	0.3784	0.6922	0.9564	0.0000
5	0.3374	0.1628	0.2187	0.5441	0.8340	0.1628
6	0.7256	0.5528	0.2615	0.1505	0.4873	0.1505
7	1.1085	0.9564	0.7465	0.3517	0.0000	0.0000
8	1.2235	1.0747	0.8698	0.4715	0.1235	0.1235
ผลรวม						0.7703
ค่าเฉลี่ย						**0.0964**

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงจะมีค่าเท่ากับค่าเฉลี่ยที่น้อยที่สุดที่หาได้คือ 0.0964

1.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to The Pareto-Optimal Set)

$$Spread = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} \left| d_i - \overline{d} \right|}{d_f + d_l + (N-1)\overline{d}} \qquad \text{(ค.2)}$$

ซึ่ง d_f และ d_l เป็นระยะห่างของคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน

d_i เป็นระยะของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน ในเซตคำตอบที่ดีที่สุดที่หาได้

$\overline{d}$ เป็นค่าเฉลี่ยของระยะห่าง

N เป็นจำนวนคำตอบที่หา

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการวัดการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ใกล้กัน ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ศูนย์จะถือว่ากลุ่มคำตอบอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่มีลักษณะการกระจายที่มีลักษณะสม่ำเสมอตลอดเส้นขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดมีวิธีการคำนวณค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการหาค่า $f_i^{\max}$ และ $f_i^{\min}$ ของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 ของกลุ่มคำตอบที่หาได้กับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงจากตารางที่ ค.1 รวมกับ ค.2

วัตถุประสงค์ที่ 1 : $f_1^{\max} = 0.1283$ และ $f_1^{\min} = 0.0447$

วัตถุประสงค์ที่ 2 : $f_2^{\max} = 0.4888$ และ $f_2^{\min} = 0.1910$

ขั้นที่ 2 ทำการคำนวณระยะทางของคำตอบที่อยู่ใกล้กันของกลุ่มที่หาได้

หาระยะทางของกลุ่มคำตอบที่หาได้ระหว่างตัวที่ 1 และตัวที่ 2

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 : $\left(\frac{0.0447 - 0.0475}{0.1283 - 0.0447}\right)^2 = 0.1910$

ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 2 : $\left(\frac{0.4888 - 0.4063}{0.4888 - 0.1910}\right)^2 = 0.0767$

ดังนั้นระยะทางระหว่างฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 กับ 2 คำตอบเท่ากับ $\sqrt{(0.0011 + 0.0767)} = 0.2790$

ทำการหาระยะทางของกลุ่มคำตอบที่หาได้ทั้งหมดดังนี้

ตารางที่ ค.6 การคำนวณหาระยะทางของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2

ตัวที่	กลุ่มคำตอบที่หาได้		Normalized		ระยะทางระหว่างจุดสองจุดที่ใกล้เคียงกัน	
	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$		
1	0.0447	0.4888	0.0011	0.0767	$d_1 = d_f$	0.2790
2	0.0475	0.4063	0.0022	0.0110	d_2	0.1150
3	0.0514	0.3750	0.0001	0.0022	d_3	0.0476
4	0.0522	0.3611	0.0025	0.0240	d_4	0.1628
5	0.0564	0.3150	0.0680	0.0913	d_5	0.3992
6	0.0782	0.2250	0.2312	0.0063	d_6	0.4873
7	0.1184	0.2014	0.0140	0.0012	$d_7 = d_l$	0.1235
8	0.1283	0.1910	$\bar{d}$			0.2306

ตารางที่ ค.7 ตารางการคำนวณระยะทาง

ตัวที่	d_i	$d_i - \bar{d}$	$\left\|d_i - \bar{d}\right\|$
1	0.2790	0.0484	0.0484
2	0.1150	-0.1156	0.1156
3	0.0476	-0.1830	0.1830
4	0.1628	-0.0679	0.0679
5	0.3992	0.1685	0.1685
6	0.4873	0.2567	0.2567
7	0.1235	-0.1072	0.1072

ดังนั้นการกระจายของกลุ่มคำตอบจะมีค่าเท่ากับ

ค่า $\sum_{i=1}^{N-1}\left|d_i - \bar{d}\right| = 0.9473$

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

$$= \frac{0.2790 + 0.1235 + 0.9473}{0.2790 + 0.1235 + (8-1)(0.2306)}$$

$$= 0.6693$$

1.3 **ตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง** (Ratio of Non-Dominated Solution)

$$Ratio = \frac{\left|S_j - \left\{x \in S_j \mid \exists y \in S : y \prec x\right\}\right|}{\left|S_j\right|} \qquad (ค.3)$$

ซึ่ง S_j เป็นเซตคำตอบที่ j

S เป็นการรวมกันของ j เซตคำตอบ

x คือคำตอบที่หาได้ในกลุ่มคำตอบที่หาได้

y คือคำตอบที่แท้จริงในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง เป็นการเปรียบเทียบจำนวนของคำตอบที่ได้ที่อยู่ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง ถ้าค่าตัวสมรรถนะชนิดนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้จากอัลกอริทึมนั้นจะมีคำตอบที่สามารถเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีวิธีการคำนวณค่าดังนี้

ขั้นที่ 1 ทำการเปรียบเทียบคำตอบที่หาได้กับคำตอบที่แท้จริงถ้าคำตอบที่ได้เทียบเท่ากับคำตอบที่แท้จริงในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2

ถ้าคำตอบที่ได้มีค่าเท่ากันให้มีค่าเท่ากับ 1

ถ้าคำตอบที่ได้มีค่าไม่เท่ากันให้มีค่าเท่ากับ 0

ตารางที่ ค.8 ตารางการคำนวณอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบ

ตัวที่	กลุ่มคำตอบที่หาได้	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง					ผลรวม
		1	2	3	4	5	
		0.0463	0.0522	0.0575	0.0890	0.1184	
		0.4088	0.3611	0.2500	0.2020	0.2014	
1	0.0447	0	0	0	0	0	0
	0.4888						
2	0.0475	0	0	0	0	0	0
	0.4063						
3	0.0514	0	0	0	0	0	0
	0.3750						
4	0.0522	0	0	0	0	0	0
	0.3611						
5	0.0564	0	0	0	0	0	0
	0.3150						
6	0.0782	0	0	0	0	0	0
	0.2250						
7	0.1184	0	0	0	0	1	1
	0.2014						
8	0.1283	0	0	0	0	0	0
	0.1910						
ผลรวม							1
อัตราส่วนของกลุ่มคำตอบ							**0.1250**

ขั้นที่ 2 ทำการหาอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาคือนำผลรวมที่ได้มาหารด้วยจำนวนคำตอบที่หาได้จะมีค่าเท่ากับ $1/8 = 0.1250$

ดังนั้นการวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริงจะมีค่าเท่ากับ 0.1250

2. ผลการทดลองหาค่าพารามิเตอร์

2.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในอัลกอริทึม NSGA-II

ในการทดลองได้ทำการทดลอง นั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาทั้งหมด 2 ปัจจัย และในแต่ละปัจจัยจะมีระดับปัจจัยไม่เท่ากัน โดยมีค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 ตัวเป็นตัวแปรตอบสนองในการทดลอง ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำของการทดลอง (Replication) เท่ากับ 2 ปัญหาการทดลองมีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ 11, 25, 61, 111 และ 205 ขั้นงาน โดยมีปัจจัยที่ใช้ดังนี้

ตารางที่ ค.9 รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย	ระดับปัจจัย
1. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	4	ระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.6 ระดับที่ 2 มีค่าเท่ากับ 0.7 ระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.8 ระดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.9
2. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	4	ระดับที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.1 ระดับที่ 3 มีค่าเท่ากับ 0.2 ระดับที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0.3 ระดับที่ 5 มีค่าเท่ากับ 0.4

ในการทดลองอัลกอริทึม NSGA-II ได้ผลการทดลองดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.1.1 ปัญหา 11 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.10 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.1768	0.0964
2	0.6	0.2	0.3630	0.1095
3	0.6	0.3	0.1356	0.1708
4	0.6	0.4	0.2717	0.2157
5	0.7	0.1	0.1909	0.1752
6	0.7	0.2	0.1869	0.2038
7	0.7	0.3	0.0874	0.3234
8	0.7	0.4	0.1731	0.0767
9	0.8	0.1	0.2157	0.0916
10	0.8	0.2	0.1940	0.2745
11	0.8	0.3	0.0799	0.2067
12	0.8	0.4	0.2150	0.2461
13	0.9	0.1	0.8617	0.0942
14	0.9	0.2	0.1071	0.2033
15	0.9	0.3	0.1314	0.1930
16	0.9	0.4	0.1566	0.1840

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.8084	0.4426
2	0.6	0.2	1	0.6354

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.11 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
3	0.6	0.3	0.7516	0.9728
4	0.6	0.4	1	0.5179
5	0.7	0.1	0.8617	0.7786
6	0.7	0.2	0.6050	0.8033
7	0.7	0.3	0.5458	0.7500
8	0.7	0.4	0.7549	0.3695
9	0.8	0.1	0.5179	0.7503
10	0.8	0.2	0.6119	0.9141
11	0.8	0.3	0.5689	0.6041
12	0.8	0.4	0.8268	0.9312
13	0.9	0.1	0.2500	0.5915
14	0.9	0.2	0.8367	0.6695
15	0.9	0.3	0.5956	0.6425
16	0.9	0.4	0.6701	0.5232

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.6667	0.8000
2	0.6	0.2	0.3333	1
3	0.6	0.3	0.7500	0.7500
4	0.6	0.4	1	1
5	0.7	0.1	0.2500	0.2500
6	0.7	0.2	0.7500	1
7	0.7	0.3	0.8000	0.5000
8	0.7	0.4	1	0.8000
9	0.8	0.1	1	0.5000

ตารางที่ ค.12 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	0.8	0.2	0.7500	1
11	0.8	0.3	0.8000	1
12	0.8	0.4	0.7500	1
13	0.9	0.1	0	0.8000
14	0.9	0.2	0.5000	0.7500
15	0.9	0.3	1	0.5000
16	0.9	0.4	0.6000	1

2.1.2 ปัญหา 25 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.0806	0.0876
2	0.6	0.2	0.0751	0.0652
3	0.6	0.3	0.0820	0.06723
4	0.6	0.4	0.0749	0.0446
5	0.7	0.1	0.1291	0.2436
6	0.7	0.2	0.0865	0.0865
7	0.7	0.3	0.0518	0.05213
8	0.7	0.4	0.1484	0.2654
9	0.8	0.1	0.0537	0.0512
10	0.8	0.2	0.1264	0.1232
11	0.8	0.3	0.1137	0.1387
12	0.8	0.4	0.0636	0.0680
13	0.9	0.1	0.0720	0.0728

ตารางที่ ค.13 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
14	0.9	0.2	0.0797	0.0644
15	0.9	0.3	0.1237	0.1370
16	0.9	0.4	0.0885	0.0912

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.14 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.6614	0.5164
2	0.6	0.2	0.8140	0.7623
3	0.6	0.3	0.5967	0.1524
4	0.6	0.4	1.0072	1.0072
5	0.7	0.1	0.6190	0.6109
6	0.7	0.2	0.7895	0.6375
7	0.7	0.3	0.7166	0.7342
8	0.7	0.4	0.6526	0.3648
9	0.8	0.1	0.7826	0.64412
10	0.8	0.2	0.6074	0.3553
11	0.8	0.3	0.7302	0.4735
12	0.8	0.4	0.7263	0.7735
13	0.9	0.1	0.8237	0.84563
14	0.9	0.2	0.7707	0.8240
15	0.9	0.3	0.6439	0.55421
16	0.9	0.4	0.7738	0.2546

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.15 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0	0
2	0.6	0.2	0	0
3	0.6	0.3	0	0
4	0.6	0.4	0.1250	0.1250
5	0.7	0.1	0	0
6	0.7	0.2	0	0
7	0.7	0.3	0.3333	0.3333
8	0.7	0.4	0	0
9	0.8	0.1	0.1250	0.1250
10	0.8	0.2	0.1111	0.1111
11	0.8	0.3	0	0
12	0.8	0.4	0.1429	0.1429
13	0.9	0.1	0	0
14	0.9	0.2	0	0
15	0.9	0.3	0	0
16	0.9	0.4	0	0

2.1.3 ปัญหา 61 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.16 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.1688	0.1110
2	0.6	0.2	0.1068	0.1049
3	0.6	0.3	0.1049	0.1062

ตารางที่ ค.16 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
4	0.6	0.4	0.1191	0.1240
5	0.7	0.1	0.1846	0.1201
6	0.7	0.2	0.1292	0.1124
7	0.7	0.3	0.1919	0.0137
8	0.7	0.4	0.1344	0.0146
9	0.8	0.1	0.1257	0.0092
10	0.8	0.2	0.1270	0.0092
11	0.8	0.3	0.0820	0.0018
12	0.8	0.4	0.1394	0.0076
13	0.9	0.1	0.1313	0.0132
14	0.9	0.2	0.1900	0.0332
15	0.9	0.3	0.1269	0.0113
16	0.9	0.4	0.1878	0.0118

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.17 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.6387	0.5372
2	0.6	0.2	0.4216	0.3424
3	0.6	0.3	0.4475	0.2542
4	0.6	0.4	0.4091	0.65324
5	0.7	0.1	0.6452	0.2411
6	0.7	0.2	0.6543	0.56735
7	0.7	0.3	0.6821	0.37625
8	0.7	0.4	0.7054	0.7110
9	0.8	0.1	0.8090	0.7988

ตารางที่ ค.17 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
10	0.8	0.2	0.8103	0.7954
11	0.8	0.3	0.9536	0.8732
12	0.8	0.4	0.8103	0.9872
13	0.9	0.1	0.6898	0.7254
14	0.9	0.2	0.6154	0.6615
15	0.9	0.3	0.8366	0.86667
16	0.9	0.4	0.6386	0.9263

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.18 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0	0.1000
2	0.6	0.2	0.2500	0
3	0.6	0.3	0.2500	0
4	0.6	0.4	0.1667	0
5	0.7	0.1	0.1667	0.3000
6	0.7	0.2	0.5000	0.7000
7	0.7	0.3	0	0
8	0.7	0.4	0.3333	0.3333
9	0.8	0.1	0.2000	0.2000
10	0.8	0.2	0.2000	0.2000
11	0.8	0.3	0.1250	0.1000
12	0.8	0.4	0.1667	0.2000
13	0.9	0.1	0.3333	0.1111
14	0.9	0.2	0	0
15	0.9	0.3	0.2000	0
16	0.9	0.4	0	0

2.1.3 ปัญหา 111 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.19 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.1357	0.124
2	0.6	0.2	0.0942	0.0934
3	0.6	0.3	0.0898	0.0813
4	0.6	0.4	0.0851	0.0811
5	0.7	0.1	0.1426	0.1227
6	0.7	0.2	0.074	0.0719
7	0.7	0.3	0.1903	0.1498
8	0.7	0.4	0.1238	0.1319
9	0.8	0.1	0.1396	0.1502
10	0.8	0.2	0.1407	0.1498
11	0.8	0.3	0.0724	0.0711
12	0.8	0.4	0.0674	0.0608
13	0.9	0.1	0.0797	0.0712
14	0.9	0.2	0.1035	0.1106
15	0.9	0.3	0.1136	0.1144
16	0.9	0.4	0.0839	0.0716

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.20 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.7318	0.6738
2	0.6	0.2	0.8221	0.8812
3	0.6	0.3	0.9242	0.7669

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.20 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
4	0.6	0.4	0.7727	0.3421
5	0.7	0.1	0.7394	0.887
6	0.7	0.2	0.9001	0.8889
7	0.7	0.3	0.5724	0.4523
8	0.7	0.4	0.6791	0.7661
9	0.8	0.1	0.4233	0.3321
10	0.8	0.2	0.5661	0.6321
11	0.8	0.3	0.9212	0.900
12	0.8	0.4	0.8808	0.788
13	0.9	0.1	0.9603	0.990
14	0.9	0.2	0.8372	0.811
15	0.9	0.3	0.7702	0.9976
16	0.9	0.4	0.7835	0.8108

3. **ตัวชี้วัด** Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.21 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0	0.001
2	0.6	0.2	0	0.0023
3	0.6	0.3	0	0.0221
4	0.6	0.4	0	0.005
5	0.7	0.1	0.1667	0.200
6	0.7	0.2	0.200	0.400
7	0.7	0.3	0.1429	0.300
8	0.7	0.4	0.1667	0.211
9	0.8	0.1	0.1429	0.133
10	0.8	0.2	0	0.100
11	0.8	0.3	0	0.004

ตารางที่ ค.21 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
12	0.8	0.4	0	0.0006
13	0.9	0.1	0	0.0059
14	0.9	0.2	0.1429	0.322
15	0.9	0.3	0	0.011
16	0.9	0.4	0	0

2.1.5 ปัญหา 205 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.22 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.0777	0.0766
2	0.6	0.2	0.0633	0.0773
3	0.6	0.3	0.0835	0.854
4	0.6	0.4	0.0501	0.413
5	0.7	0.1	0.1132	0.1522
6	0.7	0.2	0.0837	0.0887
7	0.7	0.3	0.1246	0.1121
8	0.7	0.4	0.0644	0.0677
9	0.8	0.1	0.0838	0.0821
10	0.8	0.2	0.0634	0.0762
11	0.8	0.3	0.0476	0.0541
12	0.8	0.4	0.0424	0.0342
13	0.9	0.1	0.0431	0.0444
14	0.9	0.2	0.0411	0.0333

ตารางที่ ค.22 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในอัลกอริทึม NSGA-II (ต่อ)

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
15	0.9	0.3	0.0302	0.0202
16	0.9	0.4	0.0474	0.0542

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.23 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.7318	0.7787
2	0.6	0.2	0.8221	0.9911
3	0.6	0.3	0.9242	0.9881
4	0.6	0.4	0.7727	0.0771
5	0.7	0.1	0.7543	0.7745
6	0.7	0.2	0.9001	0.8999
7	0.7	0.3	0.5724	0.5645
8	0.7	0.4	0.6791	0.6784
9	0.8	0.1	0.4233	0.4121
10	0.8	0.2	0.5661	0.5661
11	0.8	0.3	0.9212	0.9888
12	0.8	0.4	0.8808	0.8877
13	0.9	0.1	0.9603	0.9886
14	0.9	0.2	0.8372	0.8332
15	0.9	0.3	0.7702	0.7754
16	0.9	0.4	0.7835	0.7987

3. **ตัวชี้วัด** Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.24 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในอัลกอริทึม NSGA-II

ลำดับ	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	0.6	0.1	0.2857	0.3001
2	0.6	0.2	0.500	0.500
3	0.6	0.3	0.2857	0.2878
4	0.6	0.4	0.4444	0.500
5	0.7	0.1	0	0
6	0.7	0.2	0.1667	0.1675
7	0.7	0.3	0.600	0.500
8	0.7	0.4	0.2857	0.2887
9	0.8	0.1	0.3333	0.2222
10	0.8	0.2	0.2857	0.3333
11	0.8	0.3	0.25	0.25
12	0.8	0.4	0.25	0.25
13	0.9	0.1	0.2857	0.2787
14	0.9	0.2	0.5714	0.500
15	0.9	0.3	0.5714	0.500
16	0.9	0.4	0.2857	0.3343

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 **พารามิเตอร์ที่ใช้ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค**

ในการทดลองได้ทำการทดลอง นั้นมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องจะมีระดับปัจจัยไม่เท่ากันทำการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยทำการทดลองหาจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง โดยมีค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 ตัวเป็นตัวแปรตอบสนองในการทดลอง ในแต่ละการทดลองจะทำซ้ำของการทดลอง (Replication) เท่ากับ 2 ปัญหาการทดลองมีทั้งหมด 5 ปัญหา คือ 11, 25, 61, 111 และ 205 ขั้นงาน โดยมีปัจจัยที่ใช้ดังนี้

ตารางที่ ค.25 รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาค	สตริงคำตอบ
4	25	100
5	20	100
10	10	100

ในการทดลองการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคได้ผลการทดลองดังนี้

2.2.1 ปัญหา 11 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.26 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.1688	0.1110
2	5	20	0.1068	0.1049
3	10	10	0.1049	0.1062

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.27 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.6387	0.5372
2	5	20	0.4216	0.3424
3	10	10	0.4475	0.2542

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.28 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0	0.1000
2	5	20	0.2500	0
3	10	10	0.2500	0

2.2.2 ปัญหา 25 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.29 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.9230	0.9321
2	5	20	1.0234	1.0345
3	10	10	0.5373	0.6342

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.30 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.6958	0.6958
2	5	20	0.6680	0.6680
3	10	10	0.7763	0.7763

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.31 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0	0
2	5	20	0	0
3	10	10	0	0

2.2.3 ปัญหา 61 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.32 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.4976	0.4976
2	5	20	0.1641	0.4018
3	10	10	0.3469	0.3024

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.33 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.5771	0.5771
2	5	20	0.8203	0.5553
3	10	10	0.6449	0.7572

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.34 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0	0
2	5	20	0	0.0476
3	10	10	0.1304	0

2.2.4 ปัญหา 111 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.35 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.1897	0.2818
2	5	20	0.4731	0.4731
3	10	10	0.2766	0.1738

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.36 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.5482	0.7072
2	5	20	0.7105	0.7105
3	10	10	0.7500	0.8104

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.37 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.3333	0
2	5	20	0	0
3	10	10	0	0

2.2.5 ปัญหา 205 ขั้นงาน

1. ตัวชี้วัด Convergence to The Pareto-Optimal Set

ตารางที่ ค.38 ผลการทดลองตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Convergence to the Pareto-optimal set	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.3492	0.3876
2	5	20	0.1273	0.2781
3	10	10	0.754	0.4390

2. ตัวชี้วัด Spread Measurement

ตารางที่ ค.39 ผลการทดลองตัวชี้วัด Spread Measurement ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Spread Measurement	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0.5002	0.7942
2	5	20	0.8231	0.9210
3	10	10	0.520	0.6721

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. **ตัวชี้วัด** Ratio of Non-Dominated Solution

ตารางที่ ค.40 ผลการทดลองตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution ในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค

ลำดับ	จำนวนฝูง	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	Ratio of Non-Dominated Solution	
			ครั้งที่ 1	ครั้งที่ 2
1	4	25	0	0
2	5	20	0	0.0032
3	10	10	0.309	0.2000

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวสุชาดา คิดอ่าน เกิดเมื่อวันที่ 3 กรกฎาคม พ.ศ. 2529 เป็นบุตรของบิดา นายชูชาติ คิดอ่าน และมารดา นางจารุวรรณ คิดอ่าน ซึ่งสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตร์บัณฑิต สาขาวิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ จบการศึกษาปี พ.ศ. 2551 และได้เข้าศึกษาในระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยภายในปีเดียวกัน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย