การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

นางสาวจงกล เอี่ยมมิ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2543
ISBN 974-130-135-9
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING

Miss Jongkol Iammi

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University

Academic Year 2000
ISBN 974-130-135-9

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม
โดย	นางสาวจงกล เอี่ยมมิ
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์จรูญ มหิทธาฟองกุล)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ดำรงค์ ทวีแสงสกุลไทย)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จงกล เอี่ยมมิ : การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 205 หน้า, ISBN 974-130-135-9.

สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมเป็นสายการประกอบที่สามารถผลิตสินค้าต่างชนิดพร้อมๆกันได้ในสายการผลิตเดียวกัน การจัดสมดุลสายการผลิตจึงเป็นสิ่งที่สำคัญสำหรับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมอย่างมาก ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้เสนอแนวทางในการนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึม(Genetic Algorithms: GAs) มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดและเกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุดด้วย นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและทดสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมซึ่งได้แก่ ขนาดประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น แล้วนำพารามิเตอร์ที่ได้ไปแก้ปัญหาตัวอย่างของการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสม

จากงานวิจัยนี้พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมคือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น ดังนั้นในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้จริงต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งอาจจะนำค่าที่เหมาะสมที่ได้จากการทดลองในงานวิจัยนี้เป็นแนวทางเบื้องต้นได้ ผลจากการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม กับวิธีการของ COMSOAL พบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมจะให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า ซึ่งสามารถสรุปได้ว่าเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีประสิทธิภาพ และสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดให้ได้

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต .....
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....
ปีการศึกษา 2543	ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม .....

4270239521: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORD: GENETIC ALGORITHMS / MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING

JONGKOL IAMMI: APPLICATION OF GENETIC ALGORITHMS IN MIXED MODEL ASSEMBLY LINE BALANCING. THESIS ADVISOR: ASSIST. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 205 pp. ISBN 974-130-135-9

Mixed model assembly lines are a type of production line where a variety of product models with similar product characteristics are assembled. Line Balancing Problems are important for an efficient use of mixed model assembly lines. This research introduces the use of artificial-intelligence based technique, so-called genetic algorithms (GAs), to solve mixed model assembly line balancing problems. Two important objectives of assembly line balancing problems are considered simultaneously including minimizing number of workstations and minimizing total idle time.

Experimental design are set up to test the significance of several parameters of GA including problem sizes, population sizes, crossover types, probability of cross-over, and probability of mutation. The results show that the factors that significantly affect the performance of GAs are population size, crossover type and probability of mutation. As a result, it is necessary to define appropriate parameters while using GAs. However, the suitable parameters obtained from the research can be used as a guideline in practice. The performance comparison between the proposed GAs and the known heuristic technique (COMSOAL) indicates that GAs performs significantly better than COMSOAL. From the research, it is found that GAs are powerful and efficient method that can search for a good solution within an acceptable time limit.

Department Industrial Engineering Student's signature .....
Field of study Industrial Engineering Advisor's signature .....
Academic year 2000 Co-advisor's signature .....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ ผศ. ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งเป็นผู้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่าง ๆ ในงานวิจัยมาด้วยดีโดยตลอด

ขอขอบพระคุณ คุณชนะ เยี่ยงกมลสิงห์ คุณกรรณิกา ศิลานนท์ คุณพยุง เพชรงาม คุณเจริญพร อึ้งสิทธิพูนพร คุณจรงค์พันธ์ มุสิกะวงศ์ และเพื่อน ๆ ทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือและกำลังใจในการทำงานวิจัยนี้ด้วยดีเสมอมา และเนื่องจากทุนการวิจัยครั้งนี้บางส่วนได้รับมาจากทุนอุดหนุนวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัย จึงขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัยมา ณ ที่นี้ด้วย

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา คุณเพียงใจ เอี่ยมมิซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้ความห่วงใยและกำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา ตลอดจนพี่ ๆ น้อง ๆ ทุกคนที่ให้กำลังใจมาโดยตลอด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญรูป ..... ฐ
สารบัญตาราง ..... ฑ

บทที่ 1 : บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2
1.4 ลักษณะของปัญหา 4
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 7
1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย 7
1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย 8

บทที่ 2 : การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบ 9
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ 12
2.2.1 การใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหา Optimization Problem ต่างๆ 12
2.2.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ 13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการต่างๆของเจนเนติกอัลกอริทึม 15

บทที่ 3 : ทฤษฎีพื้นฐานเกี่ยวกับเจนเนติกอัลกอริทึม

3.1 เจนเนติกอัลกอริทึม 17
3.1.1 พันธุศาสตร์กับเจนเนติกอัลกอริทึม 17
3.1.2 ความหมายของเจนเนติกอัลกอริทึม 19

สารบัญ (ต่อ)

3.2 เจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย 20
3.2.1 การเข้ารหัสและสร้างประชากรอย่างสุ่ม 21
3.2.2 ประชากรรุ่นเก่า 21
3.2.3 การดำเนินการของ SGA 21
3.2.4 ประชากรรุ่นใหม่ 24
3.3 ตัวอย่างการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของฟังก์ชั่น 24
3.4 สรุปท้ายบท 27

บทที่ 4 : ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

4.1 ลักษณะสายงานการประกอบทั่วไป 29
4.2 หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ 32
4.2.1 ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 32
4.2.2 นิยาม 34
4.2.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องรู้ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 35
4.2.4 ขั้นตอนในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ 36
4.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว 37
4.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม 39
4.5 การประเมินประสิทธิภาพสายงานการประกอบ 42
4.5.1 การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิค 42
4.5.2 การประเมินประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ 43
4.6 สรุปท้ายบท 44

บทที่ 5 : เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

5.1 ลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม 45
5.2 โครงสร้างของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหา MMAL 47
5.1.1 โครงสร้างหลัก 47
5.1.2 การทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม 48
5.3 วิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม 51

สารบัญ (ต่อ)

5.3.1 การใส่รหัสคำตอบ (Representation) 51
5.3.2 การสร้างประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating) 52
5.3.3 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding) 55
5.3.4 การประเมินค่า Fitness ของคำตอบ (Evaluation) 57
5.3.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบ (Selection) 58
5.3.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover) 61
5.3.7 การมิวเตชั่น (Mutation) 66
5.3.8 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite Preserve Strategy) 67
5.4 ตัวอย่างการใช้ GAs แก้ปัญหา MMALB 69
5.5 สรุปท้ายบท 80

บทที่ 6 : การทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs

6.1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 82
6.1.1 การระบุปัญหา 82
6.1.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง 83
6.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับปัจจัย 83
6.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมกันของระดับปัจจัย 88
6.2 การออกแบบการทดลอง 89
6.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการจากการทดลอง แต่ละระดับปัจจัย 89
6.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง 89
6.2.3 การเก็บและจัดระบบข้อมูล 91
6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 91
6.3.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน 92
6.3.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน 97
6.3.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน 101
6.3.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน 106
6.4 สรุปผลการทดลอง 114
6.5 สรุปท้ายบท 115

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 7 : การเปรียบเทียบเจนเนติกอัลกอริทึม กับวิธีฮิวริสติก

7.1 ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน 116
7.1.1 การหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม 116
7.1.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 118
7.1.3 การเปรียบเทียบผล 118
7.2 ปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน 119
7.2.1 การหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม 119
7.2.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 121
7.2.3 การเปรียบเทียบผล 122
7.3 ปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน 122
7.3.1 การหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม 122
7.3.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 124
7.3.3 การเปรียบเทียบผล 126
7.4 ปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน 126
7.4.1 การหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม 126
7.4.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL 128
7.4.3 การเปรียบเทียบผล 130
7.5 สรุปท้ายบท 130

บทที่ 8 : สรุป

8.1 สรุปงานวิจัย 131
8.1.1 ลักษณะปัญหา 131
8.1.2 เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายงาน การประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม 132
8.1.3 การทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs 133
8.1.4 ผลการใช้ GAs แก้ปัญหาสายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม 133
8.2 ข้อเสนอแนะ 134

รายการอ้างอิง 135
ภาคผนวก 138

สารบัญ (ต่อ)

ภาคผนวก ก ปัญหา NP-hard 139
ภาคผนวก ข รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง 141
ภาคผนวก ค การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม 152
ภาคผนวก ง ข้อมูลที่ได้จากการรันโปรแกรม 174
ภาคผนวก จ การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test 186
ภาคผนวก ฉ ข้อมูลค่าเฉลี่ย Workload Variance แล ะ No. of Generation 196
ภาคผนวก ช โปรแกรม MMALB 203
ประวัติผู้ทำการวิจัย 205

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูปภาพ

รูปที่ 1.1	ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ก่อนหลังรวม……	5
รูปที่ 3.1	เปรียบเทียบลักษณะระหว่างเจนเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์…….	18
รูปที่ 3.2	ขั้นตอนของ GAs อย่างง่าย……	20
รูปที่ 3.3	การรีโปรดักชั่นอย่างง่ายด้วยวิธีการใช้วงล้อรูลเล็ทที่มีขนาดของแต่ละช่องเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม…….	22
รูปที่ 3.4	การครอสโอเวอร์อย่างง่ายเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสตริงและการแลกเปลี่ยนข่าวสารโดยเลือกตำแหน่งไข้วแบบสุ่ม……	23
รูปที่ 3.5	ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ $f(x) = x^2$……	25
รูปที่ 4.1	แสดงไดอะแกรมสายงานการประกอบ…….	29
รูปที่ 4.2	แผนผังแสดงการจำแนกประเภทปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ…..	32
รูปที่ 4.3	ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน…….	36
รูปที่ 4.4	การสร้างแผนภาพลำดับก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram)	41
รูปที่ 5.1	แผนผังแสดงโครงสร้างและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม……..	50
รูปที่ 5.2	ตัวอย่างเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน……..	53
รูปที่ 5.3	วงล้อรูเล็ต……..	59
รูปที่ 5.4	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน……	70
รูปที่ 5.5	เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ของขั้นงานของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน……...	71
รูปที่ 6.1	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน……..……	84
รูปที่ 6.2	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน…….	85
รูปที่ 6.3	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……..	85
รูปที่ 6.4	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……..	86
รูปที่ 6.5	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด19 ขั้นงาน…….	93
รูปที่ 6.6	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน……..	93 94
รูปที่ 6.7	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน…	94

สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่ 6.8	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Size กับปัจจัย Pc ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน……	94
รูปที่ 6.9	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน……	98
รูปที่ 6.10	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน…	98
รูปที่ 6.11	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population Size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……...	102
รูปที่ 6.12	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……...	102
รูปที่ 6.13	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน…….	103
รูปที่ 6.14	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Sizeกับ PMต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……..	103
รูปที่ 6.15	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……..	104
รูปที่ 6.16	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population Size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……...	108
รูปที่ 6.17	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……...	108
รูปที่ 6.18	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน…	109
รูปที่ 6.19	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Sizeกับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……..	109
รูปที่ 6.20	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……..	110
รูปที่ 6.21	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่า ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……	112
รูปที่ 7.1	ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน…….	117
รูปที่ 7.2	ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน…….	120
รูปที่ 7.3	ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs สำหรับปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……...	123
รูปที่ 7.4	ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs สำหรับปัญหาขนาด 194 ขั้น……..	127

สารบัญตาราง

ตารางที่ 1.1	รายละเอียดของปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการวัดผล…….	3
ตารางที่ 1.2	แสดงเวลาทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์…….	6
ตารางที่ 1.3	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง…….	7
ตารางที่ 3.1	เปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจเนติกอัลกอริทึม……	18
ตารางที่ 3.2	กลุ่มประชากรตัวอย่างและค่าความเหมาะสม……..	22
ตารางที่ 3.3	การคำนวณหาคำตอบของ SGA กับฟังก์ชั่น $f(x) = x^2$……...	25
ตารางที่ 4.1	ตัวอย่างการคำนวณเวลารวมของขั้นงาน…….	40
ตารางที่ 5.1	สตริงคำตอบตัวอย่าง 2 ตัวที่มีการจัดเรียงลำดับงานต่างกันแต่ให้ผลการจัดเหมือนกัน……..	56
ตารางที่ 5.2	ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต……..	59
ตารางที่ 5.3	ตัวอย่างการคัดเลือกด้วยวิธี Tournament Selection…….	60
ตารางที่ 5.4	ตารางการหาเวลาทำงานรวมของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน……	69
ตารางที่ 5.5	การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน…….	72
ตารางที่ 5.6	ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน……	73
ตารางที่ 5.7	ผลการประเมินคาสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน……	73
ตารางที่ 5.8	การสร้างวงล้อรูเล็ต ของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน……	74
ตารางที่ 5.9	ผลการสุ่มเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection…….	74
ตารางที่ 5.10	การเลือกสตริงคำตอบเพื่อนำไปครอสโอเวอร์…….	75
ตารางที่ 5.11	ผลการซ่อมแซมสตริงคำตอบรุ่นลูกได้จากการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1….	76
ตารางที่ 5.12	ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์……..	77
ตารางที่ 5.13	ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์……...	77
ตารางที่ 5.14	ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชั่น…….	78
ตารางที่ 5.15	การหาสตริงคำตอบตัวใหม่จากการมิวเตชั่น……	79
ตารางที่ 5.16	การประเมินค่าสตริงคำตอบภายหลังการมิวเตชั่น……..	80
ตารางที่ 6.1	รายละเอียดและข้อกำหนดเบื้องต้นปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง……..	83
ตารางที่ 6.2	แสดงรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา…….	90
ตารางที่ 6.3	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง……..	92
ตารางที่ 6.4	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ เป็นค่าตอบตอบสนอง……..	96

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง…….. 97

ตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง…….. 100

ตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง……. 101

ตารางที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ เป็นค่าตอบตอบสนอง……... 106

ตารางที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง…….. 107

ตารางที่ 6.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง……. 111

ตารางที่ 6.11 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs…….. 114

ตารางที่ 7.1 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน…. 117

ตารางที่ 7.2 ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงานที่ได้จากวิธี GAs…….. 118

ตารางที่ 7.3 ผลการจัดสมดุลสายงานประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง ขนาด 19 ขั้นงานโดยวิธี COMSOAL…….. 118

ตารางที่ 7.4 ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL…… 118

ตารางที่ 7.5 แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน…… 119

ตารางที่ 7.6 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน…. 120

ตารางที่ 7.7 ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs…… 121

ตารางที่ 7.8 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน……. 121

ตารางที่ 7.9 ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL…… 121

ตารางที่ 7.10 แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน…… 122

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 7.11	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……..ค่า	123
ตารางที่ 7.12	Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs……	124
ตารางที่ 7.13	ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน……...	125
ตารางที่ 7.14	ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL……	125
ตารางที่ 7.15	แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 114ขั้นงาน……...	126
ตารางที่ 7.16	ผลการการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAsของปัญหา ขนาด 194 ขั้นงาน…….	127
ตารางที่ 7.17	ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs……	128
ตารางที่ 7.18	ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน……...	129
ตารางที่ 7.19	ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL……	129
ตารางที่ 7.20	แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL สำหรับปัญหาขนาด 194ขั้นงาน……...	130

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

เนื่องจากในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันในด้านการผลิต เพื่อตอบสนองความต้องการของตลาดเป็นอย่างมากอีกทั้งความต้องการของลูกค้ามีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นสายการผลิตแบบผสมจึงมีความสำคัญมากขึ้นเนื่องจากสามารถที่จะผลิตสินค้าต่างรุ่นพร้อมๆ กันได้ในสายการผลิตเดียวกัน ซึ่งจะตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทั้งในรูปแบบและปริมาณสินค้าในช่วงระยะเวลาการผลิตหนึ่ง ๆโดยไม่จำเป็นต้องมีสินค้าเก็บไว้ในคลังสินค้าเป็นจำนวนมาก

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมจึงเป็นปัญหาที่สำคัญมากปัญหา หนึ่งเนื่องจากการผลิตสินค้าต่างชนิดพร้อมๆกันในสายการผลิตเดียวกันอาจก่อให้เกิดปัญหาในเรื่องความสมดุลในการทำงานของสถานีงาน (Work station) เนื่องจากขั้นงาน (Work element)แต่ละขั้นของแต่ละผลิตภัณฑ์ใช้เวลาในการทำงานไม่เท่ากัน เมื่อนำมารวมกลุ่มและจัดให้สถานีทำงาน จะทำให้เวลาทำงานในแต่ละสถานีงานไม่เท่ากัน ส่งผลให้เกิดความไม่ต่อเนื่องในระบบการผลิต ดังนั้นเพื่อให้สายงานการประกอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น จึงต้องแก้ปัญหาดังกล่าวโดยการจัดสมดุลสายการผลิต (Line Balancing)

ลักษณะปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมเป็นปัญหา NP-Hard แบบ Combinatorial Optimization (Boh, 1996) หมายถึงปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานและเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กโปเนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น ในอดีตการแก้ปัญหาดังกล่าวสามารถทำได้โดยวิธีการคณิตศาสตร์ เช่น Stephen and Carlos (1970) ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผสมโดยวิธีทางด้านMathematics กับสายการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดมีขั้นงานทั้งหมด 16 ขั้นงาน ต้องใช้ตัวแปรถึง 126 ตัว และข้อจำกัด (Constraint) ถึง 60 ข้อ สรุปได้ว่าการอาศัยวิธีการทางด้านคณิตศาสตร์เหมาะสมที่จะใช้ในทางทฤษฎีเท่านั้น ไม่เหมาะสมที่จะใช้ในทางปฏิบัติ รวมทั้งวิธีการทางด้านฮิวริสติกอื่นๆ เช่น Hoffman Techique และ Rank Position Weight ฯลฯ นอกจากนี้ยังมีการนำเอาคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา (COMSOAL) ทำให้การแก้ปัญหาทำได้ง่ายขึ้น แต่อย่างไรก็ตามเนื่องจากในปัจจุบันนี้อุตสาหกรรมมีการพัฒนามากขึ้นส่งผลให้การออกแบบผลิตภัณฑ์มีรูปแบบที่หลากหลายและขั้นตอนการทำงานก็เพิ่มมากขึ้น การคำนวณโดยวิธีการเดิมจึงทำได้ยากและใช้เวลานานมากขึ้น จึงควรมีการพัฒนาวิธีการใหม่ขึ้นมาใช้แทน

ในปัจจุบันปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence: AI) เข้ามามีบทบาทอย่างมากในการแก้ปัญหาที่ยุ่งยากซับซ้อนต่าง ๆในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งจากการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms:GAs) เป็นวิธีการของ AI อีกวิธีหนึ่งซึ่งสามารถนำมาใช้กับปัญหาในโรงงานที่เป็นปัญหาการหาคำตอบที่ดีที่สุด เช่น การวางผังโรงงาน การจัดลำดับงาน ฯลฯ ได้เป็นอย่างดี

เจนเนติกอัลกอริทึม (Holland, 1975) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetic Selection) โดยการคัดเลือกสตริง (String) ที่มีความเหมาะสมจากกลุ่มของสตริงทั้งหมดด้วยวิธีการสุ่ม และนำสตริงเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกที่เลียนแบบกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติเพื่อหาสตริงที่มีความเหมาะสมในการอยู่รอด ซึ่งสตริงที่มีความเหมาะสมนี้คือคำตอบที่ดีที่สุด หรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด

แม้ปัจจุบันเริ่มมีการนำ GAs เข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ แต่ส่วนใหญ่แล้วจะใช้กับการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้ขยายขอบเขตของการพัฒนาไปสู่ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาผลของการนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบสำหรับการจัดสมดุลของสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของสายงานใหม่ และกำหนดงานให้กับสถานีงานต่าง ๆ ในสายงานการประกอบเท่านั้น

2. ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ที่ทำการศึกษา เป็นแบบการกำหนดอัตราผลผลิตที่ต้องการผลิต เพื่อหาจำนวนสถานีงานที่เหมาะสมและเป็นการจัดกลุ่มงานให้แต่ละสถานีงานโดยมีวัตถุประสงค์ 2 ประการคือ

- เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุด
- เพื่อให้เกิดเวลาว่างของแต่ละสถานีงานน้อยที่สุด

3. นำเอาวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมเข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ

4. พัฒนาโปรแกรมสำหรับใช้ในการออกแบบและจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่มีลักษณะของสายงานดังต่อไปนี้

   - เป็นสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed-Model Assembly Line)
   - เป็นสายงานการประกอบที่มีระบบการผลิตแบบ Flow shop
   - เป็นสายงานการประกอบ ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละงานจะกำหนดเป็นเวลามาตรฐานตามเวลาทำงานของเครื่องจักร
   - เป็นสายงานการประกอบแบบอนุกรม คือแต่ละสถานีทำงานต่อเนื่องกันตามลำดับ ไม่มีสถานีที่ทำงานขนานกัน
   - เป็นสายงานการประกอบที่ไม่มีการจำกัดขนาด Buffer Size ของแต่ละสถานีทำงาน
   - เป็นสายงานการประกอบที่มีระบบการขนถ่ายแบบไม่ต่อเนื่อง

5. การวัดผลจะใช้วิธี Simulation โดยคอมพิวเตอร์ ซึ่งจะทำโดยการนำเอาวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้ทดลองแก้ปัญหากรณีศึกษาจำนวน 4 ปัญหา แล้วเปรียบเทียบคำตอบที่ได้กับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวริสติก (COMSOAL)ซึ่งกรณีศึกษาทั้ง 4 ปัญหามีลักษณะดังนี้

ตารางที่ 1.1 *แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาที่ใช้ในการวัดผล*

กรณีศึกษาที่	จำนวนผลิตภัณฑ์	จำนวนงาน	ความสัมพันธ์ก่อน-หลัง	เวลาทำงาน	จำนวนสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้
1	3	19	กำหนดให้	420 นาที	กำหนดให้
2	3	114	กำหนดให้	420 นาที	กำหนดให้
3	3	194	กำหนดให้	540 นาที	กำหนดให้
4	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์ไม่เกิน 3-5	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์ไม่เกิน 250 งาน	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์

6. การทดสอบความถูกต้องและการประเมินผลของการจัดสมดุลสายการประกอบโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จะอยู่ในรูปของจำนวนสถานีทำงาน และเวลาว่างงานรวมที่เกิดขึ้นในสายการประกอบ

1.4 ลักษณะของปัญหา

1. ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาการกำหนดงาน (Work Element) ให้กับสถานีงานต่าง ๆ ของสายงานการประกอบสายงานใหม่ ซึ่งยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักรใดๆในสถานีการทำงาน ดังนั้นงานต่างๆ จึงสามารถจัดเข้าสถานีทำงานใดๆก็ได้ (ไม่มีข้อจำกัดของ Zoning Restriction)
2. รู้ข้อมูลเข้า (Input) ซึ่งได้แก่ ขั้นการทำงาน (Work Element) เวลาทำงาน (Processing Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นการทำงาน (Precedence Relationships) ของแต่ผลิตภัณฑ์ และระยะเวลาการทำงาน (Period of Time)
3. ทุกสถานีทำงานมีความสามารถในการทำงานเท่ากัน
4. เวลาทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงาน และไม่ขึ้นกับสถานีที่ทำงานนั้นๆ
5. การจัดสมดุลสายงานการประกอบในที่นี้จะทำเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 2 ประการ คือ
   1) เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงาน (n) น้อยที่สุด

$$[W/T]^* \le \text{Minimum } n \le \text{จำนวนสถานีสูงสุดที่ยอมรับได้} \qquad (1.1)$$

   2) เพื่อให้เกิดเวลาว่างรวมน้อยที่สุด

$$\text{Minimize Total Idle Time} = \text{Minimize} \sum_{i}^{n} (T - T_i) \qquad (1.2)$$

   เมื่อ n = จำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดเป็นจำนวนเต็ม

   T = Period of Time

   W = Total Processing Time

   T_I = เวลาทำงานของสถานีที่ I

6. ข้อกำหนดที่ต้องพิจารณาในการแก้ปัญหา มีดังนี้

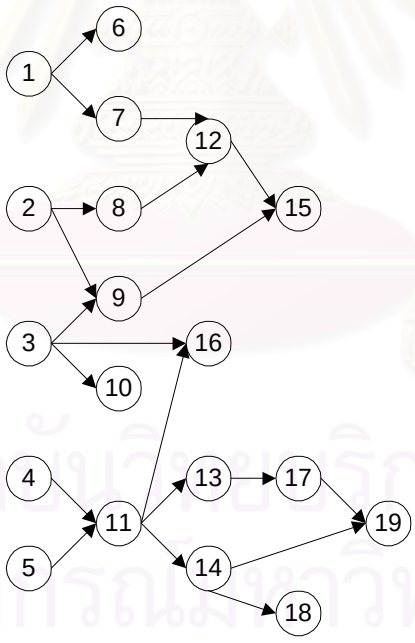
   - แต่ละขั้นงานจะถูกจัดให้กับสถานีงาน 1 สถานีเท่านั้น ไม่สามารถแยกงานไปทำคนละสถานีได้
   - จำนวนสถานีจะเท่ากันสำหรับทุกๆผลิตภัณฑ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- การกำหนดงานให้กับสถานีงานต้องไม่ขัดกับลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของงาน
- ในแต่ละสถานีทำงานสามารถทำงานได้หลายงาน แต่เวลารวมของการทำงานในสถานีทำงานนั้นๆต้องไม่เกินระยะเวลาการทำงาน (Period of Time)
- จำนวนสถานีทั้งหมดในสายงานการประกอบต้องไม่น้อยกว่าจำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ และต้องไม่เกินจำนวนสถานีทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้
- งานทุกงานต้องถูกจัดให้กับสถานีใดสถานีหนึ่งบนสายงานการประกอบ

<u>ตัวอย่างปัญหา</u>

สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ผลิตภัณฑ์ 3 ชนิด ชนิดที่ 1 จำนวน 120 หน่วย ชนิดที่ 2 จำนวน 60 หน่วย และชนิดที่ 3 จำนวน 40 หน่วย ในแต่ช่วงกะเวลา โดยเวลาทำงานต่อกะ 420 นาที โดยมีลำดับความก่อนหลังของขั้นงานแสดงได้ดังรูปที่ 1.1



รูปที่ 1.1 *ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ก่อนหลังรวม*

รายละเอียดของเวลาทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์แสดงได้ดังตารางที่ 1.2

ตารางที่ 1.2 *แสดงเวลาทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์*

ขั้นงาน k	เวลาทำงาน/ผลิตภัณฑ์			เวลารวมทั้งหมด t_k
	$1(t_{1k})$	$2(t_{2k})$	$3(t_{3k})$	
1	0.5	0	1	100
2	0.4	0.8	1.2	144
3	0	0.2	0.4	28
4	0.4	0	0	48
5	0.2	0.2	0.2	44
6	0.2	0	0	24
7	0.4	0.5	0.6	102
8	0	0.5	0.5	50
9	0.4	0.3	0.2	74
10	0	0	0.2	8
11	0.3	0.3	0.3	66
12	0.1	0.3	0.5	50
13	0.1	0	0.1	16
14	0.2	0.2	0.2	44
15	0.7	1	1.5	204
16	0	0.1	0	6
17	0.5	0.5	0	90
18	0.3	0.5	0.3	78
19	0.4	0.3	0	66
รวม	5.1	5.7	7.2	1,242

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ช่วงเวลาทำงานต่อกะ = 420 นาที

จำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุดที่เป็นไปได้ = เวลาทำงานรวมของทุกขั้นงาน / ช่วงเวลาทำงานต่อกะ

= 1242 / 420 = 3 สถานี

จำนวนสถานีงานมากที่สุดที่ยอมรับได้ = 5 สถานี

ตารางที่ 1.3 ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง

สถานีงานที่	งานที่ทำ	เวลารวมของสถานี	เวลาว่าง
1	1,2,3,4,5,8	414	6
2	6,7,9,10,11,13,14,18	412	8
3	12,15,16,17,19	416	4

ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

1. จำนวนสถานีงานที่ต้องการ 3 สถานี
2. ประสิทธิภาพสายงานการประกอบ 95.78%
3. เวลาว่างงานร่วมของสายงานการประกอบ 18 นาที

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีการพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม
2. ลดความยุ่งยากและระยะเวลาในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม
3. เป็นแนวทางในการตัดสินใจจัดสถานีการทำงาน และจัดระบบสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.6 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย

1. ศึกษาทฤษฎีและสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษา Mat Lab
3. สร้าง Algorithm และเขียนโปรแกรม โดยใช้ Mat Lab
4. ทดสอบความถูกต้องและประเมินผลการแก้ปัญหาโดยโปรแกรมที่เขียนขึ้น
5. สรุปผลและวิเคราะห์
6. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย

- **บทที่ 2** งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง กล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม งานวิจัยที่เกี่ยวกับการนำเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้กับปัญหาต่างๆ
- **บทที่ 3** ทฤษฎีเกี่ยวกับเจนเนติกอัลกอริทึม ทั้งในส่วนของทฤษฎีเบื้องต้นซึ่งเป็นพื้นฐานในการนำ GAs ไปแก้ปัญหา Opitmization และทฤษฎีของโอเปอร์เรเตอร์แบบต่างๆของ GAs และตัวอย่างการคำนวณ GAs อย่างง่าย
- **บทที่ 4** ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม
- **บทที่ 5** เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม กล่าวถึงวิธีการของ GAs ที่นำมาใช้ในการจัดสมดุลเพื่อวัตถุประสงค์ให้มีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุดและเกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุดด้วย รวมทั้งกล่าวถึงโอเปอร์เรเตอร์ต่างๆที่ใช้ และวิธีการของโอเปอร์เรเตอร์นั้นๆ พร้อมแสดงตัวอย่างการนำไปใช้แก้ปัญหาตัวอย่าง
- **บทที่ 6** ทดสอบสอบพารามิเตอร์เพื่อหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธี GAs กล่าวถึงการทดลองตามหลักการของ Experiment Design แล้วทำการวิเคราะห์ผลโดยใช้การวิเคราะห์ ANOVA ร่วมกับการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test และหาว่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมควรมีค่าเท่าใด เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ GAs และใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหา
- **บทที่ 7** การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี GAs กับวิธีฮิวริสติก โดยนำพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่หาได้จากการทดลองหาคำตอบจากปัญหาตัวอย่าง 4 ตัวอย่าง แล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคำตอบจากวิธี COMSOAL เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพในการคำตอบดีกว่ากัน
- **บทที่ 8** สรุปและข้อเสนอแนะ กล่าวถึงงานวิจัยทั้งหมดโดยสรุป พร้อมทั้งข้อเสนอแนะ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2
การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในการพัฒนาวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้น เราจำเป็นที่จะต้องศึกษาถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการ ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1.งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบ 2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ
3. งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม

2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำเอาวิธีการทางด้าน Mathematical วิธีฮิวริสติก รวมถึงวิธีการอื่นๆที่ไม่ใช่วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบทั้งแบบผลิตภัณฑ์เดียวและผลิตภัณฑ์ผสม

1. Arcus,1966 ทำการวิจัยและคิดค้นอัลกอริทึมตัวใหม่ที่ใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิต และนำเสนออัลกอริทึมดังกล่าวในรูปของซอฟต์แวร์ที่ชื่อว่า COMSOAL ผลการวิจัยพบว่า COMSOAL สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่มีลักษณะของปัญหาเพิ่มเติมจากปัญหาอย่างง่าย เช่นปัญหาที่มีสถานีทำงานแบบขนาน หรือมีการกำหนดงานเฉพาะให้กับสถานีทำงานบางสถานี ได้เป็นอย่างดี

2. Ghosh และ Gagnon, 1989 ทำการสรุปและวิเคราะห์งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ โดยสรุปเกี่ยวกับผลของงานวิจัย วิธีการ วัตถุประสงค์ในการจัด และองค์ประกอบต่าง ๆ ที่ต้องพิจารณาในการจัด งานวิจัยนี้ได้แบ่งประเภทปัญหาการจัดสมดุลโดยดูจากลักษณะของปัญหาออกเป็น 4 ประเภทคือ SMD, SMS, MMDและ MMS และยกตัวอย่างงานวิจัยได้แบ่งวัตถุประสงค์ในการจัดออกเป็น 2 ส่วนคือ วัตถุประสงค์เชิงเทคนิคและวัตถุประสงค์เชิงเศรษฐศาสตร์ ซึ่งแต่ละส่วนก็มีตัววัดประสิทธิภาพต่าง ๆ กัน นอกจากนี้งานวิจัยยังได้ชี้ให้เห็นวิธีการที่ใช้ในการวัดที่มีประสิทธิภาพคือวิธี COMSOAL, CALB, MALB, NULISP และMUST และยังพบว่าการจัดสมดุลสายการประกอบในความเป็นจริงต้องคำนึงถึงองค์ประกอบ

ต่าง ๆที่เกี่ยวข้อง เช่น ประเภทสายงานการประกอบ กระบวนการผลิตและอุปกรณ์การผลิต สิ่งอำนวยความสะดวกในการผลิตตารางการผลิตเป็นต้น งานวิจัยนี้นับว่าเป็นแหล่งอ้างอิงเกี่ยวกับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่ดีมาก

3. Hoffman, 1990 ทำการทดลองแก้ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบโดยใช้วิธีการฮิวริสติกที่มีอยู่เพื่อศึกษาถึงประสิทธิภาพ โดยใช้ตัวอย่างปัญหาหลายตัวอย่างที่ได้จากงานวิจัยที่มีอยู่ แล้วเปลี่ยนรอบเวลาการผลิตหลายๆค่า เพื่อหาตัวอย่างใหม่ของปัญหาที่มีลักษณะยุ่งยากและท้าทายกว่าเดิม โดยใช้ค่า Total Slack Time เป็นวัตถุประสงค์ในการจัด
4. Thomopoulos, 1967 ทำการศึกษาวิธีการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยได้นำเอาวิธีการจัดสมดุลสายการผลิตผลิตภัณฑ์เดียวมาประยุกต์ใช้ในแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยในงานวิจัยนี้ให้พิจาณาถึงการผลิตทั้งหมดในแต่ละวัน (Daily Basic) หรือในช่วงเวลากะ (Shiftly Basis) แทนที่จะพิจารณาถึงรอบเวลาการผลิต (Cycle Time Basis) ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ 1)ใช้ระยะเวลาที่ทำงานต่อวัน หรือต่อกะแทนรอบเวลาการผลิต 2) แทนเวลาย่อยในแต่ละขั้นงาน ด้วยเวลาทั้งหมดที่ต้องการใช้ทำงานนี้สำหรับทุกๆชิ้นงาน ของทุกๆแบบผลิตภัณฑ์ 3) แผนภาพลำดับก่อนหลังรวม เกิดจากการรวมกันของผังงานของแผนภาพลำดับก่อนหลังของแต่ละผลิตภัณฑ์
5. Thomopoulos, 1972 งานวิจัยนี้ได้ปรับปรุงวิธีการในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมให้มีประสิทธิภาพมากขึ้นและแสดงให้เห็นว่าสามารถประยุกต์ใช้วิธีการดังกล่าวกับการผลิตแบบเป็นชุดและสายการผลิตอื่นๆได้

6. Stephen and Carlos, 1970 ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตแบบผสม โดยใช้วิธีทางด้าน Mathematical นี้ แล้วสรุปว่าวิธีการทางด้าน Mathematical นี้ เหมาะสมที่จะใช้ในด้านทฤษฎีเท่านั้น ไม่เหมาะสมที่จะนำไปใช้ในทางปฏิบัติ ยกตัวอย่าง เช่น สายการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ 2 ชนิด มีขั้นงานทั้งหมด 16 ขั้นงาน ต้องใช้ตัวแปรถึง 126 ตัว และข้อจำกัด (Constraint) 60 ข้อ
7. Shon, 1987 ทำการวิจัยเรื่อง “Study of Line Balancing and Sequencing of a Multiple Product Assembly Line” โดยมีจุดประสงค์ที่จะทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสม และนำวิธีการทางด้าน Heuristic มาประยุกต์ใช้ โดยเลือกใช้ Hoffman Technique ผลของการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมสามารถลดค่าใช้จ่ายด้านแรงงาน 7.4% สายงานที่ใช้ในการวิจัยมีขั้นงาน 114 ขั้นงาน ผลการวิจัยสรุปว่าสามารถ

นำวิธีการจัดสมดุลสายการผลิตเดี่ยวมาประยุกต์ใช้ สำหรับการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมได้

8. Rachamadugu และ Talbot, 1988 ทำการศึกษาปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตโดยพิจารณาวัตถุประสงค์ 2 อย่างคือการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุดเมื่อกำหนดอัตราผลผลิตที่ต้องการมาให้ และเพื่อให้แต่ละสถานีมีการกระจายของภาระงานที่เท่ากัน ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาวิธีฮิวริสติกขึ้นมาใหม่เพื่อใช้แก้ปัญหาดังกล่าวโดยมีพื้นฐานในการหาคำตอบเบื้องต้นมาจากวิธีการของ Hoffman จากนั้นก็มีการนำเอาวิธีการใหม่ที่ได้ไปทดลองใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตจำนวน 64 ปัญหาที่ได้มาจากงานวิจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ผลการวิจัยพบว่าสามารถหาคำตอบที่ดีสำหรับปัญหาจำนวน 53 ปัญหาจากทั้งหมด 64 ปัญหาได้ และที่พบว่าวิธีการที่พัฒนาขึ้นมาใหม่สามารถนำมาใช้กับปัญหาที่มีจำนวนงานมากๆได้ดี และเป็นวิธีที่ไม่เสียค่าใช้จ่ายสูงมากนัก

9. Talbot และ Patterson, 1984 ทำการวิจัยและหาวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อให้มีจำนวนสถานีการทำงานน้อยที่สุด เมื่อกำหนดอัตราผลผลิตที่ต้องการมาให้ เทคนิคที่นำมาใช้แก้ปัญหาดังกล่าว คือ Integer Programming Algorithm ผลการวิจัยพบว่าเมื่อนำมาใช้แก้ปัญหาที่มีจำนวนงานตั้งแต่ 50 –100 งาน โดยใช้คอมพิวเตอร์ที่ทันสมัยที่สุดในขณะนั้น และภายในเวลาที่เหมาะสม วิธีดังกล่าวสามารถให้คำตอบที่ดีที่สุดได้

10. Yogathasan M. ,1996 เป็นงานวิจัยเพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำเอา Neural Network มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ โดยได้ทำการพัฒนาวิธีการใหม่ที่เรียกว่า Cascaded Hopfield Network ขึ้นมาและทำการทดสอบวิธีการแล้วนำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธี Hopfield Network ที่มีอยู่เดิม ผลปรากฏว่าวิธีที่เสนอให้คำตอบที่เป็นไปได้ที่ดีกว่าวิธีเดิม

11. Boctor (1995) นำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวกับวิธีการแก้ปัญหา ALB โดยพัฒนากฎของฮิวริสติกขึ้นมา 4 กฎ เพื่อหาจำนวนสถานีการทำงานที่น้อยที่สุดเมื่อรู้รอบเวลาทำงาน จากนั้นก็ทำการประเมินประสิทธิภาพของวิธีการที่ใช้โดยนำไปเปรียบเทียบกับวิธีฮิวริสติกแบบอื่นๆอีก 15 กฎ โดยใช้ปัญหาการมอบหมายงานแบบสุ่มของ Hoffmann ผลการวิจัยชี้ว่าวิธีฮิวริสติก ที่นำเสนอให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีการแบบอื่นๆ โดยที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดสำหรับปัญหาจำนวน 57 ปัญหาจากทั้งหมด 67 ปัญหา

12. ทวี รัตนวิไลวรรณ, 1982 ทำการวิจัยและปรับปรุงสายการประกอบในโรงงานผลิตเครื่องยนต์ดีเซลขนาดเล็ก โดยในตอนแรกได้ศึกษาและประเมินผลการจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่มีอยู่เดิม จากนั้นก็ทดลองจัดสมดุลของสายงานการประกอบใหม่โดยใช้วิธี COMSOAL ผลปรากฏว่าการจัดโดยวิธี COMSOAL ช่วยปรับปรุงให้สายงานการประกอบมีประสิทธิภาพมากขึ้น

13. ประยุทธ วิภูศิริคุปต์,2535 เสนอวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตแบบผสมและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูปทางคอมพิวเตอร์ เทคนิคที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมคือ COMSOAL โดยโปรแกรมสำเร็จรูปที่พัฒนาขึ้นสามารถทำการจำลองแบบปัญหา แล้วแสดงผลการจัดสมดุลสายการผลิตของมาในรูปของภาพจำลองเคลื่อนไหวซึ่งช่วยให้ผู้ใช้สามารถจำลองและตรวจดูสถานะของสายการผลิตที่จัดขึ้น ณ ขณะเวลาใด ๆ ระหว่างการผลิตได้ ผลจากการทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นกับวิธีการอื่น พบว่าให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าหรือเทียบเท่าวิธีการเหล่านั้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา Optimization Problem ต่างๆ แบ่งเป็น 2 ส่วนคือ 1. การนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมไปแก้ปัญหาอื่นๆ ที่ไม่ใช่ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเช่น การวางผังโรงงาน ปัญหาการจัดตารางงาน 2. การนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ

2.2.1 การใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหา Optimization Problem ต่างๆ

1. Chan และ Tansri (1994) ได้นำเทคนิค GAs มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดผังโรงงานโดยใช้ข้อมูลเชิงปริมาณที่อยู่ในรูปของปัญหา QAP (Quadratic Assignment Problem) โดยใช้การเข้ารหัสสตริงเป็นเลขจำนวนเต็ม และเทคนิคการครอสโอเวอร์ 3 แบบคือ การครอสโอเวอร์แบบ PMX (Partially Match Crossover) แบบ OX (Order Crossover) และแบบ CX (Cycle Crossover) โดยรูปแบบของปัญหาที่ใช้ในงานวิจัยมี 3 แบบคือ การจัดผังโรงงานแบบมีแผนกบางแผนกคงที่ การจัดผังโรงงานแบบมีพื้นที่ว่าง และการจัดผังโรงงานแบบมีพื้นที่ว่างและมีแผนกบางแผนกคงที่ จากผลการวิจัยสรุปได้ว่า

การครอสโอเวอร์แบบ PMX จะทำให้ได้คำตอบที่ดีทั้งปัญหาขนาดเล็กและขนาดใหญ่ การครอสโอเวอร์แบบ OX ใช้ได้ดีเมื่อปัญหามีขนาดเล็ก (จำนวนแผนก < 9) แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นจะทำให้การหาคำตอบได้ไม่ค่อยดีนัก และการครอสโอเวอร์แบบ CX จะใช้ได้ไม่ค่อยดีเนื่องจากมีการลู่เข้าหาคำตอบเร็วเกินไป

2. Falkenauer and Delchambre, 1992 ทำการวิจัยโดยนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้แก้ปัญหา Bin Packing และ Line Balancing ปัญหา Bin Packing นี้สามารถอธิบายได้ดีที่สุดในรูปของปัญหาการขนส่ง โดยในปัญหานี้กำหนดกลุ่มของกล่องซึ่งมีขนาดหนึ่งโดยพยายามใช้ตู้บรรจุจำนวนน้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ ผลการวิจัยนำเสนอวิธีการ Crossover และ Mutation ที่มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการบรรจุกล่องดังกล่าว และได้กล่าวถึงสิ่งสำคัญที่ต้องมีการปรับเปลี่ยนเพื่อให้เหมาะสม เมื่อนำไปใช้กับปัญหาการจัดกลุ่มงานให้กับสถานีงาน
3. Chu P.C. และ Beasley J.E. (1997) ได้นำเสนอวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการมอบหมายงานทั่วไป ซึ่งเป็นปัญหาการมอบหมายงาน n งานให้กับหน่วยทำงาน m หน่วยเพื่อให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด โดย
4. Grefenstette (1989) ได้จัดระดับของการทำ Optimization กับระบบงานที่ซับซ้อนออกเป็นสองระดับ ระดับแรกเป็นระดับของอัลกอริทึมในการทำ Optimization ซึ่งผู้วิจัยได้เลือก GAs ในการนำมาใช้งาน ระดับที่สองเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับวิธีการที่เลือกในการทำ Optimization เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยได้นำ GAs ไปประยุกต์ใช้ในการทำ Optimization ทั้งสองระดับ
5. ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์, 2541 ได้นำ Genetic Algorithm มาผสมผสานกับวิธีฮิวริสติก ไปใช้ในการแก้ปัญหาการวางผังโรงงาน โดยจัดสรรแผนกงานต่าง ๆ จำนวน n บล็อก ลงในพื้นที่ m บล็อก ($n \leq m$) โดยจัดสรรแผนกงานต่างๆ มีขนาดเท่ากันคือ 1 หน่วยและได้มีการหาผลกระทบของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อผลลัพธ์ที่ได้จาก GAs ทั้งความเหมาะสมของคำตอบและระยะเวลาในการหาคำตอบ

2.2.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ

1. กรรณิกา ศิลานนท์,2542 ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอา Genetic Algorithm มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งหมายถึงการหารูปแบบของการจัดงานให้กับแต่ละสถานีงานเพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ 3 ประการพร้อมๆกัน นอกจากนี้ยังได้ศึกษาและทดสอบ

พารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึม จากงานวิจัยนี้จะได้ว่าเจนเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ เป็นวิธีการหาคำตอบสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ที่มีประสิทธิภาพและสามารถให้คำตอบที่ดีภายในระยะเวลาที่กำหนดได้

2. Mapfaira และ Byrne (1998) ได้ทำการวิจัยเกี่ยวกับการนำเอา Genetic Algorithms มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการผลิตเพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด โดยใช้ประชากรเริ่มต้นที่เป็นไปได้ (Feasible Population) แทนการกำหนดประชากรแบบสุ่ม และทำการศึกษาเงื่อนไขที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดออกมาเมื่อนำเจนเนติกอัลกอริทึม มาใช้ นอกจากนี้ยังทำการศึกษาผลของขนาดประชากรที่มีต่อสมรรถภาพของวิธีการแก้ปัญหาโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึมอีกด้วย จากนั้นก็นำวิธีการแก้ปัญหาดังกล่าวมาทดลองใช้กับตัวอย่างปัญหาของ Mitchell ผลการวิจัยพบว่าการใช้ประชากรเริ่มต้นที่เป็นไปได้แทนการกำหนดประชากรแบบสุ่ม ทำให้ได้คำตอบของการจัดสมดุลสายการผลิตที่ดีที่สุดได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยยังชี้ให้เห็นว่าสมรรถภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมจะเพิ่มมากขึ้นอย่างสม่ำเสมอตามขนาดของประชากรแต่ก็ใช้เวลาในการหาคำตอบนานมาก

3. Yeo Keun Kim, Yong Ju Kim และ Yeongho Kim (1996) ได้นำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบวัตถุประสงค์เดียวหลายๆปัญหา 1.เพื่อให้จำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด 2.เพื่อให้รอบเวลาผลิตต่ำที่สุด 3. เพื่อให้ค่า Workload Smoothness มากที่สุด หรือ 4.เพื่อให้ความสัมพันธ์ระหว่างงานมากที่สุด โดยในงานวิจัยนี้ใช้ทั้งตัว Operator ที่เป็น Standard Operator ซึ่งต้องมีกระบวนการ Repair Method และ Nonstandard Operator ที่คิดขึ้นใช้กับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเท่านั้น งานวิจัยยังได้ขยายขอบข่ายไปสู่การใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์ โดยใช้วัตถุประสงค์เพื่อให้ Workload Smoothness และความสัมพันธ์ระหว่างงานมีค่ามากที่สุด งานวิจัยได้เสนอว่า การมิวเตชั่นเป็น Operator ที่สำคัญมากในการแก้ปัญหา ALB โดย GAs และ GAs เป็นวิธีการที่สามารถนำไปใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบหลายๆปัญหาทั้งแบบวัตถุประสงค์เดียวและหลายวัตถุประสงค์ได้ดี สามารถให้คำตอบที่ดีกว่าวิธีฮิวริสติกที่มีอยู่

4. Suresh, Vinod และ Sahu (1996) ทดลองนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้กับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ โดยใช้ Smoothness Index เป็น Fitness Function ในงานวิจัยได้เสนอวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึม 2 แบบ คือ 1. กำหนดกลุ่มประชากรกลุ่มเดียวซึ่งยอมให้มีคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง 2. กำหนดกลุ่มประชากรคำตอบแบบ 2 กลุ่ม กลุ่มแรกจะไม่ยอมให้มีคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เกิดขึ้น ส่วนกลุ่มที่สองจะยอมให้มีคำตอบที่เป็นไปไม่ได้เกิดขึ้นจำนวนหนึ่ง และจะทำการแลกเปลี่ยนประชากรส่วนหนึ่งระหว่าง 2 กลุ่มเมื่อถึงเกณฑ์ที่กำหนด ทั้งนี้เพื่อเป็นการรักษาความต่อเนื่องของ Search Space และเพื่อป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้ติดอยู่ใน local optimum ผลงานวิจัยสรุปว่าวิธีการแบบหลังให้คำตอบที่ดีกว่าแบบแรก เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่

2.3 งานวิจัยเกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม

เป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการพัฒนาเทคนิค วิธีการใหม่ๆของเจนเนติกอัลกอริทึม งานวิจัยในกลุ่มนี้ ส่วนมากเป็นงานวิจัยเชิงทฤษฎี มีเป้าหมายของงานวิจัยอยู่ที่การพัฒนาวิธีการซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาหลายๆปัญหามากกว่าการหาคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาใดปัญหาหนึ่ง

1. David (1989) กล่าวว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้กับ GAs เป็นสิ่งที่ไม่ง่ายนัก การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ผิดพลาดอาจทำให้สมรรถนะในการหาคำตอบของ GAs ล้มเหลวได้ ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้นำเสนอเทคนิคในการกำหนดค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์และมิวเตชั่นโดยสังเกตุสมรรถนะในขณะที่ GAs ทำงานและได้อธิบายถึงรายละเอียดในการใช้งาน วิธีการทดลองและสมรรถนะของเทคนิคใหม่ และการนำเทคนิคนี้ไปใช้งานจริงอีกด้วย

2. Poon และ Canter (1995) ผู้วิจัยได้สร้างการครอสโอเวอร์แบบ Tie-Breaking Crossover # 1 แบบ Tie-Breaking Crossover # 2 และแบบ Union Crossover และได้นำคำตอบไปเปรียบเทียบกับการครอสโอเวอร์แบบเดิมพบว่าสามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าการครอสโอเวอร์แบบเดิม

3. Bramlette (1989) ได้นำ GAs ไปใช้ในการปรับปรุงสมรรถนะของตัวมันเองในการทำ Optimization ของฟังก์ชั่น โดยใช้ GAs ในการหาค่าพารามิเตอร์ของ จำนวนประชากรเริ่มต้น การมิวเตชั่น การคัดเลือก เพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ให้กับ GAs ชุดอื่นเพื่อหาคำตอบ และสามารถช่วยปรับปรุงสมรรถนะในการหาคำตอบได้

4. Schaffer และ Eshelman (1989) ได้กล่าวว่า GAs ที่ประกอบด้วยการรีโปรดักชั่นและการครอสโอเวอร์ทำให้การค้นหาของ GAs มีประสิทธิภาพ จากการทดลองพบว่าการครอสโอเวอร์มากๆทำให้ได้ผลดีกว่าการครอสโอเวอร์น้อยๆและการครอสโอเวอร์กับสตริงที่มีลักษณะเหมือนกันก็ไม่ได้เกิดผลอันใด แต่ในบางครั้งการมิวเตชั่น อย่างเดียวอาจทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่าการครอสโอเวอร์ และผู้วิจัยได้ทำการหาข้อสนับสนุนที่ว่าการครอสโอเวอร์สามารถหาคำตอบได้เร็วกว่าการมิวเตชั่น

5. Starkweather และคณะ ได้ทำการทดสอบเปรียบเทียบระหว่าง Operator 6 ตัวที่ใช้ในวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม คือ 1. Enhanced Edge Recombination 2.Order Crossover 3.Order Crossover#2 4.Partially Mapped Crossover 5.Cycle Crossover 6.Position Based Crossover โดยนำไปทดลองกับปัญหา Blind Traveling Saleman 30 เมือง และปัญหาการจัดคลังสินค้า ผลการวิจัยสรุปได้ว่าประสิทธิภาพของตัว Operator ที่ใช้ในแต่ละปัญหาจะขึ้นอยู่กับธรรมชาติและรูปแบบของปัญหานั้นๆโดยตรง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 3
ทฤษฎีเกี่ยวกับเจนเนติกอัลกอริทึม

ในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้น เราจำเป็นต้องทราบถึงทฤษฎีเบื้องต้นของเจนเนติกอัลกอริทึมก่อน ดังนั้นเนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs) และตัวอย่างการคำนวณหาค่าคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย เพื่อเป็นพื้นฐานสำหรับการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาการทำ Optimization

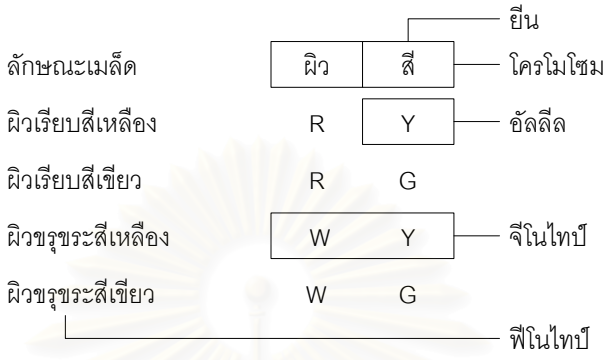
3.1 เจนเนติกอัลกอริทึม

ในปัจจุบันการหาคำตอบของปัญหาบางประเภท เช่น ปัญหาการจัดสรรทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดและปัญหาในการคำนวณต้นทุนต่ำสุด เป็นต้น สามารถหาคำตอบได้หลายวิธี วิธีการที่ง่ายที่สุดในการหาคำตอบคือวิธีการทางฮิวริสติกต่างๆ ซึ่งอาจได้คำตอบที่ไม่ดีนัก ในปัจจุบันนักวิทยาศาสตร์ได้นำความรู้เกี่ยวกับทฤษฎีหรือกฎเกณฑ์ทางธรรมชาติมาช่วยในการหาคำตอบหรือศึกษาวิจัย โดยมีเป้าหมายหลักในการใช้ประโยชน์ของความคงทน (Robustness) ต่อความไม่เที่ยงตรงแม่นยำ (Accuracy) ความไม่แน่นอน (Uncertainty) หรือความคลุมเครือของปัญหา (Vague) หลักการเหล่านี้สามารถพบได้จากวิธีการต่างๆ เช่น ระบบโครงข่ายประสาทเทียม (Neural Network) ฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy Logic) และ GAs (Goldberg, 1989) ปัญหาที่พบส่วนใหญ่เป็นปัญหาที่ไม่เที่ยงตรงและคลุมเครือ ซึ่งหากต้องการคำตอบที่เที่ยงตรงและมีความแน่นอนสูงมากก็ย่อมมีค่าใช้จ่ายที่สูงมาก ดังนั้นวิธีการที่สามารถแก้ปัญหาที่คลุมเครือโดยได้คำตอบที่ใกล้เคียงสามารถยอมรับได้ ใช้เวลาในการหาคำตอบไม่มากนัก และมีค่าใช้จ่ายพอประมาณ ย่อมดีกว่าวิธีที่ได้ความเที่ยงตรงสูงแต่มีค่าใช้จ่ายที่สูง วิธีการหาคำตอบที่ดีอย่างหนึ่งได้แก่วิธีการของ GAs โดยอาศัยทฤษฎีในการถ่ายทอดลักษณะต่างๆทางกรรมพันธ์ไปสู่ยังลูกหลาน ซึ่งสามารถนำมาพัฒนาใช้ในการหาคำตอบที่ต้องการได้

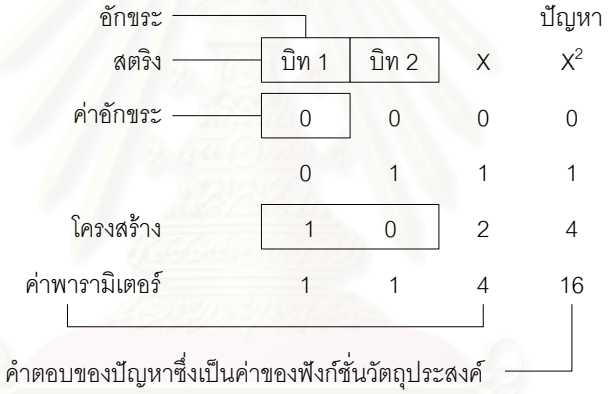
3.1.1 พันธุศาสตร์กับเจนเนติกอัลกอริทึม

Mendel บิดาแห่งวิชาพันธุศาสตร์ ค้นพบว่าลักษณะต่างๆของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะผิวของเมล็ดพืช สีของเมล็ดพืช ฯลฯ ที่ถูกถ่ายทอดไปยังลูกหลานนั้นถูกควบคุมโดยหน่วยควบคุมลักษณะที่เรียกว่ายีน (Gene) และลักษณะย่อยของยีนเรียกว่าอัลลีล (Allele) เช่นยีน ควบคุมลักษณะผิวของเมล็ดจะมีอัลลีลเป็นผิวเรียบและผิวขรุขระ เป็นต้น

ซึ่งแต่ละยีนจะเรียงตัวอยู่บนโครโมโซม (Chromosome) ภายในเซลล์ ตำแหน่งของยีนแต่ละยีนบนโครโมโซมเรียกว่า โลกัส (Logus) และแต่ละแบบของชุดยีนเรียกว่า จีโนไทป์ (Genotype) ซึ่งแสดงลักษณะภายนอกที่ปรากฏ ซึ่งเรียกว่า ฟีโนไทป์ (Phenotype) ดังรูปที่ 3.1ก



ก) ลักษณะทางพันธุศาสตร์ของโครโมโซมควบคุมลักษณะของเมล็ดถั่ว ซึ่งมียีนลักษณะของผิวเมล็ดคือ มีลักษณะเรียบ (R) หรือ ขรุขระ (W) และยีนลักษณะสีของเมล็ดคือมีสีเหลือง (Y) และสีเขียว (G)



ข) ลักษณะทางเจเนติก แสดงถึงการแก้ปัญหาในการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x)=x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง [0,4] และค่าของ x ถูกแปลงให้อยู่ในรูปไบนารี่สตริง

***รูปที่ 3.1** เปรียบเทียบลักษณะระหว่างเจนเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์*

***ตารางที่ 3.1** เปรียบเทียบคำศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจนเนติกอัลกอริทึม*

พันธุศาสตร์	เจนเนติกอัลกอริทึม
โครโมโซม (Chromosome)	สตริง (String)
ยีน (Gene)	คุณลักษณะ, บิท (Character, bit)
อัลลีล (Allele)	ค่าของคุณลักษณะ, ค่าบิท(Character value, bit value)
โลกัส (Locus)	ตำแหน่ง (String position)
จีโนไทป์ (Genotype)	โครงสร้าง (Structure)
ฟีโนไทป์ (Phenotype)	โครงสร้างคำตอบ (A decode structure)

การแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์ด้วย GAs พารามิเตอร์ต่างๆจะถูกแปลงให้อยู่ในรูปของสตริง (String) หรือโครโมโซมประกอบด้วยอักขระ (Character) หรือ (Bit) แต่ละตำแหน่งของโครโมโซมจะเก็บค่าอักขระหรือค่าของบิทที่แสดงโครงสร้างของแต่ละโครโมโซมที่ให้คำตอบของปัญหาแตกต่างกัน ดังรูปที่ 3.1ข ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้ GAs กับการแก้ปัญหาการหาค่าสูงสุดของ $f(x)=x^2$ โดยที่ x อยู่ในช่วง [0, 4] และสามารถสรุปความหมายทางพันธุศาสตร์เทียบกับ GAs ได้ดังตารางที่ 3.1

Darwin (1859) ได้เสนอความคิดการเกิดสปีชีส์ของสิ่งมีชีวิต (The Origin of Species) โดยเสนอหลักการของวิวัฒนาการที่ผ่านกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติ แม้ในตอนแรกทฤษฎีจะเป็นที่โต้แย้งกันมากต่อมาก็ได้เป็นที่ยอมรับในหมู่นักวิทยาศาสตร์ (Winston, 1992)

- สิ่งมีชีวิตแต่ละชนิดมีแนวโน้มที่จะถ่ายทอดลักษณะของมันไปสู่ลูกหลานของมัน
- ธรรมชาติทำให้สิ่งมีชีวิตมีลักษณะต่าง ๆ กัน
- สิ่งมีชีวิตมีความเหมาะสม ซึ่งมีลักษณะที่เหมาะสมที่สุด มีแนวโน้มที่จะมีลูกหลานมากกว่าสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะไม่เหมาะสม ซึ่งจะทำให้ประชากรอยู่รอดต่อไป
- เมื่อระยะเวลาผ่านไปยาวนาน จะเกิดการกลายพันธุ์ (Variation) ขึ้น และเกิดสปีชีส์ใหม่ที่มีลักษณะเหมาะสมกับระบบนิเวศน์นั้น

3.1.2 ความหมายของเจนเนติกอัลกอริทึม

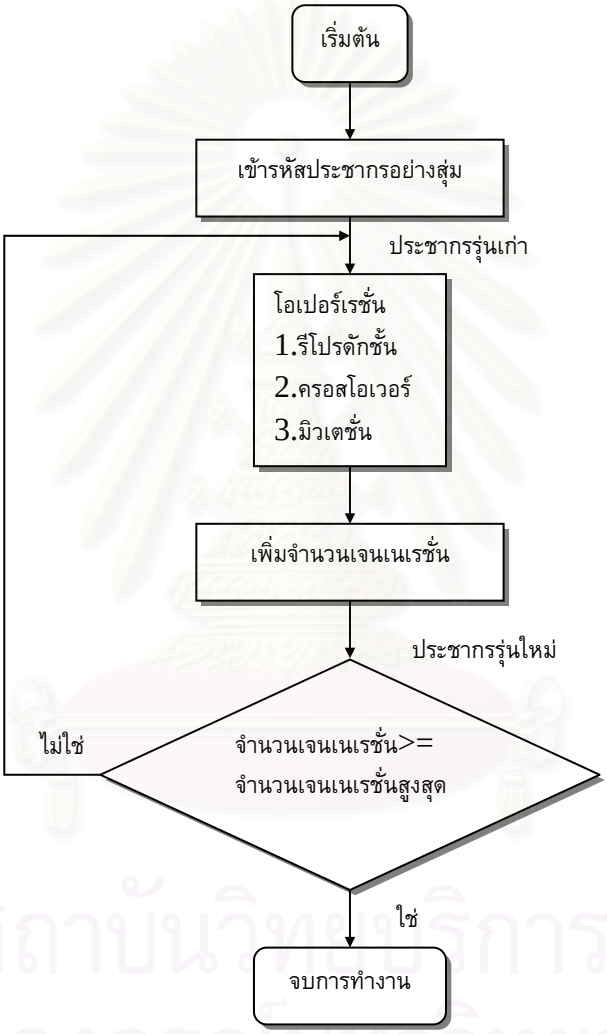
GAs เป็นวิธีการค้นหาคำตอบโดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และ กระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics Selection) โดยการคัดเลือกสตริง (String) ที่มีความเหมาะสมจากกลุ่มของสตริงทั้งหมดด้วยวิธีการสุ่ม จากการนำสตริงเหล่านี้ไปผ่านกระบวนการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสม ซึ่งสตริงที่มีความเหมาะสมนี้คือคำตอบที่ดีที่สุดหรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด GAs ไม่ใช่การสุ่มแบบง่ายๆ แต่มันเป็นการใช้ข้อมูลในอดีตอย่างมีประสิทธิภาพเพื่อพิจารณาจุดที่จะต้องค้นหาใหม่โดยคาดหวังว่าสมรรถนะของการค้นหาจะดีขึ้น

GAs ถูกพัฒนาขึ้นโดย Holland (1975) และคณะ โดยมีเป้าหมายในการวิจัย 2 อย่าง คือ ข้อแรก เพื่อสรุปและดัดแปลงการใช้กระบวนการทางธรรมชาติให้ถูกต้องมากที่สุด สองเพื่อออกแบบและสร้างซอฟแวร์ที่รักษากลไกที่สำคัญของธรรมชาติ และ GAs แตกต่างกับวิธีการค้นหาและการทำ Optimization แบบอื่นๆ คือ

- GAs ทำงานโดยการเข้ารหัสสตริงเป็นชุดพารามิเตอร์
- GAs เป็นการค้นหาจากทั้งประชากรไม่ใช่ค้นหาจากเพียงตำแหน่งๆเดียว

- GAs ใช้ข่าวสารที่เป็นผลลัพธ์ (ฟังก์ชันเป้าหมาย) โดยไม่ใช้การอนุพันธ์หรือความรู้อื่นๆ
- GAs จะเป็นวิธี Probabilistic ไม่ใช่ Deterministic

3.2 เจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithms)



รูปที่ 3.2 *ขั้นตอนของ GAs อย่างง่าย*

ขั้นตอนการทำ GAs อย่างง่าย (Simple Genetic Algorithms:SGA) ดังรูปที่ 3.2 มี3 3.2 มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3.2.1 การเข้ารหัสและสร้างประชากรเริ่มต้นอย่างสุ่ม

ขั้นตอนแรกของ GAs คือ การเข้ารหัสหรือแปลงค่าพารามิเตอร์ให้อยู่ในรูปของสตริงที่มีความยาวแน่นอน ซึ่งวิธีการเข้ารหัสนี้ขึ้นอยู่กับรูปแบบของปัญหาแต่ละปัญหา สำหรับ SGA ใช้การเข้ารหัสแบบไบนารี่ (Binary Coding)

ตัวอย่างเช่น ต้องการหาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^2$ โดยที่ x มีค่าอยู่ระหว่าง [0,31] ในที่นี่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function) คือ f(x) หรือ x^2 ซึ่งวิธีการเข้ารหัสแบบไบนารี่ โดยแปลงค่าพารามิเตอร์ x ให้อยู่ในรูปไบนารี่ 5 บิทจะได้ ค่าพารามิเตอร์ของ x จะมีค่าอยู่ในช่วง 00000 จนถึง 11111 (0 ถึง 31)

เมื่อกำหนดวิธีการเข้ารหัสแล้ว จำเป็นที่จะต้องสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) โดยวิธีการสุ่มเพื่อที่จะผ่านขั้นตอนของ SGA ต่อไป สมมุติว่าสุ่มประชากรเริ่มต้น 4 สตริงได้เป็น

01101

11000

01000

10011

ค่าสตริงของประชากรเริ่มต้นนี้ เกิดจากการสุ่มค่า ทั้งหมด 20 ครั้งหรือ สตริงแต่ละตัวทำการสุ่ม 5 ครั้ง

3.2.2. ประชากรรุ่นเก่า (Old Population)

ประชากรรุ่นเก่า คือสตริงที่จะถูกคัดเลือกไปเป็นต้นแบบสำหรับสร้างประชากรรุ่นใหม่ (New Population) โดยประชากรรุ่นเก่าชุดแรกคือประชากรเริ่มต้นนั่นเอง

3.2.3 การดำเนินการของ SGA

SGA ประกอบไปด้วยตัวปฏิบัติการ 3 อย่างได้แก่ รีโปรดักชั่น (Reproduction) การครอสโอเวอร์ (Crossover) และการมิวเตชั่น (Mutation) ดังมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

- **รีโปรดักชั่น** คือกระบวนการที่สตริงแต่ละตัวเลียนแบบค่าฟังก์ชันเป้าหมาย f(x) โดยที่ฟังก์ชันนี้อาจเป็นการวัด ผลตอบแทน ค่าอรรถประโยชน์ หรือสิ่งที่ต้องการให้เป็นค่าสูงสุด หรือค่าความเหมาะสม (Fitness) สตริงที่มีความเหมาะสมสูงกว่าก็จะมีความน่าจะเป็นในการสนับสนุนลูกหลานรุ่นต่อไปสูงด้วย ตัวปฏิบัติการนี้เกิดขึ้นจากกระบวนการคัดเลือกตามธรรมชาติตามทฤษฎีผู้อยู่รอดที่มีความเหมาะสม (Survival of Fittest) ของ ชาร์ส ดาร์วิน ประชากรที่มีความเหมาะสมในธรรมชาติจะมีความสามารถในการรอดพ้นผู้ล่า โรคภัยไข้เจ็บ อุปสรรคอื่นๆที่ต่อต้านการเจริญเติบโตเป็นผู้ใหญ่

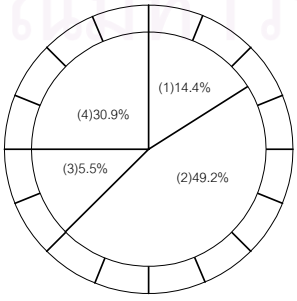
และสามารถสืบพันธุ์ต่อไปได้ ส่วนฟังก์ชันเป้าหมายจะเป็นสิ่งที่ใช้พิจารณาว่าสตริงที่สร้างขึ้นจะมีชีวิตอยู่หรือตายจากไป

ตัวปฏิบัติการรีโปรดักชั่นสามารถสร้างขึ้นได้หลายวิธี วิธีที่ง่ายวิธีหนึ่งคือสร้างจากวงล้อรูลเล็ทที่มีจำนวนช่องเท่ากับจำนวนประชากรสตริง และขนาดของช่องก็เป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม ดังรูปที่ 3.3 และค่าความเหมาะสมของฟังก์ชันเป้าหมายของประชากรทั้งสี่แสดงอยู่ในตาราง 3.2

ค่าความเหมาะสมทั้งหมดโดยรวมจะได้ 1170 และค่ารายละเอียดต่างๆแสดงดังในตารางที่ 3.3 แสดงถึงวงล้อรูลเล็ทสำหรับการรีโปรดักชั่น ซึ่งสร้างจากสัดส่วนของค่าฟิตเนสของสตริงทั้งหมด เช่นสตริงหมายเลข 1 มีค่าความเหมาะสมเป็น 169 หรือ 14.4% (169/1170) ของค่า Fitness โดยรวมของทั้งประชากร ในการทำการรีโปรดักชั่นจะหมุนวงล้อเป็นจำนวน 4 ครั้งหรือเท่ากับจำนวนสตริง เช่นสตริงหมายเลข 1 มีค่าเป็น 169 คิดเป็น 14.4% ของค่าความเหมาะสมทั้งหมด ดังนั้นเมื่อหมุนรูลเล็ท 1 ครั้งก็จะมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกเท่ากับ 0.144 ในการหมุนรูลเล็ทแต่ละครั้งจะได้ตัวแทนในการสืบพันธุ์ (Reproduction Candidate) สตริงที่มีความเหมาะสมสูงจะถูกคัดเลือกสำหรับการสืบพันธุ์การรีโปรดักชั่นสำหรับสตริงลูกหลานในรุ่นต่อไป เมื่อสตริงมีรูปร่างที่แน่นอนแล้วก็จะถูกส่งไปเข้าเมทติ้งพูล (Mating Pool) เพื่อที่จะผ่านกระบวนการของตัวปฏิบัติการอื่นต่อไป

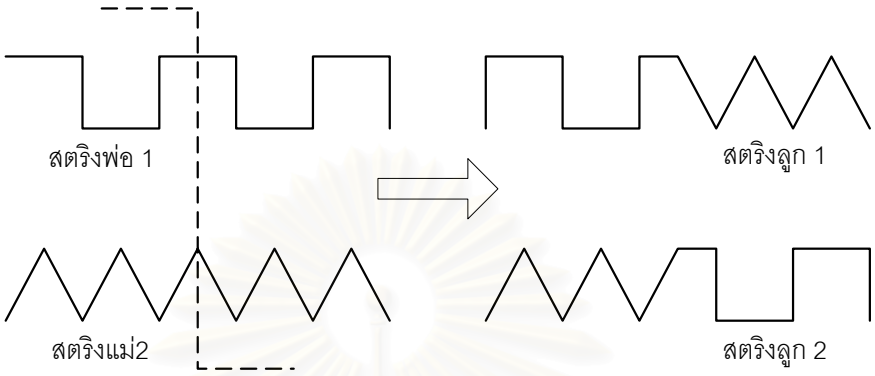
ตารางที่ 3.2 *กลุ่มประชากรตัวอย่างและค่าความเหมาะสม*

No.	สตริง	ค่าความเหมาะสม	% โดยรวม
1	01101	169	14.40
2	11000	576	49.20
3	01000	64	5.50
4	10011	361	30.90
รวม		1170	100.00



รูปที่ 3.3 *การรีโปรดักชั่นอย่างง่ายด้วยวิธีการใช้วงล้อรูลเล็ทที่มีขนาดของแต่ละช่องเป็นสัดส่วนกับค่าความเหมาะสม*

- **การครอสโอเวอร์** หลังจากประชากรทั้งหมดผ่านกระบวนการรีโปรดักชั่นแล้ว จะทำการจับคู่สมาชิกในเมทติ้งพูลหรือกลุ่มประชากรทั้งหมดอย่างสุ่มและทำการไขว้สลับค่าที่อยู่หลังตำแหน่งที่เลือกไว้จากการสุ่มหรือ ทำการแลกเปลี่ยนสวนกัน



รูปที่ 3.4 *การครอสโอเวอร์อย่างง่ายเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสตริง และการแลกเปลี่ยนข่าวสารโดยเลือกตำแหน่งไข้วแบบสุ่ม*

การเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ จะทำโดยการสุ่มค่าที่เป็นจำนวนเต็มตำแหน่งที่ k ช่วงของสตริงที่เลือกจะอยู่ในช่วง [2, t-1] โดยที่ t คือตำแหน่งสุดท้ายของสตริงใหม่ทั้งสองก็จะมีการสลับอักขระตั้งแต่ตำแหน่งที่ k+1 จนถึง t ยกตัวอย่างเช่น พิจารณาสตริง A_1, A_2 จากประชากรเริ่มต้น

$A_1 = 0110 \quad 1$

$A_2 = 1100 \quad 0$

สมมุติว่าเลือกจำนวนสุ่มระหว่าง 1 ถึง 4 และได้ค่า k = 4 (แสดงโดยใช้สัญลักษณ์ " | " แทนการแยก) ผลของการครอสโอเวอร์สตริงที่เป็นประชากรรุ่นใหม่จะมีสัญลักษณ์ " ' "

$A'_1 = 01100$

$A'_2 = 11001$

- **การมิวเตชั่น** มิวเตชั่นเป็นสิ่งที่จำเป็นถึงแม้ว่ารีโปรดักชั่นและครอสโอเวอร์ช่วยให้การค้นหาเป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพในบางครั้งก็มีการสูญเสียส่วนที่สำคัญไป (ค่า 1 หรือ 0 ในบางตำแหน่ง) การมิวเตชั่นจะป้องกันส่วนที่สูญเสียที่ไม่อาจเรียกคืนได้ (Irrecovery Loss) ในบางครั้งการหาคำตอบของ SGA คำตอบอาจติดอยู่ใน Local Optimal การมิวเตชั่นด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมจะทำให้คำตอบสามารถหลุดออกจาก Local Optimal หรืออาจกล่าวได้ว่าโอเปอร์เรเตอร์ของการมีมิวเตชั่นเป็นการเปลี่ยนแปลงค่าตำแหน่งสตริงแบบสุ่ม จากปัญหาที่พิจารณาค่าจะเปลี่ยนแปลงจาก 0

เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0 โดยการเลือกตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่นอย่างสุ่ม อัตราการมิวเตชั่นในธรรมชาติจะมีค่าค่อนข้างต่ำ ในการนำไปใช้งานจะต้องมีการพิจารณาอย่างเหมาะสม

3.2.4 ประชากรรุ่นใหม่ (New population)

สตริงทั้งหมดที่ได้จากกระบวนการของ GAs เรียกว่าประชากรรุ่นใหม่หรือเจนเนอเรชั่น (Generation) รุ่นใหม่ซึ่งจะกลายเป็นประชากรรุ่นเก่า สำหรับการดำเนินการต่อไป กระบวนการของ SGA จะทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกว่าจำนวนเจนเนอเรชั่นจะมากกว่าจำนวนเจนเนอเรชั่นที่กำหนดไว้สูงสุด

Surech (1995) ได้พิจารณาถึงการหาขนาดของประชากร จากอัตราส่วนของวิธีการที่ทั้งหมดของคำตอบที่เป็นไปไม่ได้และอัตราส่วนของวิธีการที่ทั้งหมดของคำตอบที่เป็นไปได้

$$\lim_{n\to\infty}\frac{n^{n}}{n!} \approx \lim_{n\to\infty}\frac{(2\pi)^{1/2}\left(\frac{n}{e}\right)^{n}}{n^{n}} = \lim_{n\to\infty}\frac{(2\pi)^{1/2}}{e^{n}} = 0 \qquad (3.1)$$

จากสมการที่ (3.1) ให้

n คือขนาดของปัญหา

$n!$ คือจำนวนวิธีการที่จัดเรียงหรือจำนวนวิธีการจัดเรียงที่เป็นไปได้

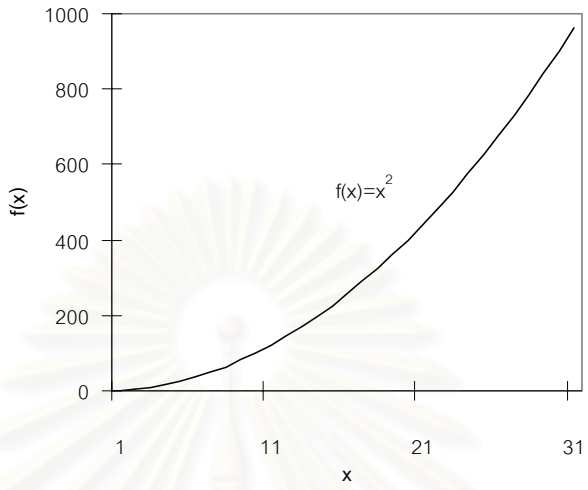
n^{n} คือจำนวนวิธีการที่จัดเรียงหรือจำนวนวิธีการจัดเรียงทั้งหมด

สามารถสรุปได้ว่า ความน่าจะเป็นของในการสร้างประชากรคำตอบอย่างสุ่ม มีค่าเป็นศูนย์เมื่อ n มีค่ามากขึ้น สมมติว่า n มีค่าเป็น 8 ดังนั้น $8! / 8^{8} = 1/ 416.1 = 2.403*10^{-3}$ หรืออาจกล่าวได้ว่า โอกาสที่จะได้คำตอบที่ถูกต้องเป็น 1 ใน 416 ของคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ถ้ากำหนดจำนวนประชากรเป็น 100 และทำการคำนวณเพียงแค่ 1 เจนเนอเรชั่นก็ไม่อาจคาดได้ว่าจะได้คำตอบที่ดี การกำหนดจำนวนประชากรเริ่มต้นและจำนวนเจนเนเรชั่นทั้งหมดจึงมีผลในการหาคำตอบ

3.3 ตัวอย่างการใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของฟังก์ชัน

เนื้อหาในส่วนนี้จะเป็นการประยุกต์ใช้ GAs ในการแก้ปัญหา Optimization หาค่าสูงสุดของฟังก์ชัน $f(x) = x^{2}$ ทีละขั้นตอน โดย x เป็นตัวแปรที่มีค่าเปลี่ยนแปลงระหว่าง 1 ถึง 31 ดังรูปที่

3.5 แสดงถึงลักษณะฟังก์ชัน f(x) สำหรับปัญหานี้ตัวแปร x จะถูกเข้ารหัสให้เป็นไบนารี่ ที่มีความยาวสตริง 5 บิท



รูปที่ 3.5 *ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x) = x^2$*

วิธีการทำเริ่มจากเลือกประชากรแรกขึ้นมาอย่างสุ่ม โดยประชากรเริ่มแรกจะได้มาจากการโยนเหรียญ 20 ครั้ง จากตาราง 3.3 จะเห็นได้ว่าสตริงหมายเลข 3 ซึ่งมีค่าเป็น 01000 (นำมาเข้าแปลงเป็นเลขฐานสิบ คือ $2^3 = 8$) จากนั้นก็จะแปลงให้อยู่ในฟังก์ชันเป้าหมาย $f(x) = x^2$ จะได้ค่าเป็น 64 สำหรับค่า x และ f(x) อื่นๆก็คิดในลักษณะเดียวกัน

ตารางที่ 3.3 *การคำนวณหาคำตอบของ SGA กับฟังก์ชัน $f(x) = x^2$*

ก) *การสุ่มสตริงเริ่มต้นและการรีโปรดักชั่น*

หมายเลขสตริง	ประชากรเริ่มต้น (สร้างขึ้นแบบสุ่ม)	ค่าx (unsigned integer)	$f(x) = x^2$	Pselect $f_i/\Sigma f$	Expected count $f_i/\bar{f}$	Actual Count (จากวงล้อรูลเล็ท)
1	01101	13	169	0.14	0.58	1
2	11000	24	576	0.49	1.97	2
3	01000	8	64	0.06	0.22	0
4	10011	19	361	0.31	1.23	1
ผลรวม			1170	1.00	4.00	4.0
ค่าเฉลี่ย			293	0.25	1.00	1.0
ค่าสูงสุด			576	0.49	1.97	2.0

ข) การครอสโอเวอร์

เมทติ้งพูลหลังจากการรีโปรดักชั่น	สตริงจับคู่ (เลือกแบบสุ่ม)	ตำแหน่งครอสโอเวอร์ (เลือกแบบสุ่ม)	ประชากรใหม่	ค่า x	$f(x) = x^2$
0110 | 1	2	4	01100	12	144
1100 | 0	1	4	11001	25	625
11 | 000	4	2	11011	27	729
10 011	3	2	10000	16	256
ผลรวม					1754
ค่าเฉลี่ย					439
ค่าสูงสุด					729

หมายเหตุ

1. ประชากรเริ่มแรกทั้งสี่ตัว ในแต่ละตัวได้มาจากการสุ่มโยนเหรียญ 5 ครั้ง (มี 5 บิท)

2. รีโปรดักชั่นได้จากการหมุนวงล้อรูลเล็ท

3. ครอสโอเวอร์ได้จากการโยนเหรียญสองเหรียญแล้วทำการถอดรหัส ($TT = 00_2 = 0$ = ตำแหน่งที่ไขว้คือ 1, $HH = 11_2 = 3$ = ตำแหน่งที่ไขว้คือ 4)

4. ความน่าจะเป็นของครอสโอเวอร์กำหนดให้เป็นหนึ่ง $p_c = 1.0$

5. ความน่าจะเป็นของมิวเตชั่นเป็น 0.001, p = 0.001, expected mutation = 5*4*0.001 =0.2 ไม่มีค่า expected mutation ระหว่างประชากรเดี่ยว

ประชากรรุ่นต่อไป จะเริ่มต้นกระบวนการรีโปรดักชั่นจากเมทติ้งพูล โดยการหมุนวงล้อรูลเล็ท 4 ครั้ง ได้สตริงหมายเลข 1 และ 4 ได้รับการคัดเลือกไปยังรุ่นต่อไป 1 ครั้ง สตริง 2 ได้รับการคัดเลือกไปยังรุ่นต่อไป 2 ครั้ง สตริง 3 ไม่ได้รับการคัดเลือกไปยังรุ่นต่อไปเลย เมื่อเปรียบเทียบจำนวนครั้งที่ถูกคัดเลือกที่คาดหวัง หรือ Expected Count (หาได้จาก $f_i / \bar{f}$) กับจำนวนครั้งที่ถูกคัดเลือกจริงจะเห็นได้ว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ค่าที่ดีที่สุดจะมีโอกาสที่จะถูกคัดเลือกมากกว่า ส่วนค่าที่ไม่ดีก็จะตายจากไป

ขั้นตอนต่อไปคือการครอสโอเวอร์ ซึ่งจะต้องมีการจับคู่กันระหว่างสตริง โดยมีสองขั้นตอนคือ (1) สตริงจะถูกจับคู่อย่างสุ่มโดยใช้วิธีการโยนเหรียญจับคู่ (2) สตริงจะทำการครอสโอเวอร์โดยการโยนเหรียญเพื่อเลือกตำแหน่งที่จะไขว้ (Crossing sites) เมื่อพิจารณาตาราง 3.3ข อีกครั้ง จะเห็นได้ว่าจากการสุ่มจับคู่ในเมทติ้งพูล สตริงหมายเลข 2 จะจับคู่กับสตริงหมายเลข 1 และมีตำแหน่งการไขว้คือ 4 สตริงทั้งสองคือ 01101 และ 11000 เมื่อทำการไขว้จะได้สตริงตัวใหม่คือ 01100 และ 11001 สตริงที่เหลือในเมทติ้งพูลจะทำการไขว้กันในตำแหน่งที่สองดังแสดงในตารางที่ 3.3 ข

ตัวปฏิบัติการสุดท้ายคือมิวเตชั่นซึ่งจะเปลี่ยนค่าเป็นบิทต่อบิท สมมุติความน่าจะเป็นของการมิวเตชั่นในการทดสอบเป็น 0.001 ตำแหน่งที่จะเปลี่ยนแปลงทั้งหมดมี 20 บิท (ได้จากจำนวน

สตริง*จำนวนบิทของสตริงแต่ละตัว 5*4=20) เพราะฉะนั้นตำแหน่งบิทที่จะมิวเตชั่นของประชากรรุ่นนี้คือ 20 * .001 = 0.02 บิท จากการคำนวณจะเห็นได้ว่าไม่มีบิทใดต้องทำการมิวเตชั่นสำหรับค่าความน่าจะเป็นนี้ นั่นก็คือไม่มีบิทใดที่จะต้องเปลี่ยนค่าจาก 1 เป็น 0 หรือ 0 เป็น 1 สำหรับประชากรรุ่นนี้ แต่สมมติว่าถ้าตำแหน่งบิทที่จะมิวเตชั่นของประชากรรุ่นนี้คือ 5 ดังนั้นตำแหน่งบิทที่ 5 จะต้องทำการเปลี่ยนค่าจาก 0 เป็น 1 หรือ 1 เป็น 0

หลังจากผ่านการรีโปรดักชั่น ครอสโอเวอร์และมิวเตชั่น ประชากรรุ่นใหม่ก็พร้อมที่จะถูกทดสอบ โดยทำการเข้ารหัสสตริงใหม่คำนวณหาค่า x และค่าฟังก์ชัน f(x) ตารางที่ 3.3 ข. แสดงถึงผลจากการทดลองจะเห็นได้ว่ากระบวนการที่เกี่ยวข้องกับความน่าจะเป็นทำให้ค่าสมรรถนะดีขึ้น ค่าความเหมาะสมของประชากรโดยเฉลี่ยมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 293 เป็น 439 ในขณะที่ค่าความเหมาะสมสูงสุดมีค่าเพิ่มขึ้นจาก 576 เป็น 729 ถึงแม้ว่ากระบวนการสุ่มจะช่วยทำให้ค่าต่างๆสูงขึ้นแต่ค่าต่างๆที่เพิ่มขึ้นเหล่านี้ไม่ใช่ความบังเอิญ ค่าสตริงที่ดีที่สุดของประชากรเริ่มแรกคือ (11000) จะมีการเลียนแบบ 2 ครั้งเนื่องจากเป็นค่าที่สูงเกินกว่าค่าเฉลี่ย เมื่อรวมกับค่าสตริงตัวต่อไป (10011) แบบสุ่มและทำการไขว้แบบสุ่มในตำแหน่งที่สองก็จะได้ผลลัพธ์เป็น (11011) ซึ่งก็จะเป็นค่าที่ดีเช่นกัน

ค่าพารามิเตอร์ของ SGA มีความสำคัญอย่างมาก ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ในบางครั้งจำเป็นต้องมีการปรับเปลี่ยนไปตามรูปแบบของปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่ดี แต่ในบางครั้งก็ไม่อาจที่จะหาคำตอบที่ดีได้เนื่องจาก (Michalewicz, 1992)

1 การเข้ารหัสของปัญหาผิดพลาด ทำให้ GAs หาคำตอบผิดพลาด

2 ขีดจำกัดของจำนวนประชากร ในทางทฤษฎีแล้วมีค่าเป็นอนันต์

3 ขีดจำกัดของจำนวนเจนเนอเรชั่น ในทางทฤษฎีแล้วมีค่าเป็นอนันต์

ค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ไม่สามารถกำหนดให้เป็นอนันต์ได้ในทางปฏิบัติเนื่องจากข้อจำกัดต่างๆของคอมพิวเตอร์

3.4 สรุปท้ายบท

GAs เป็นวิธีการค้นหาคำตอบวิธีหนึ่ง โดยมีพื้นฐานจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ ข้อดีของ GAs เมื่อเปรียบเทียบกับการค้นหาแบบอื่นคือมีความคงทนต่อความไม่เที่ยงตรงแม่นยำและความไม่แน่นอนหรือคลุมเครือของปัญหา และสามารถควบคุมได้ โดยมีความน่าเชื่อถือและค่าใช้จ่ายต่ำ

วิธีการค้นหาของ GAs จะแตกต่างกับวิธีการค้นหาและการทำ Optimization แบบอื่นๆ คือ

- GAs จะใช้งานโดยการเข้ารหัสสตริงเป็นชุดพารามิเตอร์
- GAs เป็นการค้นหาจากทั้งประชากรไม่ใช่เพียงตำแหน่งๆเดียว

- GAs จะใช้ข่าวสารที่เป็นผลลัพธ์ (ฟังก์ชันเป้าหมาย) โดยไม่ใช้อนุพันธ์หรือความรู้อื่น ๆ
- GAs จะเป็นวิธี Probabilistic ไม่ใช่ Deterministic

โอเปอร์เรเตอร์ต่างๆของ GAs ได้แก่

- รีโปรดักชั่น คือกระบวนการคัดเลือกสตริงมีความเหมาะสมสูงเพื่อเป็นคำตอบเริ่มต้นให้กับประชากรรุ่นต่อไป โดยอาศัยทฤษฎีของ ชาร์ล ดาร์วินที่ว่า สิ่งมีชีวิตที่แข็งแรงกว่ามีโอกาสอยู่รอดในสภาวะนั้นๆได้มากกว่า
- การครอสโอเวอร์ คือกระบวนการสร้างสตริงลูกหลานใหม่ จากสตริงพ่อแม่
- การมิวเตชั่นคือ คือ กระบวนการที่ช่วยปรับปรุงสตริงให้ดีขึ้นหรือเลวลง โดยการเปลี่ยนแปลงค่าในบางตำแหน่งของสตริง เพื่อให้เกิดสตริงใหม่

พารามิเตอร์ต่างๆของ GAs ได้แก่

- จำนวนประชากร
- จำนวนเจนเนอเรชั่น
- ค่าความน่าจะเป็นของการครอสโอเวอร์
- ค่าความน่าจะเป็นของการมิวเตชั่น

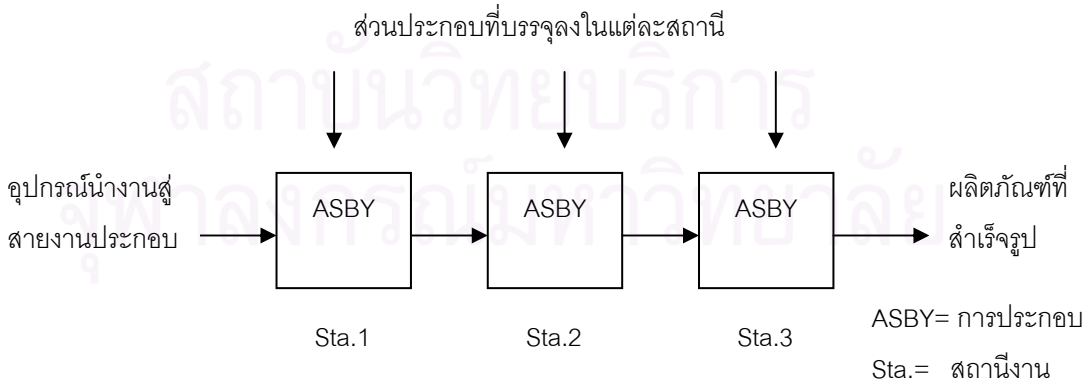
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4
ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

ในการที่จะพัฒนาวิธีการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้น เราจำเป็นต้องศึกษาและทำความเข้าใจถึงลักษณะของสายงานงานประกอบ ชนิดของสายงานการประกอบ ปัญหาและนิยามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบรวมทั้งข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้และลำดับขั้นตอนในการจัดสมดุลสายงานประกอบ

4.1 ลักษณะสายงานการประกอบทั่วไป

สายงานการประกอบ (Assembly Line) เป็นการจัดรูปแบบของผังการประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่างๆที่เรียกว่า สถานีงาน (Work Station) ในระบบสายงานการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่างๆ เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแต่ละหน่วยเข้ามาสู่สถานีงานใดๆแล้ว ก็จะเกิดขั้นงานการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีนั้นตามลำดับ เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้ว ชิ้นส่วนนั้นก็จะเคลื่อนไปยังสถานีต่อไป ในขณะเดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทน (Yogathasan, 1996)



รูปที่4.1 *แสดงไดอะแกรมสายงานการประกอบ*

สายงานการประกอบสามารถแยกออกได้ตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต มี 3 แบบ คือ

1. สายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวโดยเฉพาะ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียว
2. สายงานการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกันสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยในการประกอบจะทำทีละชุด(Batch)ผลิตภัณฑ์ ในช่วงที่จะเปลี่ยนการประกอบชนิดของผลิตภัณฑ์ ต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ (Set up)
3. สายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่าเช่นเดียวกับสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ แต่ต่างกันตรงที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆจะเข้าสู่สายงานการประกอบปนกัน ไม่มีการแบ่งว่าต้องทำผลิตภัณฑ์ชุดไหนก่อน โดยในระหว่างการผลิตจะไม่มีการปรับสายการประกอบ

ในกรณีของสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ ถ้าหากขนาดของชุดผลิตภัณฑ์ (Batch Size) มีขนาดใหญ่มาก สายการประกอบก็จะคล้ายกับ สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว แต่ถ้าขนาดของชุดผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กประมาณหนึ่งสายการประกอบก็จะคล้ายกับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

สายการประกอบ ยังสามารถแยกออกโดยดูจากวิธีการเคลื่อนย้ายงานระหว่างสถานีงานดังนี้คือ

1. การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ (Manual Transfer)
   การเคลื่อนย้ายงานด้วยมือเป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปยังอีกสถานีงานถัดไปจะทำด้วยมือ ซึ่งจะมีโอกาสเกิดปัญหาต่างๆ ดังนี้คือ

   - *การไม่มีงานป้อน (Starving)* คือการที่คนงานได้ทำงานตนเสร็จแล้ว แต่ต้องคอยงานที่ยังเสร็จจากคนงานสถานีก่อนหน้า
   - *การไม่มีที่ส่งงาน (Blocking)* คือการที่คนงานได้ทำงานของตนเสร็จแล้ว แต่ต้องรอให้คนงานสถานีงานถัดไป ทำงานให้เสร็จก่อนจึงจะสามารถส่งงานของตนเองไปได้ แล้วจึงเริ่มทำงานชิ้นใหม่

ปัญหาทั้งสองแบบนี้มีผลทำให้ การไหลของงานไม่สม่ำเสมอ รอบเวลาการผลิตไม่คงที่ ซึ่งส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของกำลังการผลิต การมี Buffer Storage ระหว่างสถานีจะช่วยลดปัญหาทั้งสองนี้ได้ ทำให้สายการผลิตมีการผลิตที่ต่อเนื่องยิ่งขึ้น

2. การเคลื่อนย้ายงานโดยสายพาน (Moving Conveyor)

การเคลื่อนย้ายงานโดยสายพาน เป็นการเคลื่อนย้ายงานจากสถานีงานหนึ่งไปยังสถานีงานถัดไป ทำได้โดยอาศัยสายพานเป็นตัวลำเลียงชิ้นงาน ซึ่งมีทั้งแบบต่อเนื่อง (Continuous) และแบบไม่ต่อเนื่อง (Intermittent) การเคลื่อนย้ายงานแบบไม่ต่อเนื่อง คือ การที่สถานีงานใดก็ตามที่ทำงานชิ้นใดเสร็จ ก็จะสามารถส่งต่อไปยังสถานีงานถัดไปได้ทันที โดยไม่ต้องรอส่งพร้อมกับสถานีงานอื่นๆปัญหาที่เกิดขึ้นก็จะเหมือนกับปัญหาของการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ ส่วนการเคลื่อนย้ายงานแบบต่อเนื่องคือการที่ผลิตภัณฑ์ถูกเคลื่อนย้ายตลอดเวลาอย่างต่อเนื่องผ่านไปยังสถานีงานต่างๆพร้อมกัน ในขณะที่กำลังเคลื่อนที่อยู่นั้น พนักงานตามสถานีงานต่างๆก็จะทำการประกอบชิ้นส่วนต่างๆเข้าไป การเคลื่อนย้ายงานโดยมากจะใช้สายพานเป็นตัวลำเลียงและมีโอกาสเกิดปัญหาต่างๆดังนี้คือ

การไม่มีงานป้อน (Starving) สามารถเกิดขึ้นได้เช่นเดียวกับการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ

การมีงานล้นมือ (Congestion) คือการที่งานไม่เสร็จสมบูรณ์ เนื่องจากการที่คนงานไม่สามารถทำงานชิ้นนั้นให้เสร็จก่อนที่ชิ้นงานจะวิ่งผ่านตัวไป

สำหรับการไม่มีที่ส่งงาน (Blocking) นั้นจะไม่เกิดกับการย้ายงานแบบนี้

นอกจากนี้สายงานการประกอบยังสามารถแบ่งออกได้อีก 2 แบบตามลักษณะเวลาทำงานของสถานีงาน คือ

- Paced Line : สายงานการประกอบแบบ Paced Line คือสายงานที่กำหนดให้เวลาทำงานในสถานีทำงานต้องเท่ากับรอบเวลาการผลิต *ct* ซึ่งหมายความว่าทุก *ct* หน่วยเวลา ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะต้องถูกส่งต่อให้กับสถานีทำงานต่อไปไม่ว่าจะทำงานในสถานีทำงานนั้นเสร็จหรือไม่ก็ตาม ถ้าหากทำงานในสถานีนั้นเสร็จก่อนรอบเวลาการผลิต *ct* ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ก็ต้องคอยอยู่ในสถานีทำงานเดิมจนกว่าจะครบ *ct* หน่วยเวลา จะเห็นได้ว่าสายงานประกอบแบบ Paced Line อาจทำให้ได้ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่ไม่สมบูรณ์ซึ่งจะต้องถูกนำไปซ่อมแซมและทำใหม่อีกทีหนึ่ง
- Unpaced Line (Asynchronous Line) : ในสายงานการประกอบแบบ Unpaced Line แต่ละสถานีจะทำงานตามขั้นงานที่ถูกกำหนดให้กับสถานีนั้นๆจนกว่าจะเสร็จ แล้วจึง

เคลื่อนย้ายไปทำงานในสถานีทำงานต่อไป ดังนั้นเวลาทำงานในแต่ละสถานีอาจมากกว่าหรือน้อยกว่ารอบเวลาการผลิตก็ได้

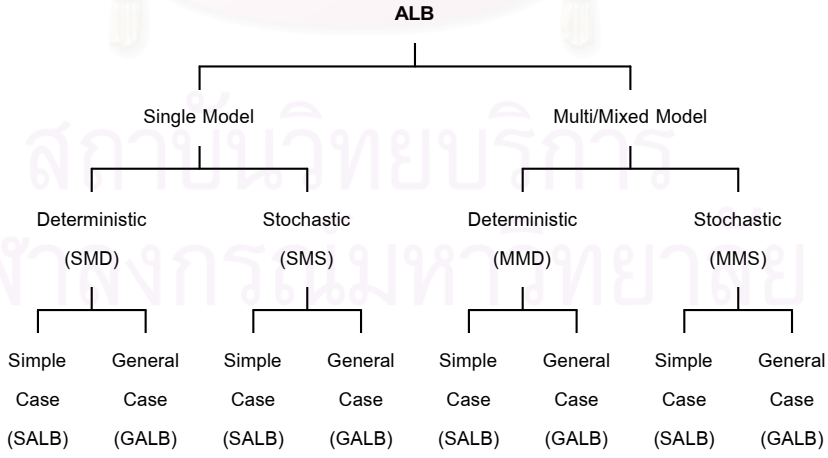
4.2 หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ

การจัดสมดุลของสายงานการประกอบ หรือที่เรียกอีกอย่างหนึ่งว่า การจัดสมดุลสายการผลิต (Production Line Balancing) หมายถึง การพยายามที่จะจัดให้สถานีงานต่างๆ มีอัตราการทำงานหรือเวลาเวลาทำงานหรือเวลาที่ใช้สำหรับแต่ละชิ้นเท่าๆกัน ถ้าหากว่าอัตราการทำงานไม่เท่ากันแล้ว อัตราการผลิตสินค้าของสายการผลิตนั้น จะถูกกำหนดโดยอัตราการทำงานของสถานีงานที่ช้าที่สุด

เนื่องจากในระบบสายงานการประกอบหนึ่งๆจะประกอบไปด้วยขั้นงานต่างๆมากมาย จึงต้องมีการแบ่งงานให้กับสถานีทำงานต่างๆเป็นกลุ่มๆไป การจัดงานต่างๆนี้ สามารถจัดได้มากมายหลายวิธี แต่อย่างไรก็ดี ถ้าสามารถจัดให้แต่ละสถานีมีความสมดุลกัน เวลาว่างเปล่าในแต่ละสถานีก็จะมีน้อย ส่งผลให้สายงานการประกอบนั้นมีประสิทธิภาพสูง จึงทำให้เกิดปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบขึ้น

4.2.1 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 และ Gagnon, 1989) ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 *แผนผังแสดงการจำแนกประเภทปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบ*

1) Single Model Deterministic (SMD)

เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบดั้งเดิม ซึ่งเป็นปัญหาแบบที่ง่ายที่สุด และมีผู้สนใจศึกษาวิจัยมากที่สุด ลักษณะเด่นของปัญหาแบบนี้คือ เป็นการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว และเวลาการทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นถูกกำหนดไว้อย่างแน่นอน

2) Single Model Stochastic (SMS)

เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว เช่นเดียวกับ SMD แต่ต่างกันที่เวลาการทำงานของขั้นงานในแบบ SMS นั้นจะไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงได้ซึ่งปัญหาแบบนี้จะใกล้เคียงกับความเป็นจริงที่ว่า ในสายงานการประกอบแบบ Manual นั้น คนงานมักใช้เวลาในการทำงานขั้นงานต่างๆไม่แน่นอน

ในกรณีที่เวลาการทำงานของขั้นงานต่างๆไม่คงที่ จำเป็นต้องพิจารณาถึงสิ่งเกี่ยวข้องอื่นๆที่ตามมาด้วย เช่น สถานีทำงานที่อาจจะมีเวลาทำงานรวมเกินกว่ารอบเวลาการผลิต การผลิตชิ้นส่วนที่ไม่สมบูรณ์ ขนาดและที่ตั้งของ Inventory Buffer เป็นต้น

3) Multi/Mixed Model Deterministic (MMD)

เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าแน่นอน

โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบผสมมักจะมีขั้นงานและ Precedence Diagram ที่คล้ายกัน ดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเช่นนี้ ต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)

4) Multi/Mixed Model Stochastic (MMS)

เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นไม่แน่นอน ปัญหาแบบนี้เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนมากที่สุด เพราะต้องคำนึงถึงองค์ประกอบที่เกี่ยวข้องอื่นๆ เช่น Learning Effect ระดับทักษะความชำนาญของคนงาน การออกแบบงาน และสายการประกอบแบบนี้ต้องจัดสมดุลใหม่บ่อยๆเนื่องจากมีการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์บ่อย

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบทั้ง 4 ประเภท สามารถแบ่งย่อยออกมาได้อีก 2 แบบคือ

- Simple Case (SALB)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบอย่างง่าย (Simple Assembly Line Balancing Problem: SALB) เป็นปัญหาการกำหนดขั้นงานต่างๆ n งาน ให้กับสถานีทำงานจำนวน m สถานีตามลำดับ โดยที่ขั้นงานแต่ละงานจะใช้เวลาทำงาน t_i หน่วยเวลา และมีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างขั้นงานต่างๆ รวมทั้งรอบเวลาการผลิตเป็นข้อจำกัดที่ต้องพิจารณาประกอบด้วย ผลของการจัดงานให้กับสถานีทำงานที่ได้นั้นจะต้องไม่ขัดกับความสัมพันธ์ระหว่างงานดังกล่าว รวมทั้งเวลาทำงานรวมของแต่ละสถานีจะต้องไม่มากเกินกว่ารอบเวลาการผลิตที่กำหนดให้ นอกจากนี้ผลที่ได้ยังต้องทำให้ค่า Measure of Effectiveness ดีที่สุดอีกด้วย

- General Case (GALB)

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบโดยทั่วไป (General Assembly Line Balancing Problem: GALB) แตกต่างกับ SALB ตรงที่ ในปัญหาแบบ GALB จะมีข้อจำกัด (Restrictions) หรือปัจจัย (Factor) อื่นๆเพิ่มเติมเข้ามา เช่น มีสถานีทำงานแบบขนาน (Parallel Station) มีการพิจารณาขนาดของวัสดุคงคลังในแต่ละสถานี (Buffer Size) และมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการรวมขั้นงาน (Zoning Restriction)

4.2.2 นิยาม

ในการศึกษาถึงปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้น ควรทำความเข้าใจกับคำนิยามที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบดังนี้คือ

1. สายงานการประกอบ (Assembly Line) คือสายงานที่ใช้ในการประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ต้นจนเสร็จ
2. สมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balance) หรือเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า สมดุลสายการผลิต (Production Line Balance) คือ การกำหนดขั้นงานต่างๆในการประกอบสินค้าที่ทำให้ภาระงานในสถานีงานต่างๆใกล้เคียงกัน
3. สถานีทำงาน (Work Station) คือหน่วยหรือบริเวณที่อยู่ตามสายการประกอบ ซึ่งเป็นตำแหน่งที่เกิดกิจกรรมการประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ตาม Operation ที่ได้ถูกกำหนดไว้

4. ขั้นงาน (Work Element หรือ Task) คือขั้นการทำงานงานหนึ่งที่ไม่สามารถแบ่งแยกให้กับคนงานตั้งแต่ 2 คนขึ้นไป หรือเครื่องจักรตั้งแต่ 2 เครื่องขึ้นไป โดยไม่มีความขัดแย้งระหว่างกันได้
5. เวลาของขั้นงาน (Work Element Time) เป็นเวลาที่ใช้ในการทำขั้นงานนั้นๆ
6. งานในแต่ละสถานี (Operation) คือกลุ่มของขั้นงานต่างๆที่รวมกัน และเป็นกลุ่มงานที่ทำในสถานีทำงานหนึ่งๆ
7. รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) คือเวลาซึ่งชิ้นส่วนต่างๆจะถูกประกอบจนแล้วเสร็จบนสายการประกอบ
8. ระยะเวลาการทำงาน (Period of Time) คือช่วงเวลาการทำงานอาจเป็นระยะเวลาที่ทำงานต่อกะหรือต่อวัน
9. ความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Relationship) คือความสัมพันธ์ระหว่าง 2 ขั้นงาน โดยที่ขั้นงานแต่ละขั้นอาจมีความสัมพันธ์กับขั้นงานอื่นมากกว่า 1 ขั้นงานก็ได้ ลักษณะการกำหนดความสัมพันธ์จะมี 2 แบบคือ

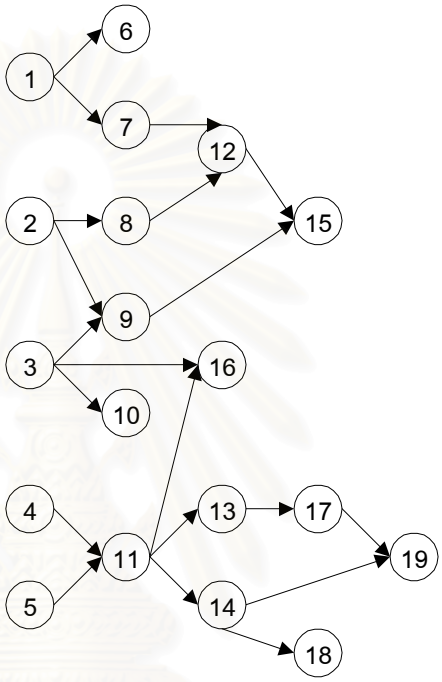
    - ขั้นงานหนึ่งจะต้องทำก่อนอีกขั้นงานหนึ่ง หมายความว่าขั้นงานที่ถูกกำหนดให้ต้องทำก่อนจะถูกจัดให้กับสถานีทำงานที่อยู่ลำดับหลังกว่าสถานีทำงานของอีกขั้นงานหนึ่งไม่ได้
    - ขั้นงานหนึ่งจะต้องทำหลังอีกขั้นงานหนึ่ง หมายความว่าขั้นงานที่ถูกกำหนดให้ทำทีหลังจะถูกจัดให้กับสถานีทำงานที่อยู่ในลำดับก่อนหน้าสถานีทำงานของอีกขั้นงานหนึ่งไม่ได้

10. แผนภาพการผลิตก่อนหลัง (Precedence Diagram) คือรูปแสดงขั้นตอนและลำดับการทำงานก่อนหลังของผลิตภัณฑ์
11. วิธีฮิวริสติก (Heuristic Algorithm) เป็นลำดับขั้นของการพิจารณาคัดเลือกในการกำหนดงานให้กับสถานีหรือหน่วยงาน โดยปกติทั่วไป ในแต่ละรอบของการพิจารณาจะพยายามคัดเลือกหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งอาศัยสามัญสำนึก(common sense) มากกว่าที่จะเป็นการพิสูจน์ทางคณิตศาสตร์ ดังนั้นจึงไม่อาจรับประกันได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเหมาะสมที่สุด

4.2.3 ข้อมูลพื้นฐานที่ต้องรู้ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ ข้อมูลที่เราจำเป็นต้องรู้ คือ

1. ข้อมูลแสดงขั้นตอนการทำงานต่างๆ ซึ่งจะบอกให้เราทราบถึงลำดับก่อนหลังของขั้นงานต่างๆ โดยเราอาจจะเขียนเป็นไดอะแกรม (Precedence Diagram)ดังแสดงในรูปที่ 4.3 ซึ่งความหมายของวงกลมคืองาน และลูกศรจะเป็นตัวแสดงลำดับขั้นก่อนหลังของงาน
2. ข้อมูลแสดงเวลาที่ใช้ในการทำงานต่างๆ ซึ่งควรเป็นเวลามาตรฐาน (Standard Time) ของงานนั้นๆ



รูปที่ 4.3 ไดอะแกรมแสดงความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน

3. ข้อจำกัดในการปฏิบัติงาน
4. อัตราการผลิตที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้คำนวณหารอบเวลาการผลิตที่เหมาะสม

4.2.4 ขั้นตอนในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

การจัดสมดุลของสายงานการประกอบ ประกอบด้วยขั้นตอนต่างๆดังต่อไปนี้

1. กำหนดขั้นตอนการทำงานต่างๆ ซึ่งจะเป็นสิ่งที่บอกให้ทราบถึงลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานต่างๆ (Precedence Relationships)
2. กำหนดเวลาที่ใช้ในการทำงานขั้นต่างๆ ซึ่งควรเป็นเวลามาตรฐานของงานนั้นๆ
3. คำนวณรอบเวลาการผลิตจากอัตราการผลิตที่กำหนดมาให้
4. คำนวณหาจำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุดที่ต้องการจากรอบเวลาการผลิต

5. เลือกงานมาจัดลงสถานีทำงานโดยต้องพิจารณาถึงลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานต่างๆ และเวลารวมของงานในแต่ละสถานีต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตที่กำหนดไว้ โดยเราสามารถจัดงานให้กับสถานีทำงานได้มากถึง $(N!)/(2)^r$ แบบ แต่ในความเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถทดลองจัดแบ่งสถานีทำงานตามทุกคำตอบ จึงต้องนำเทคนิคต่างๆเข้ามาใช้ในการจัด

4.3 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียว

การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวคือการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีผลิตภัณฑ์เพียงผลิตภัณฑ์เดียว ซึ่งวิธีจัดสมดุลของสายงานการประกอบมีหลายวิธี แต่ที่นิยมกันมากคือวิธี COMSOAL คำว่า COMSOAL ย่อมาจากคำว่า Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งทาง Heuristic ที่ใช้คอมพิวเตอร์ช่วยในการจัดสายงาน วิธีนี้เป็นที่นิยมอย่างมาก เพราะเป็นวิธีที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อน และใช้เวลาในการคำนวณไม่มากนัก

A.L. Arcus เป็นผู้คิดค้นวิธีนี้ขึ้นมา โดยอาศัยการสร้างแนวทางของคำตอบให้มากขึ้นจากการสุ่มเลือกงานที่จะจัดกลุ่มอย่างมีหลักเกณฑ์ (Biased Sampling) จัดงานเข้าไปในสถานีงานแล้วนำผลที่ได้จากการจัดสมดุลแต่ละกฎเกณฑ์มาเปรียบเทียบหาประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้แนวทางในการจัดสมดุลที่มีประสิทธิภาพที่สุด

ขั้นตอนในการทำงานของ COMSOAL มีดังนี้

1. จำแนกชื่องานทุกงานที่มีอยู่ในสายงานการประกอบ พร้อมทั้งรายชื่องานย่อยทุกงานที่ต้องตามหลังงานนั้นโดยทันที (Immediate Following Tasks)
2. สร้าง LIST A ซึ่งประกอบด้วยงานย่อยทุกๆงานที่ยังไม่ได้จัดให้อยู่ในสถานีใด และจำนวนงานที่ต้องทำทันทีก่อนหน้างานนั้น (Immediate Preceding Tasks)
   ถ้าใน LIST A ไม่มีงานใดอยู่เลย ก็แสดงว่าการจัดเสร็จเรียบร้อย
3. สร้าง LIST B โดยเลือกงานที่ไม่มีงานทำก่อนหน้าจาก LIST A มาลงในLIST B ดังนั้น LIST B จึงเปรียบเสมือนการรวบรวมงานที่พร้อมทีจะจัดสายงานได้ไว้
4. เลือกงานจาก LIST B มาเพียงงานเดียวโดยวิธีสุ่มแบบมีกฎเกณฑ์ซึ่งจะได้กล่าวต่อไป งานที่เลือกมานี้จะถือว่าเป็นงานที่จัดเข้าในสถานีทำงานอย่างถาวร และในการเลือกจะต้องตรวจดูเวลาที่เหลืออยู่ในสถานีทำงานกับงานที่เลือกนั้นด้วย ซึ่งงานที่เลือกมานั้นจะต้องใช้เวลาไม่เกินเวลาที่เหลืออยู่ ถ้าหากไม่มีงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาที่เหลืออยู่ก็ให้เลือกงานต่อไปที่มีอยู่ใน LIST B ซึ่งถ้าหากไม่มีงานที่ใช้เวลาน้อยกว่าหรือเท่ากับเวลาที่เหลืออยู่ก็ให้เพิ่มสถานีงานใหม่ขึ้นอีกสถานีหนึ่งในลำดับต่อจาก

สถานีงานอันเดิม และถ้ามีเวลาเหลือสำหรับสถานีใหม่นี้เท่ากับรอบเวลาการผลิต หลังจากนั้นจึงกลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 4 ใหม่ โดยเลือกงานลงในสถานีงานใหม่นี้ งานที่ได้รับเลือกในขั้นตอนนี้จะใส่ลงใน LIST C ซึ่งในแต่ละครั้งจะมีการเลือกเพียงงานเดียวเท่านั้น

5. ลบงานที่เลือกไว้ใน LIST C ออกจาก LIST A เนื่องจากงานนั้นได้ถูกกำหนดให้อยู่ในสถานีทำงานอย่างถาวรแล้ว จากนั้นย้อนกลับไปทำในข้อที่ 2

การเลือกงานในข้อที่ 4 เป็นการเลือกงานแบบสุ่ม ดังนั้นประสิทธิภาพของสายงานจึงไม่แน่นอนเพราะไม่มีหลักเกณฑ์ในการเลือก ดังนั้นจึงได้มีการคิดค้นการเลือกงานจาก LIST B เข้า LIST C ใหม่เรียกว่า Biased selection ซึ่งมีหลายวิธีคือ

1. เลือกขั้นงานที่ใช้เวลาทำงานมากที่สุดก่อน

$$W_I = T_I \; / \; \sum_j \; T_j$$

โดยที่ W_I = น้ำหนักถ่วงของขั้นงานที่ I ใน LIST C

T_I = เวลาของขั้นงานที่ I

T_j = เวลารวมของขั้นงานทั้งหมด ใน LIST C

2. เลือกงานที่มีงานตามหลังโดยทันทีมากที่สุดก่อน

$$W_I = X_I \; / \; \sum_j \; X_j$$

โดยที่ X_I = จำนวนขั้นงานตามหลังโดยทันทีของขั้นงาน I

3. เลือกงานที่ใช้เวลาทำงานน้อยที่สุดก่อน

$$W_I = T_I \; / \; \sum_j \; T_j$$

4. เลือกขั้นงานที่มีจำนวนขั้นงานตามหลังทันทีมากที่สุดก่อน หรือเลือกขั้นงานที่มีจำนวนขั้นงานก่อนหน้าโดยทันทีมากที่สุดก่อน

$$W_I = Y_I \; / \; \sum_j \; Y_j$$

หรือ $$W_I = Z_I \; / \; \sum_j \; Z_j$$

โดยที่ Y_I = จำนวนขั้นงานก่อนหน้าโดยทันทีของขั้นงาน I

Z_I = จำนวนขั้นงานตามหลังโดยทันทีของขั้นงาน I

5. เลือกขั้นงานที่ทำให้ 1 / X’ มากที่สุด

$$X' = 1 / (U - N_I)$$

โดยที่ U = จำนวนขั้นงานทั้งหมดที่ยังไม่ได้ถูกเลือก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

N_I = จำนวนขั้นงานทั้งหมดที่ตามหลังขั้นงานที่ I บวกด้วย 1

$W_I = \{ / (U - N_I)\} / \{ \sum_j \ 1 / (U - N_j) \}$

6. เลือกขั้นงานที่มีจำนวนขั้นงานที่ตามหลังทั้งหมด บวกด้วย 1 มากที่สุดก่อน

$$W_I = N_I \ / \ \sum_j \ N_j$$

7. เลือกขั้นงานที่มีเวลารวมทั้งหมดของขั้นงานที่ตามหลังขั้นงาน I บวกด้วยเวลาของขั้นงาน I มากที่สุดก่อน

$$W_I = (T_I + R_I) \ / \ \sum_j \ (T_j + R_j)$$

โดยที่ R_j = เวลารวมของขั้นงานทั้งหมดที่ตามหลังขั้นงาน I

8. เลือกขั้นงานที่มี

$$W_I = (N_I / M_I) \ / \ \sum_j \ (N_j / M_j)$$

โดยที่ M_j = จำนวนขั้นงานทั้งหมดที่เชื่อมต่อกันยาวที่สุดที่ตามหลังขั้นงาน I บวกด้วย 1

9. เลือกขั้นงานโดยใช้ผลคูณของวิธีที่ 5, 6, 7, และ 8 เลือกขั้นงานที่มีผลลัพธ์มากที่สุด

A.L. Arcus ได้ระบุว่าวิธีที่ 9 เป็นวิธีที่จะให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดสำหรับจัดสมดุลสายการประกอบ ดังนั้นในการวิจัยครั้งนี้จึงเลือกใช้วิธีที่ 9 ในการทำ Biased Sampling

4.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่างขึ้นไป โดยที่มีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานแต่ละขั้นเป็นค่าแน่นอน

โดยทั่วไปแล้ว ผลิตภัณฑ์ที่ถูกผลิตในสายงานการประกอบแบบผสมมักจะมีขั้นงานและ Precedence Diagram ที่คล้ายกัน ดังนั้นเราจึงมักออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ดังกล่าว ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบเช่นนี้ ต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)

วิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมมี 2 วิธี คือ วิธีการทาง Mathematical และ วิธีทาง Heuristic ซึ่งวิธีการทางด้าน Mathematical Programming ไม่

เหมาะสมที่จะนำมาใช้ในทางปฏิบัติ เพราะมีความยุ่งยากซับซ้อน ประกอบกับวิธีการทางด้าน mathematical ไม่สามารถนำไปสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาทั่วไปได้ จึงมีผู้คิดค้นวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมขึ้น ซึ่งเป็นวิธีการที่ง่าย และเหมาะสมที่จะนำมาประยุกต์ใช้มากกว่า คือ วิธีการของ Thomopoulos (1967) โดยนำวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยให้พิจารณาถึงแผนการผลิตทั้งหมดในแต่ละวัน (Daily Basis) หรือในช่วงเวลากะ (Shiftly Basis) แทนที่จะพิจารณาถึงรอบเวลาการผลิต (Cycle Time Basis) ซึ่งสรุปได้ดังนี้คือ

1. ใช้ระยะเวลาที่ทำงานต่อวัน หรือต่อกะ(Period of Time) แทนรอบเวลาการผลิต (Cycle Time)
   ตัวอย่างเช่น มีการทำงานทั้งหมด 8 ชั่วโมง เพื่อผลิตสินค้าให้ได้จำนวนที่ต้องการจำนวนหนึ่ง นั้นคือระยะเวลาที่ทำงาน (Period of Time) ก็เท่ากับ 8 ชั่วโมงหรือ 480 นาที
2. แทนเวลาย่อยในแต่ละขั้นงาน ด้วยเวลาทั้งหมดที่ต้องการใช้ทำงานนี้สำหรับทุกๆ ชิ้นงาน ของทุกๆ แบบผลิตภัณฑ์ ดังตัวอย่างที่แสดงใน ตารางที่ 4.1 ดังนี้

ตารางที่ 4.1 *ตัวอย่างการคำนวณเวลารวมของขั้นงาน*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน / ผลิตภัณฑ์			เวลาทำงานรวม (นาที)
	ผลิตภัณฑ์ A 100 ชิ้น / วัน	ผลิตภัณฑ์ B 50 ชิ้น/วัน	ผลิตภัณฑ์ C 20 ชิ้น / วัน	
1	1.0	0	1.2	124
2	0.5	0.4	1.5	100
3	0.4	1.0	0.5	100

เวลาทำงานรวมของขั้นงานที่ 1 = (1.0*100)+(0.0*50)+(1.2*20) = 124
เวลาทำงานรวมของขั้นงานที่ 2 = (0.5*100)+(0.4*50)+(1.5*20) = 100
เวลาทำงานรวมของขั้นงานที่ 3 = (0.4*100)+(1.0*50)+(0.5*20) = 100

3. แผนภาพลำดับก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram) เกิดจากการรวมกันของแผนภาพลำดับก่อนหลังของแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังแสดงในรูปที่ 4.4

รูปที่ 4.4 *การสร้างแผนภาพลำดับก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram)*

สำหรับการป้อนผลิตภัณฑ์เข้าสายการประกอบ (Model Launch Discipline) เป็นการกำหนดช่วงระยะเวลาระหว่างผลิตภัณฑ์แต่ละขั้น ที่เริ่มต้นป้อนเข้าในสายงานการประกอบ มีหลักปฏิบัติ 2 แบบคือ

1. การป้อนแปรผัน (Variable Rate Launching) ซึ่งในช่วงเวลาการป้อนจะแปรผันไปตามเวลาที่ใช้ในการผลิต ผลิตภัณฑ์ก่อนหน้าในสถานีงานแรก นั่นคืองานจะถูกป้อนเข้าไปทันทีที่สถานีงานแรกว่าง จากวิธีการนี้จะทำให้สถานีงานมีงานทำค่อนข้างตลอดเวลา จึงเหมาะสมที่จะนำไปใช้ในสายการผลิตที่มีการเคลื่อนย้ายงานด้วยมือ (Manual line) ที่มีบัฟเฟอร์ระหว่างสถานีงาน เพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ที่มาเข้าคิวรอหรือใช้กับสายการผลิตที่มีการเคลื่อนย้ายงานโดยสายพาน โดยมีข้อแม้ว่าสามารถเคลื่อนย้านงานจากสายพานไปเก็บไว้ในบัฟเฟอร์ระหว่างสถานีงานได้ ด้วยวิธีการป้อนแบบแปรผันนี้การจัดลำดับผลิตภัณฑ์ (Model Sequencing) จึงมีผลน้อยมากในการลดเวลา

เนื่องจากการรอของผลิตภัณฑ์ นอกจากสามารถป้อนผลิตภัณฑ์เป็นแบบ Batch โดยเลือกป้อนผลิตภัณฑ์ที่ใช้เวลาน้อยที่สุดก่อน

2. การป้อนแบบคงที่ (Fixed Rate Launching) เป็นการป้อนงานโดยมีช่วงเวลาระหว่างการป้อนแต่ละครั้งคงที่ค่าหนึ่ง ถ้าหากผลิตภัณฑ์ที่ถูกป้อนเข้ามาใช้เวลาในสถานีงานน้อยกว่าช่วงเวลาที่ป้อน ก็จะทำให้เกิดการว่างงานของสถานีงาน (Station Idle Time) แต่ถ้าหากใช้เวลาในสถานีงานมากกว่าช่วงเวลาป้อนก็จะเกิดการเข้าคิวรอของผลิตภัณฑ์ หรือถ้าใช้ในสายการผลิตที่มีการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์โดยใช้สายพานลำเลียง อาจทำให้งานนั้นเกิดการประกอบที่ไม่สมบูรณ์ออกไป วิธีการนี้จะต้องใช้ควบคู่ไปกับการจัดลำดับของผลิตภัณฑ์ (Model Sequencing) เพื่อที่จะให้การทำงานของสายการผลิตมีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยทั่วไปวิธีการนี้เหมาะสมกับสายการผลิตที่ใช้สายพานในการเคลื่อนที่ย้ายงาน

4.5 การประเมินประสิทธิภาพสายงานการประกอบ

การประเมินประสิทธิภาพของสายงานการประกอบทั่วไป ทำได้โดยดูจากตัววัดประสิทธิภาพต่างๆ (Measure of Performance) ซึ่งตัววัดต่างๆเหล่านี้จะถูกใช้เป็นวัตถุประสงค์ในการจัด (Objective Criteria) ของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ

4.5.1 *การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิค* ตัววัดประสิทธิภาพทางเทคนิคที่ใช้ คือ

ก. จำนวนสถานีทำงาน (เมื่อกำหนดรอบเวลาการผลิตมาให้)

ข. รอบเวลาการผลิต (เมื่อกำหนดจำนวนสถานีทำงานมาให้)

ค. เวลาว่างงานรวม

ง. ความแปรปรวนของภาระงาน (Workload Variance)

จ. ประสิทธิภาพของสายงาน หาได้จากสมการ 4.1

$$Line_Eff. = \frac{\sum_{i=1}^{n} Ti}{(n \times ct)} \times 100 \qquad (4.1)$$

เมื่อ $Line_Eff$ คือประสิทธิภาพของสายงานการประกอบ

T เป็นเวลาที่ใช้ในสถานี $i\,(i=1,2,3,\ldots,n)$

n เป็นจำนวนสถานีทำงานทั้งหมด

ct เป็นรอบเวลาการผลิต

ฉ. Throughput Time คือ ช่วงเวลาตั้งแต่นำชิ้นงานเข้าสู่สายการประกอบจนกระทั่งนำงานสำเร็จรูปออกจากสายงาน หรืออาจกล่าวได้ว่าเป็นตัววัดความยาวของสายการประกอบในรูปของเวลา

ช. Smoothness Index เป็นตัววัดความเท่าเทียมกันในการกระจายงานให้กับสถานีต่างๆ สามารถหาค่าได้ตามสมการ 4.2

$$SX = \sqrt{\sum_{i=1}^{n}(ct - Ti)} \qquad (4.2)$$

เมื่อ SX = Smoothness Index

ซ. ความน่าจะเป็นที่จะมีหนึ่งสถานีหรือมากกว่าที่มีเวลาทำงานเกินกว่ารอบเวลาการผลิต

4.5.2 *การวัดประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์* ตัววัดประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ที่ใช้ คือ

ก. ค่าใช้จ่ายรวมที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงงาน สถานีทำงานและงานที่ไม่เสร็จสมบูรณ์

ข. ค่าแรงต่อหน่วยผลิต

ค. ค่าปรับรวมของงานที่ไม่มีประสิทธิภาพ

ง. ค่าวัสดุคงคลัง ค่า Set-up และค่าใช้จ่ายในการว่างงาน

จ. ค่าวัสดุคงคลังในระหว่างการผลิตรวม

ฉ. กำไรสุทธิ

ตัววัดประสิทธิภาพอาจมีเพิ่มเติมจากนี้ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมในการใช้งานจริง

4.6 สรุปท้ายบท

สายงานการประกอบทั่วไปสามารถแบ่งเป็นสายการประกอบแบบลิตภัณฑ์เดียว สายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์และสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบคือปัญหาการกำหนดขั้นงานให้กับสถานีทำงานเพื่อให้เกิดสายการประกอบที่ดีที่สุด โดยไม่ขัดกับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน และเวลาทำงานในแต่ละสถานีงานต้องไม่เกินรอบ

เวลาการผลิตสูงสุดที่กำหนด และแต่ละขั้นงานจะต้องถูกจัดให้กับสถานีทำงานใดสถานีทำงานหนึ่งเท่านั้น

ในการจัดสมดุลสายการประกอบข้อมูลที่จำเป็นได้แก่ เวลาทำงานของขั้นงาน ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน รอบเวลาการผลิต เมื่อได้ข้อมูลแล้วนำมาหาความสามารถสูงสุดของแต่ละสถานีงาน แล้วจึงเลือกงานมาจัดให้กับสถานีงาน สำหรับการจัดงานในสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวมีหลายวิธี แต่ที่นิยมคือวิธี COMSOAL ส่วนปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมจะทำโดยการนำวิธีการของการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดียวมาประยุกต์ โดยใช้ระยะเวลาทำงานแทนรอบเวลาการผลิต แทนเวลาย่อยในแต่ละขั้นงาน ด้วยเวลาทั้งหมดที่ต้องการใช้ทำงานนี้สำหรับทุกๆ ชิ้นงาน ของทุกๆ แบบผลิตภัณฑ์ แผนภาพลำดับก่อนหลังรวมเกิดจากการรวมกันของแผนภาพลำดับก่อนหลังของแต่ละผลิตภัณฑ์ สำหรับการประเมินผลสายการประกอบจะใช้ตัววัดประสิทธิภาพทั้งทางด้านเทคนิคและตัววัดประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5
เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม(MMAL)

ในปัจจุบันเจนเนติกอัลกอริทึมถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา Optimization Problem มากขึ้น ซึ่งโดยส่วนมากแล้ว เจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้จะมีโครงสร้างหลักคล้ายคลึงกันตามแบบของเจนเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย คือ มีการเข้ารหัสและสร้างประชากรเริ่มต้น (Representation) การรีโปรดักชั่น (Reproduction) การครอสโอเวอร์ และการมิวเตชั่น แต่อย่างไรก็ตาม เจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับแต่ละปัญหาก็จะมีรายละเอียดปลีกย่อยในโครงสร้างหลักที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับความเหมาะสมต่อรูปแบบปัญหานั้นๆ

เนื้อหาในบทนี้จะนำเสนอการประยุกต์เจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อใช้สำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยมีกฎเกณฑ์ในการจัด (Criteria) หรือในที่นี้เรียกว่าวัตถุประสงค์ (Objective) คือ เพื่อให้เกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด และให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดด้วย

5.1 ลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

ปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบของงานวิจัยนี้เป็นปัญหาประเภท Mix Model Deterministic แบบ Simple Case ซึ่งมีลักษณะดังนี้

1. เป็นปัญหาการกำหนดขั้นงาน (Work Element) ให้กับสถานีทำงานต่างๆ โดยมีวัตถุประสงค์ในการจัด*เพื่อให้มีจำนวนสถานีทำงาน (n) น้อยที่สุด*ค่านี้สามารถหาได้จากสมการที่ 5.1

$$[W/T] \le \text{Minimum } n \le \text{จำนวนสถานีสูงสุดที่ยอมรับได้} \qquad (5.1)$$

2. เพื่อให้เกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุด ซึ่งหาได้จากสมการที่ 5.2

$$\text{Minimize Total Idle Time} = \text{Minimize} \sum_{i}^{n} (T - T_i) \qquad (5.2)$$

เนื่องจากปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่พิจารณาเป็นแบบกำหนดเวลาทำงานคงที่ MMD ดังนั้นไม่ว่าจะจัดแบบใดค่าผลรวมของเวลาทำงานรวมของเวลาทำงานในแต่ละสถานี ($\sum_{i}^{n} T_i$) จะมีค่าเท่าเดิม คือเท่ากับเวลาทำงานรวมของทุกขั้นงาน และระยะเวลาทำงาน (Period of Time: T) จะเป็นค่าที่กำหนดให้ซึ่งมีค่าคงที่ ดังนั้นถ้าต้องการให้สมการที่ 5.2 มีค่าน้อยที่สุด จะต้องทำให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดด้วย ดังนั้นวัตถุประสงค์ทั้งสองข้อจึงสอดคล้องกัน

3. นอกจากนั้นยังพิจารณาการจัดเพื่อให้มีภาระงานในแต่ละสถานีเท่าๆกัน หรืออาจกล่าวได้อีกอย่างหนึ่งว่า เพื่อให้มีความแปรปรวนของภาระงานน้อยที่สุด ค่านี้สามารถหาได้จากสมการที่ 5.3

$$wv = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Ti - \left(\frac{W}{n} \right) \right)^2}{n} \qquad (5.3)$$

เมื่อ wv = ความแปรปรวนของภาระงาน

n = จำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดเป็นจำนวนเต็ม

W = Total Processing Time

T_i = เวลาทำงานของสถานีที่ i

T = Period of Time

4. เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบของสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม (Mix Model Assembly Line)
5. เวลาทำงานคงที่ ไม่ขึ้นกับลำดับการจัดงาน และไม่ขึ้นกับสถานีที่ทำงานนั้นๆ
6. สายงานการประกอบมีลักษณะเป็นแบบ Machine Dominate ดังนั้นเวลาที่ใช้ในการทำงานแต่ละงานจะกำหนดเป็นเวลามาตรฐานตามเวลาทำงานของเครื่องจักร
7. ในการจัดงานให้กับสถานีต่างๆจะยึดหลักการจัดเพื่อให้มีจำนวนสถานีน้อยที่สุด ดังนั้นในการกำหนดงานให้กับสถานีจะพยายามกำหนดงานให้กับสถานีตามลำดับ กล่าวคือ จะกำหนดงานให้กับสถานีแรกจนเต็มความสามารถ (Capacity) ก่อนแล้วจึงค่อยกำหนดงานที่เหลือให้กับสถานีทำงานถัดไป

8. เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบให้กับสายงานการประกอบสายงานใหม่ ซึ่งยังไม่มีการติดตั้งอุปกรณ์ เครื่องจักรใดๆในสถานีการทำงาน ดังนั้นงานต่างๆจึงสามารถถูกจัดเข้าสถานีทำงานใดๆก็ได้ (ไม่มีข้อจำกัดของ Zoning Restriction)
9. สายงานการประกอบมีระบบการผลิตแบบ Flow Shop
10. สายงานการประกอบเป็นแบบอนุกรม คือแต่ละสถานีทำงานต่อเนื่องกันตามลำดับ ไม่มีสถานีที่ทำงานขนานกัน
11. ไม่มีการจำกัดขนาด Buffer Size ของแต่ละสถานีทำงานในสายงานการประกอบ
12. ทุกสถานีทำงานมีความสามารถในการทำงานเท่ากัน และความสามารถสูงสุดของแต่ละสถานีกำหนดจากระยะเวลาทำงาน
13. ข้อมูลเข้า(Input) ประกอบไปด้วย ขั้นการทำงาน (Work Element) เวลาทำงาน (Processing Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นการทำงาน (Precedence Relationships) และช่วงเวลาการทำงาน(Period of Time)อาจเป็นต่อกะหรือต่อวัน ซึ่งทราบค่าแน่นอนอยู่แล้ว

    นอกจากนี้ ในการจัดยังต้องพิจารณาถึงข้อจำกัดต่างๆ ได้แก่

    - แต่ละขั้นงานจะถูกจัดให้กับสถานีงาน 1 สถานีเท่านั้น ไม่สามารถแยกงานไปทำคนละสถานีได้
    - จำนวนสถานีจะเท่ากันสำหรับทุกๆแบบผลิตภัณฑ์
    - การกำหนดงานให้กับสถานีงานต้องไม่ขัดกับลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของงาน
    - ในแต่ละสถานีทำงานสามารถทำงานได้หลายงาน แต่เวลารวมของการทำงานในสถานีทำงานนั้นๆต้องไม่เกินระยะเวลาการทำงาน (Period of Time)
    - จำนวนสถานีทั้งหมดในสายงานการประกอบต้องไม่น้อยกว่าจำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดที่เป็นไปได้ และต้องไม่เกินจำนวนสถานีทำงานสูงสุดที่ยอมรับได้
    - งานทุกงานต้องถูกจัดให้กับสถานีใดสถานีหนึ่งบนสายงานการประกอบ

14. Measure of Performance ที่ต้องคำนวณหานอกเหนือไปจากค่า จำนวนสถานีที่ใช้ เวลาว่างงานรวม Workload Variance ได้แก่ ประสิทธิภาพสายงานการประกอบ

5.2 โครงสร้างของเจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

5.2.1 ***โครงสร้างหลัก*** ประกอบด้วย 5 ส่วนคือ

1. Initialization เป็นการใส่รหัสคำตอบและสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

2. Reproduction เป็นการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสม โดยดูจากค่าความเหมาะสม (Fitness) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ในส่วนของการ Reproduction จะแบ่งเป็นขั้นตอนย่อย 3 ขั้นตอน คือ

   2.1 Decoding เป็นการแปลความหมายของสตริงคำตอบ ในที่นี้คือการถอดรหัสคำตอบ

   2.2 Evaluation เป็นการคำนวณหาค่าต่างๆเพื่อนำไปสู่การหาค่าความเหมาะสม (Fitness) ของสตริงคำตอบ

   2.3 Selection เป็นกระบวนการในการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสมมากกว่า

3. Crossover เป็นการสร้างสตริงคำตอบตัวใหม่จากการแลกเปลี่ยนชิ้นส่วนระหว่างสตริงคำตอบ 2 ตัว
4. Mutation เป็นการสร้างสตริงคำตอบตัวใหม่โดยการย้ายค่าบางตำแหน่งภายในสตริงคำตอบ
5. Elite Preserve Strategy เป็นการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ได้จากการเปรียบเทียบระหว่างสตริงคำตอบที่สร้างใหม่ กับสตริงคำตอบตัวที่ดีที่สุดตัวเดิม

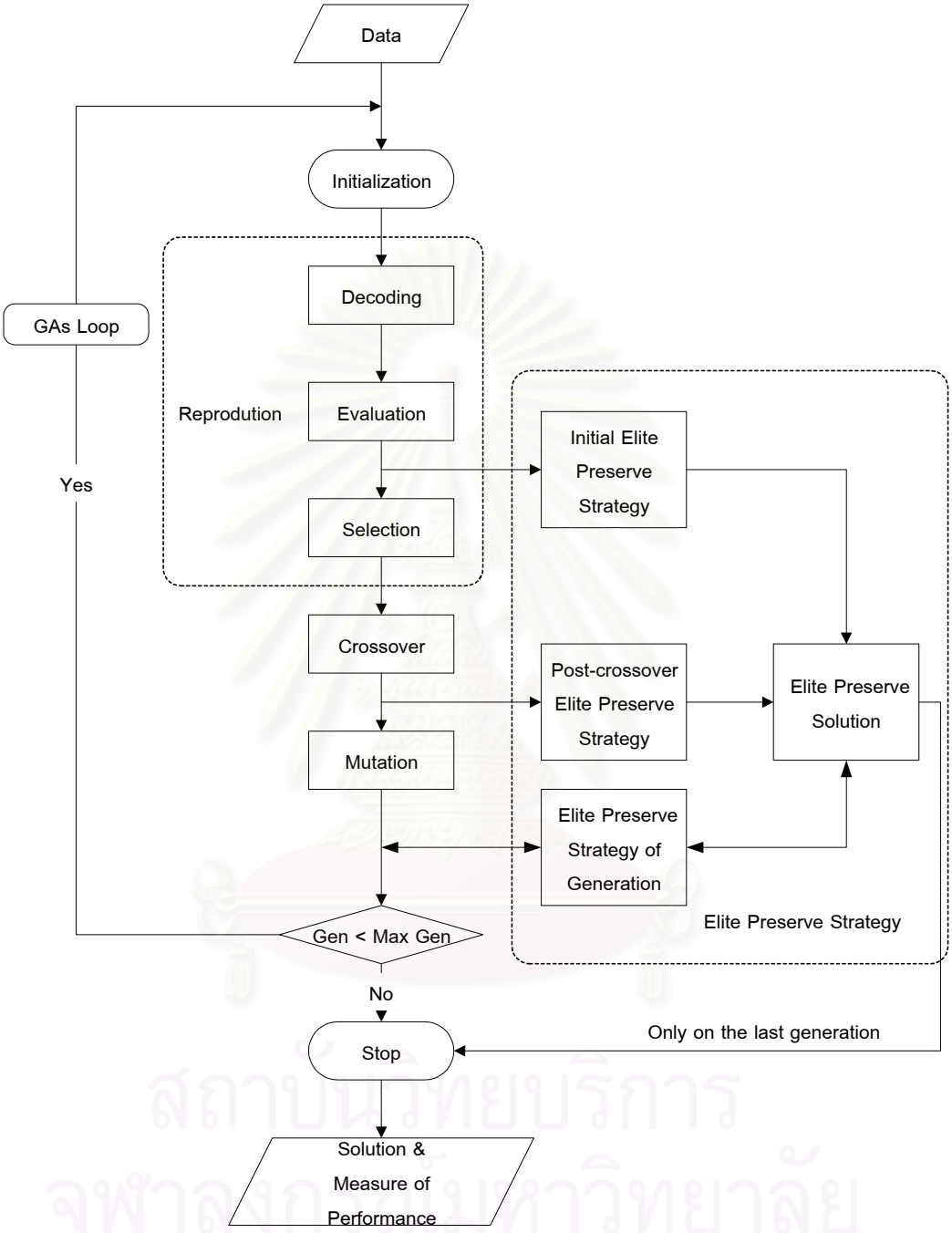
5.2.2 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอริทึม

1. **Data Input :** รับข้อมูลเข้าต่างๆ ซึ่งได้แก่ จำนวนขั้นงาน เวลารวมแต่ละขั้นงาน ความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน ช่วงระยะเวลาการทำงาน จำนวนสถานีสูงสุดที่ยอมรับได้
2. **Representation & Initialization :** นำข้อมูลต่างๆมาสร้างคำตอบเบื้องต้นแบบสุ่มจำนวน *popsize* ตัว โดยผ่านกระบวนการใส่รหัสคำตอบ (Representation) และการสร้างประชากรเบื้องต้น (Initial Population)
3. **Decoding :** นำรหัสคำตอบของประชากรเบื้องต้นทุกตัว มาถอดรหัสคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่สมบูรณ์และสามารถนำไปคำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการได้
4. **Evaluation :** คำนวณหาค่าต่างๆที่ต้องการ เช่น จำนวนสถานีที่ต้องการ เวลาว่างงานรวม ค่าความแปรปรวนของภาระงาน ค่าประสิทธิภาพสายการประกอบ แล้วนำค่าเหล่านี้ไปคำนวณหาค่า Fitness ของประชากรเบื้องต้นทุกตัว
5. **Initial Elite Preserve Strategy :** หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากประชากรเจนเนอเรชั่นแรกและเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดนี้ไว้เป็น Elite Preserve Solution
6. **Selection :** คัดเลือกคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool เพื่อเตรียมทำการจับคู่ โดยอาศัยวิธี Selection หาคำตอบที่มีความเหมาะสมมากกว่า

7. **Crossover :** ทำการจับคู่คำตอบที่อยู่ใน Mating Pool และทำการครอสโอเวอร์ ด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ Pc
8. **Post-crossover Elite Preserve Strategy :** หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการครอสโอเวอร์แล้วนำมาเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ที่มีอยู่ ถ้าคำตอบที่ได้จากการ ครอสโอเวอร์ดีกว่า ก็ให้เก็บคำตอบนั้นเป็น Elite Preserve Solution แทน
9. **Mutation :** ทำการมิวเตชั่นสตริงคำตอบที่มีด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น เท่ากับ Pm
10. **Elite Preserve Strategy of Generation :** หาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากการมิวเตชั่นแล้วนำมาเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ที่มีอยู่ ถ้าคำตอบที่ได้จากมิวเตชั่นดีกว่า ก็ให้เก็บคำตอบนั้นเป็น Elite Preserve Solution แทน แต่ถ้า Elite Preserve Solution ดีกว่า ก็ให้แทนที่คำตอบที่แย่ที่สุดจากการมิวเตชั่นด้วย Elite Preserve Solution
11. **GAs-loop :** ดูว่า เจนเนอเรชั่น น้อยกว่าจำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดหรือไม่ ถ้าน้อยกว่าให้กลับไปทำข้อที่ 7-10 ถ้าไม่ให้ทำข้อที่ 12
12. **Stop :** หยุดกระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึม และนำค่า Elite Preserve Solution มาเป็นคำตอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

โครงสร้างและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึมแสดงได้ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 *แผนผังแสดงโครงสร้างและวิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3 วิธีการของเจนเนติกอัลกอริทึม

5.3.1 การใส่รหัสคำตอบ (Chromosome Representation / Coding)

ขั้นตอนแรกของเจนเนติกอัลกอริทึม คือการกำหนดรูปแบบของการใส่รหัสคำตอบ ซึ่งถือว่าเป็นขั้นตอนที่สำคัญและมีผลอย่างมากต่อขั้นตอนอื่นๆของ GAs การใส่รหัสคำตอบ คือ การเปลี่ยนคำตอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของสตริงคำตอบ (หรือที่เรียกว่า Chromosome) วิธีการใส่รหัสคำตอบมีทั้งแบบ Binary String และ Non-binary String ในกรณีของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม คำตอบของปัญหาคือกลุ่มของงานที่ถูกมอบหมายให้กับสถานีทำงานสถานีต่างๆ ดังนั้น วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงต้องสามารถแสดงลำดับของงานในรูปของสตริงได้ วิธีการใส่รหัสคำตอบที่ใช้จึงควรเป็นแบบ Non-binary String

ในปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม งานต่างๆจะตกอยู่ภายใต้ข้อจำกัดของความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน จึงไม่สามารถกำหนดงานให้กับสถานีทำงานใดๆได้อย่างอิสระ ดังนั้นงานต่างๆควรจะถูกนำมาจัดลำดับ (Sequence) โดยพิจารณาความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานเสียก่อนแล้วจึงค่อยนำไปเรียงใส่ให้กับสถานีทำงานต่างๆตามลำดับ จากแนวคิดดังกล่าว ลำดับของงานที่ถูกจัดเรียงสามารถนำมาใช้เป็นรูปแบบของการใส่รหัสคำตอบได้ วิธีนี้เรียกว่า Sequence-oriented Representation สตริงคำตอบที่ได้คือลำดับของขั้นงานทั้งหมดที่จะนำไปจัดให้กับสถานีตามลำดับนั่นเอง ลักษณะของสตริงคำตอบมีดังนี้

1) คำตอบ 1 คำตอบ แทนด้วยสตริงคำตอบ 1 ตัวที่เรียกว่า Chromosome
2) ใน 1 chromosome จะแบ่งเป็นหน่วยเล็กๆที่เรียกว่า bit เรียงกันอยู่ จำนวนของ bit จะเท่ากับจำนวนขั้นงานทั้งหมดที่ต้องทำบนสายงานการประกอบที่พิจารณา
3) ในแต่ละ bit จะมีค่าตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง m บรรจุอยู่ค่าหนึ่ง ค่านี้หมายถึงหมายเลขที่ใช้แทนขั้นงานต่างๆ
4) ตำแหน่งของ bit หมายถึงลำดับที่ของงานนั้นๆ
5) ตัวเลขในแต่ละ bit ต้องไม่ซ้ำกัน
6) ขั้นงานที่อยู่ใน bit ตำแหน่งก่อนหน้า จะต้องถูกจัดให้กับสถานีก่อนหน้าหรือสถานีเดียวกันกับ ขั้นงานที่อยู่ใน bit ตำแหน่งหลังเท่านั้น ไม่สามารถนำมาจัดให้กับสถานีหลังได้

ตัวอย่างเช่น สตริงคำตอบ [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12] จะได้ว่า ใน 1 Chromosome มี 15 bit หมายถึง สายงานการประกอบที่พิจารณามี 15 ขั้นงาน งานแรกที่จะนำไปจัดให้กับสถานีคืองานในตำแหน่งแรก ซึ่งคือขั้นงานที่ 1 ขั้นงานถัดไปที่จะนำไปจัดให้กับสถานีคือ งานในตำแหน่งที่ 2 ซึ่งคือขั้นงานที่ 4 งานที่จะนำไปจัดอีกคืองานที่อยู่ในตำแหน่งถัดไปตามลำดับ

5.3.2 การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating)

การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น คือ การสร้างคำตอบเบื้องต้นขึ้นมาจำนวนหนึ่งเพื่อนำไปใช้ในกระบวนการของ GAs โดยคำตอบ 1 คำตอบคือประชากร 1 ตัว จำนวนของประชากรที่ต้องการสร้างนั้นเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่ต้องมีการกำหนด ซึ่งในที่นี้กำหนดให้เท่ากับ *popsize* ตัว

สำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม นั้น ประชากร 1 ตัว หมายถึงลำดับของงานทั้งหมดที่จะทำบนสายงานการประกอบนั้น ดังนั้นการสร้างประชากร 1 ตัวจึงทำได้โดยการใส่ตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึง m (m คือจำนวนงานทั้งหมด) ลงไปในแต่ละ bit ของสตริงคำตอบจนครบทุก bit และทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆจนกว่าจะได้ประชากรทั้งหมด *popsize* ตัว

ตามหลักการของ GAs การสร้างประชากรเบื้องต้นมักใช้วิธีการแบบสุ่ม ซึ่งหมายความว่าตัวเลขที่นำมาใส่ในแต่ละ bit จะต้องถูกเลือกแบบสุ่ม แต่อย่างไรก็ตาม ในกรณีของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบซึ่งมีข้อจำกัดด้านความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน การสร้างประชากรแบบสุ่มอาจทำให้เกิดคำตอบที่ขัดกับข้อจำกัดดังกล่าว หรือที่เรียกว่า คำตอบที่เป็นไปไม่ได้ (Infeasible Solution) ดังนั้นในการสร้างคำตอบเบื้องต้นสำหรับปัญหา MMALB นี้จึงต้องใช้วิธีสุ่มโดยพิจารณาความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานร่วมด้วย วิธีนี้จะช่วยรับประกันได้ว่าคำตอบเบื้องต้นที่สร้างขึ้นมาทั้งหมดจะเป็นคำตอบที่ไม่ขัดกับข้อจำกัดดังกล่าว หรือที่เรียกว่า คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution)

5.3.2.1 การสร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Metrix)

การสุ่มโดยพิจารณาความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานร่วมด้วย จำเป็นต้องอาศัยเครื่องมือช่วยที่เรียกว่า เมตริกซ์ความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน (Precedence Metrix) ซึ่งแสดงตัวอย่างไว้ในรูปที่ 5.2 เมตริกซ์นี้จะช่วยบอกให้เรารู้ว่างาน

ใดต้องทำก่อนหรือหลังงานใด อีกทั้งยังช่วยบอกว่างานนั้นๆมีงานก่อนหน้า หรืองานที่ต้องทำตามหลังอีกกี่งาน

หลัง / ก่อน	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	***1***	***1***	***1***	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***
7	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	0	***1***	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.2 *ตัวอย่างเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน*

ลักษณะของตารางจะเป็นเมตริกซ์ ขนาด m x m ซึ่ง m หมายถึงจำนวนขั้นงานทั้งหมด หมายเลขของแถว (Row) หมายถึงงานที่ทำก่อน และหมายเลขของหลัก (Column) หมายถึงงานที่ต้องทำทีหลัง ตำแหน่งแถวและคอลัมน์ที่ 1ถึง m จะประกอบไปด้วยตัวเลข 0 และ 1 ซึ่ง 0 จะหมายถึง งานที่ไม่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างกัน ส่วน 1 จะหมายถึงงานที่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างกัน เช่น จากรูปที่ 5.2 มีจำนวนขั้นงานทั้งหมด 15 ขั้นงาน สร้างเป็นเมตริกซ์ขนาด 15x15

ที่แถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 2 มีค่าเป็น 1 หมายความว่า งานที่ 1 ต้องทำก่อนงานที่ 2

ทีแถวที่ 1 คอลัมน์ที่ 6 มีค่าเป็น 0 หมายความว่างานที่ 1 และงานที่ 6 ไม่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังกัน

นอกจากนี้ ถ้าต้องการดูว่างานใดตามหลังงานที่เราสนใจ ก็ให้ดูที่แถวของงานนั้น และถ้าต้องการดูว่ามีงานใดต้องทำก่อนงานที่เราสนใจ ก็ให้ดูที่คอลัมน์ของงานนั้น

ตัวอย่างเช่น ถ้าต้องการรู้ว่ามีงานใดตามหลังงานที่ 8 ก็ดูที่แถวที่ 8 จะได้ว่างานที่ตามหลังคือ 9 10 และ 13 หรือถ้าต้องการรู้ว่ามีงานใดต้องทำก่อนหน้างานที่ 8 ก็ดูที่คอลัมน์ที่ 8 จะได้ว่างานก่อนหน้างานที่ 3 คืองานที่ 7

วิธีการสร้างตารางความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน มีดังนี้

1. สร้างเมตริกซ์ศูนย์ขนาด m x m
2. เอาความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานซึ่งเป็นข้อมูลรับเข้ามาแปลงเป็นค่า 0 หรือ 1 ที่ตำแหน่งต่างๆของเมตริกซ์ เช่น ถ้ากำหนดให้ขั้นงานที่ 6 มีงานก่อนหน้าคืองาน 2,3,4,5 ก็จะได้ว่า ในคอลัมน์ที่ 6 ให้ใส่เลข 1 ที่ แถวที่ 2 ,3,4และ 5
3. จากข้อ 1 และ 2 จะได้ตารางความสัมพันธ์ ซึ่งค่า 0-1 จะเป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์ระหว่างงาน จากนั้นให้ทำการรวมค่าในแต่ละคอลัมน์ เพื่อดูว่างานต่างๆมีงานที่ต้องทำก่อนหน้าอีกกี่งาน
4. เมื่อได้ตารางแสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานแล้ว ก็สามารถสรุปได้ว่าแต่ละงานมีงานที่ต้องทำก่อนหน้ากี่งาน โดยดูจากผลรวมในแต่ละคอลัมน์ เช่น ผลรวมในแต่ละคอลัมน์เป็น 0 0 0 3 0 2 หมายความว่า งานที่ 1 2 3 5 ไม่มีงานก่อนหน้า งานที่ 4 มีงานก่อนหน้า 3 งาน และงานที่ 6 มีงานก่อนหน้า 2 งาน

5.3.2.2 การสร้างคำตอบเบื้องต้นสำหรับปัญหา MMALB โดยใช้เมตริกซ์ความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน

การสร้างคำตอบเบื้องต้น จะใช้วิธีกำหนดหมายเลขงานลงไปในแต่ละ bit ของสตริงคำตอบตามลำดับจนครบทุก bit โดยตัวเลขที่จะนำมาใส่ ต้องได้รับการตรวจสอบโดยใช้ Precedence Metrix แล้วว่าเป็นงานที่ไม่มีงานที่ต้องทำก่อนหน้าเหลืออยู่แล้ว ขั้นตอนการสร้างโดยละเอียด มีดังนี้

1. หางานที่ไม่มีงานก่อนหน้า (Task without Predecessor) โดยดูจากผลรวมของคอลัมน์ใน Precedence Metrix คอลัมน์หมายเลขใดที่ผลรวมเป็น 0 งานหมายเลขนั้นก็จะไม่มีงานก่อนหน้า
2. ถ้างานที่ไม่มีงานก่อนหน้ามีเพียงงานเดียว ให้เอางานนั้นใส่ลงไปในตำแหน่ง bit แรกของสตริงคำตอบได้เลย แต่ถ้ามีหลายงานก็ให้เลือกมาเพียง 1 งานโดยการสุ่มแล้วจึงเอาไปใส่ใน bit แรก

3. งานหมายเลขใดที่ถูกกำหนดลงไปแล้ว ให้ตัดทิ้งโดยการเปลี่ยนตัวเลขแถวนั้นใน Precedence Metrix เป็น 0 ทั้งหมด
4. หาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง
5. ทำซ้ำข้อที่ 1 ถึง 4 เพื่อกำหนดงานลงไปใน bit ถัดๆไป จนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงไปในสตริงคำตอบจนหมด

5.3.2.3 จำนวนประชากรเบื้องต้น

จากขั้นตอนการสร้างประชากรเบื้องต้นในข้อ 5.3.2.2 เป็นการสร้างประชากรเพียง 1 ตัวเท่านั้น แต่ในวิธีการของ GAs จำเป็นที่จะต้องมีจำนวนประชากรมากกว่า 1 ตัว เพื่อให้สามารถดำเนินการตามวิธีการของ GAs ในขั้นต่อๆไปได้ จำนวนประชากรเบื้องต้นจะเท่ากับจำนวนประชากรในแต่ละเจนเนอเรชั่น และเป็นพารามิเตอร์ตัวหนึ่งที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GAs การกำหนดจำนวนประชากรเบื้องต้นที่เหมาะสมจะได้กล่าวในบทต่อไป แต่ในที่นี้ให้ใช้จำนวนประชากรเท่ากับ *popsize* ตัว

การสร้างประชากรเบื้องต้นให้ได้ครบ *popsize* ตัว สามารถทำได้โดยทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 5 ในข้อ 5.3.2.2 จนครบ *popsize* ครั้ง ในแต่ละครั้งที่เริ่มสร้างประชากรตัวใหม่ Precedence Metrix จะต้องถูกเปลี่ยนให้กลับสู่ Precedence Metrix ดั้งเดิมเหมือนในข้อ 5.3.2.1 เสียก่อน

ประชากรเบื้องต้นทั้งหมดที่สร้างขึ้นจำนวน *popsize* ตัวต้องไม่ซ้ำกัน ทั้งนี้เพื่อให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และเป็นการป้องกันไม่ให้คำตอบที่ได้จากวิธีของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้เป็นค่า Local Optimal นอกจากนี้การสร้างประชากรเบื้องต้นให้แตกต่างกันยังช่วยให้สามารถกำหนดจำนวนประชากรน้อยลงได้

5.3.3 การถอดรหัสคำตอบ (Decoding)

คำตอบที่ปรากฏอยู่ในประชากรหรือสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นยังเป็นคำตอบที่ไม่สมบูรณ์ กล่าวคือเป็นเพียงลำดับของงานที่จะต้องนำไปจัดให้กับสถานีตามลำดับเท่านั้น ดังนั้นจึงต้องมีการนำงานตามลำดับที่ได้ในสตริงคำตอบไปจัดให้กับสถานีทำงานให้เรียบร้อยเสียก่อน ซึ่งเราจะเรียกขั้นตอนนี้ว่าการถอดรหัสคำตอบ (Decoding) แต่อย่างไรก็ตาม สตริงคำตอบที่เรามีสามารถบอกได้แต่เพียงว่างานที่อยู่ในลำดับแรกๆควรจะถูกจัดลงไปในสถานีทำงานต้นๆ และงานที่อยู่ในลำดับหลังก็ควรจะถูกจัดให้อยู่ในสถานีเดียวกันหรือสถานีหลังเท่านั้น ดังนั้นจึงสามารถนำงานในสตริงคำตอบมาจัดได้หลายแบบ เพื่อให้ได้การจัดที่ดีที่สุด สตริงคำตอบที่ได้จะต้องถูกถอดรหัสด้วยวิธีที่เหมาะสม

สำหรับปัญหา ALB ที่พิจารณา การถอดรหัสคำตอบทำได้ดังนี้

1. นำงานที่อยู่ในลำดับแรกในสตริงคำตอบไปจัดให้กับสถานีทำงานแรก
2. นำงานที่อยู่ในลำดับถัดไปจัดให้กับสถานีทำงานแรกเช่นกัน แล้วดูว่าเวลาทำงานรวมในสถานีเกินระยะเวลาทำงาน (Period of Time) ที่กำหนดให้หรือไม่ ถ้าเกินให้ตัดงานล่าสุดที่จัดให้สถานีทิ้งไป แล้วนำงานที่ตัดออกไปจัดให้กับสถานีถัดไป แต่ถ้าเวลารวมในสถานีน้อยกว่าระยะเวลาทำงาน ก็ให้เอางานที่อยู่ในลำดับต่อๆมาไปจัดให้กับสถานีนั้น จนกว่าเวลารวมของสถานีจะมากกว่าระยะเวลาทำงาน
3. เมื่อนำงานที่ตัดออกมาจากสถานีเดิม มาจัดให้กับสถานีถัดไปแล้ว ก็ให้นำงานลำดับต่อๆมาไปจัดให้กับสถานีทำงานนั้น จนกว่าเวลาทำงานรวมของสถานีจะเกินระยะเวลาทำงาน ถ้าเกินก็ให้ตัดงานนั้นออกจากสถานีเดิม และนำไปจัดให้กับสถานีใหม่ต่อไป
4. ทำตามข้อที่ 3 จนกว่างานทุกงานจะถูกจัดให้กับสถานีทำงานจนหมด

จากการถอดรหัสคำตอบ สตริงที่มีลักษณะการจัดเรียงลำดับของงานที่ต่างกัน เมื่อนำมาผ่านกระบวนการถอดรหัสแล้วอาจให้คำตอบหรือผลการจัดงานที่เหมือนกันก็ได้ ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 *สตริงคำตอบตัวอย่าง 2 ตัวที่มีการจัดเรียงลำดับงานต่างกันแต่ให้ผลการจัดเหมือนกัน*

สตริงคำตอบที่	1	2
สตริงคำตอบ เวลาทำงาน ระยะเวลาทำงาน	[1 3 5 2 4 6 14 15 7 8 9 13 10 11 12] [42 65 103 90 123 114 89 90 38 41 22 105 69 46 32] 360	[1 2 3 5 4 6 14 15 7 8 9 13 10 11 12] [42 90 65 103 123 114 89 90 38 41 22 105 69 46 32] 360
ผลการจัด	สถานีที่ 1 = 1 3 5 2 สถานีที่ 2 = 4 6 14 สถานีที่ 3 = 14 7 8 9 13 สถานีที่ 4 = 10 11 12	สถานีที่ 1 = 1 2 3 5 สถานีที่ 2 = 4 6 14 สถานีที่ 3 = 14 7 8 9 13 สถานีที่ 4 = 10 11 12

จะเห็นได้ว่าสตริงตัวอย่าง 2 ตัวมีลักษณะการจัดเรียงที่แตกต่างกัน แต่เมื่อถอดรหัสคำตอบแล้วได้ผลเหมือนกัน ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้นว่า ในการสร้างประชากรคำตอบเบื้องต้นจะไม่ยอมให้เกิดคำตอบที่ซ้ำกันขึ้นมา ดังนั้นภายหลังจากการถอดรหัสคำตอบแล้ว จึงต้องมีการตรวจสอบดูว่าผลการถอดรหัสที่ได้เหมือนกันหรือไม่ ถ้าเหมือนกันก็ให้สร้างประชากรเบื้องต้นตัวใหม่ที่ไม่ซ้ำกับตัวเดิมขึ้นมาแทน

ในกรณีที่เป็นการถอดรหัสคำตอบของสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์หรือการมิวเตชั่น ไม่จำเป็นต้องพิจารณาผลการถอดรหัสว่าให้คำตอบที่เหมือนกันหรือไม่ ทั้งนี้เนื่องจากในขั้นตอนของการครอสโอเวอร์ และมิวเตชั่นเรายอมให้เกิดคำตอบที่ซ้ำกันขึ้นมาได้

การถอดรหัส ไม่เพียงแต่ให้คำตอบว่าแต่ละสถานีงานทำงานอะไรบ้าง แต่ยังให้ค่าของ จำนวนสถานีทำงานที่ต้องการ (จำนวนสถานีทำงานที่ได้จะเป็นจำนวนสถานีทำงานที่น้อยที่สุดอยู่แล้ว) และเวลาทำงานรวมในแต่ละสถานีด้วย

5.3.4 การประเมินค่า (Evaluation)

ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนการคัดเลือกของเจนเนติกอัลกอริทึม จำเป็นที่จะต้องมีการประเมินค่าประชากรแต่ละตัวเสียก่อนว่ามีความเหมาะสมมากหรือน้อยเพียงใด ความเหมาะสมนี้จะวัดจากค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตัวใดที่มีค่า Fitness มากก็หมายความว่ามีความเหมาะสมมากตามไปด้วย โดยที่ค่า Fitness ดังกล่าวหมายถึง ค่าของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่เราต้องการทำให้ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดนั่นเอง

ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ในที่นี้คือ เวลาว่างงานรวมที่ต้องการทำให้มีค่าต่ำที่สุดนั่นเอง การหาค่าเวลาว่างงานรวมของสตริงแต่ละตัวสามารถหาได้จากสมการที่ 5.2

สมการดังกล่าวอยู่ในรูปแบบของการหาค่าต่ำที่สุด ดังนั้นต้องทำการแปลงให้อยู่ในรูปแบบการหาค่าสูงที่สุดของ Fitness Function เสียก่อน ดังสมการที่ 5.4

$$f(Xi) = \left(\sum_{i=1}^{popsize} Xi \right) - Xi \qquad (5.4)$$

เมื่อ Xi คือค่า เวลาว่างงานรวมของสตริงคำตอบแต่ละตัว

นอกเหนือไปจากการคำนวณหาค่าเวลาว่างงานรวม และค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัวแล้ว ในขั้นตอนของการประเมินค่ายังสามารถหาค่าอื่นๆที่เกี่ยวข้องนอกเหนือไปจากค่าที่ได้จากการถอดรหัส ได้ คือ

ก. ค่าความแปรปรวนของภาระงาน (Workload Variance) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว สามารถเขียนเป็นสมการได้ดังสมการที่ 5.5

$$wv = \frac{\sum_{i=1}^{n} \left(Ti - \left(\frac{W}{n} \right) \right)^2}{n} \qquad (5.5)$$

ข. ประสิทธิภาพของสายงานการประกอบ เป็นตัววัดว่าสายงานการประกอบที่ออกแบบมีประสิทธิภาพมากน้อยแค่ไหน หาได้จากสมการ 5.6

$$Line\ Eff. = \frac{\sum_{i=1}^{n}\left(\frac{Ti \times 100}{T}\right)}{n} \qquad (5.6)$$

<u>หมายเหตุ</u> จำนวนสถานีที่ต้องการ ประสิทธิภาพของสายการผลิต รวมทั้งค่าความแปรปรวนของภาระงาน สามารถนำมาใช้เป็นค่าวัตถุประสงค์ที่ต้องการทำให้ต่ำที่สุดหรือสูงที่สุดได้เช่นกัน และสามารถนำไปแทนเป็นตัวแปร Xi ใน Fitness Function เพื่อเปลี่ยนให้เป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบที่มีวัตถุประสงค์ของการจัดงานแบบอื่นๆได้ แต่ในกรณีของค่าประสิทธิภาพการผลิตซึ่งเป็นค่าฟังก์ชั่นของการหาค่าสูงสุดอยู่แล้ว ให้ใช้สมการการหาค่าประสิทธิภาพของสายงานปืน Fitness Function ได้เลย

5.3.5 การคัดเลือกคำตอบ (Selection)

การคัดเลือกคำตอบทำโดยนำเอากลุ่มสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้งหมดมาผ่านวิธีการคัดเลือกโดยดูจากค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัวเป็นหลัก สตริงตำตอบตัวที่มีค่า Fitness มากก็มีโอกาสที่จะถูกคัดเลือกไว้มากกว่าตัวที่มีค่า Fitness น้อย สตริงคำตอบที่ผ่านการคัดเลือกจำนวน *popsize* ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อรอการจับคู่และการดำเนินการของ GAs ในขั้นต่อไป

การคัดเลือกคำตอบที่ใช้ คือ วิธี Tournament Selection (Goldberg,1991) ซึ่งเป็นวิธีที่ดัดแปลงมาจากวิธี Roulette Wheel Selection ดังนั้นจึงต้องมีการสร้างวงล้อรูเล็ตขึ้นมาก่อน

5.3.5.1 การสร้างวงล้อรูเล็ต

วงล้อรูเล็ต คือวงกลมที่มีพื้นที่ขนาด 1 หน่วยซึ่งพื้นที่ถูกแบ่งออกเป็นส่วนๆตามจำนวนของประชากรในแต่ละเจนเนอเรชั่น (เท่ากับ *popsize* ส่วน) พื้นที่แต่ละส่วนจะมีขนาดเท่ากับความน่าจะเป็นในการถูกเลือกของสตริงคำตอบแต่ละตัว วิธีการสร้างมีดังนี้

1. หาค่า Fitness รวมของสตริงคำตอบทั้งหมด *popsize* ตัว ดังสมการที่ 5.6

$$F = \sum_{i=1}^{popsize} f(Xi) \qquad (5.6)$$

โดย $f(Xi)$ = ค่า Fitness ของสตริงตัวที่ i

2. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก (Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ 5.7

$$p_i = \frac{f(Xi)}{F} \qquad i = 1, 2, \ldots, popsize \qquad (5.7)$$

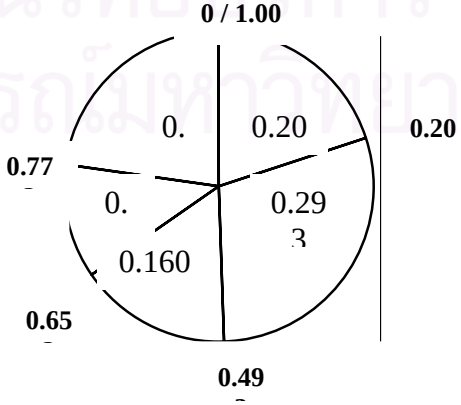
3. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกสะสม (Cumulative Probability of Selection) ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ตามสมการที่ 5.8

$$q_i = \sum_{j=1}^{i} p_j \qquad (5.8)$$

ตัวอย่างของวงล้อรูเล็ตแสดงได้ดังตารางที่ 5.2 และรูปที่ 5.3

ตารางที่ 5.2 *ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต*

String No.	Fitness	*pi*	*qi*
1	15.000	0.200	0.200
2	22.000	0.293	0.493
3	12.000	0.160	0.653
4	9.000	0.120	0.773
5	17.000	0.227	1.000
รวม	75.000	1.000	



รูปที่ 5.3 *วงล้อรูเล็ต*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.5.2 วิธี Tournament Selection

การคัดเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Roulette Wheel Selection ซึ่งใช้กันอยู่ทั่วไป จะใช้สุ่มสตริงคำตอบจากวงล้อรูเล็ต ซึ่งมีโอกาสที่จะสุ่มได้สตริงคำตอบที่มีค่า Fitness น้อยๆ ด้วย แต่สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection เป็นการสุ่มสตริงคำตอบจากวงล้อรูเล็ตมา 2 ตัว แล้วนำค่า Fitness มาเปรียบเทียบกันอีกครั้งหนึ่ง สตริงคำตอบที่ถูกเลือกจึงเป็นตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่า สำหรับขั้นตอนการเลือกมีดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมา 1 ค่า คือ r_1
2. ถ้า $r_1 < q_1$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่ถ้า $q_{i-1} < r_1 < q_i$ (เมื่อ $2 < i < popsize$) ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวแรก
3. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ขึ้นมาอีก 1 ค่า คือ r_2
4. ถ้า $r_2 < q_1$ ให้เลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่ถ้า $q_{i-1} < r2 < q_i$ (เมื่อ $2 < i < popsize$) ให้เลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นสตริงคำตอบตัวที่สอง
5. นำค่า Fitness ของสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวมาเปรียบเทียบกัน ตัวใดมีค่า Fitness มากกว่าก็ให้เลือกตัวนั้นเข้าสู่ Mating Pool
6. ทำตามขั้นตอนข้อที่ 1 – 5 จนกว่าจะได้สตริงคำตอบใน Mating Pool ครบ *popsize* ตัว

จากวิธีดังกล่าวจะเห็นได้ว่า สตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากก็จะมีพื้นที่มาก จึงมีโอกาสที่ตัวเลขสุ่มที่สร้างขึ้นมาจะตกอยู่ภายในบริเวณของสตริงคำตอบตัวนั้นมากกว่าตัวที่มีค่า Fitnessน้อย (มีพื้นที่น้อย) ทำให้สตริงคำตอบที่ถูกเลือกเข้าสู่ Mating Pool เป็นสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness โดยเฉลี่ยสูงกว่าสตริงคำตอบเดิม

ตารางที่ 5.3 *ตัวอย่างการคัดเลือกด้วยวิธี Tournament Selection*

ครั้งที่	ประชากรตัวที่ 1				ประชากรตัวที่ 2				หมายเลขประชากรที่เลือก
	r_1	$qi > r_1$	หมายเลขประชากร	ค่า Fitness	r_2	$qi > r_2$	หมายเลขประชากร	ค่า Fitness	
1	0.320	0.493	2	22.000	0.951	1.000	5	17.000	2
2	0.178	0.200	1	15.000	0.607	0.653	3	12.000	1
3	0.891	1.000	5	17.000	0.762	0.773	4	9.000	5
4	0.457	0.493	2	22.000	0.018	0.200	1	15.000	2
5	0.936	1.000	5	17.000	0.406	0.493	2	22.000	2

(หมายเหตุ: qi ที่มากกว่าค่า r ในคอลัมน์ที่ 3 และ7 ได้มาจากตารางที่ 5.2)

ตารางที่ 5.3 แสดงตัวอย่างการคัดเลือกด้วยวิธี Tournament Selection ซึ่งจะเห็นได้ว่าสตริงคำตอบหมายเลข 2 ซึ่งมีค่า Fitness มากที่สุด จะถูกสุ่มเลือกขึ้นมามากครั้งที่สุด ในขณะที่สตริงคำตอบซึ่งมีค่า Fitness น้อยก็จะถูกสุ่มเลือกน้อยครั้งเช่นกัน ข้อสังเกตประการหนึ่งจากตัวอย่างก็คือ ในการสุ่ม ก็สุ่มได้สตริงคำตอบหมายเลข 4 ที่มีค่า Fitness น้อยที่สุดด้วย ซึ่งถ้าใช้วิธี Roulette Wheel สตริงคำตอบหมายเลข 4 นี้ก็จะมีโอกาสที่จะถูกเลือกเข้าสู่ Mating Pool และจะได้รับการดำเนินการตามกระบวนการ GAs ต่อไป แม้ว่าสตริงคำตอบตัวนี้จะมีความเหมาะสมต่ำก็ตาม แต่เมื่อใช้วิธีคัดเลือกแบบ Tournament Selection สตริงคำตอบหมายเลข 4 นี้จะต้องถูกนำไปเปรียบเทียบกับสตริงคำตอบอีกตัวก่อน ดังนั้นโอกาสที่สตริงคำตอบตัวนี้จะถูกเลือกเข้าสู่ Mating Pool ก็จะลดลง

5.3.6 การครอสโอเวอร์ (Crossover)

5.3.6.1 การจับคู่สตริงคำตอบ

จากสตริงคำตอบจำนวน *popsize* ตัวที่ได้มาจากกระบวนการคัดเลือก จะมีสตริงคำตอบเพียงบางส่วนเท่านั้นที่จะถูกนำมาจับคู่เพื่อเตรียมสำหรับกระบวนการครอสโอเวอร์ สตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกนำไปจับคู่ก็จะยังคงสภาพเดิมและอยู่ใน Mating Pool (เป็นประชากรในเจนเนอเรชั่น) ต่อไป จำนวนสตริงคำตอบที่จะถูกนำมาจับคู่ (Nc) ขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) การจับคู่สตริงคำตอบเพื่อที่จะนำไป ครอสโอเวอร์ มีขั้นตอนดังนี้

1. สร้างตัวเลขสุ่ม r ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ให้กับสตริงคำตอบแต่ละตัว
2. สตริงคำตอบตัวใดที่ตัวเลขสุ่มมีค่าน้อยกว่า Pc จะถูกเลือกไปจับคู่และทำการครอสโอเวอร์
3. ถ้าไม่มีสตริงคำตอบตัวใดที่มีค่า r น้อยกว่า Pc ให้เริ่มทำข้อ 1 และ 2 อีกครั้ง
4. ถ้ามีสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า Pc ทั้งหมดจำนวน Nc ตัว โดยที่ Nc เป็นจำนวนคี่ ต้องทำการปรับให้เป็นจำนวนคู่ก่อน โดยมีเงื่อนไขในการปรับ ดังนี้
   - ถ้า Nc เป็นจำนวนคี่ซึ่งมีค่าระหว่าง 1 ถึง *popsize* ให้ทำการสุ่มตัวเลข 0 หรือ 1 ขึ้นมา 1 ค่า ถ้าสุ่มได้เลข 1 ให้เพิ่มสตริงคำตอบเข้าไปอีก 1 ตัว โดยสุ่มเลือกจากตัวที่เหลืออยู่ใน Mating Pool แต่ถ้าสุ่มได้เลข 0 ให้ตัดสตริงคำตอบทิ้ง 1 ตัว โดยสุ่มเลือกจากตัวที่ได้เลือกเอาไว้
   - ถ้า Nc มีค่าเท่ากับ 1 การปรับให้ใช้วิธีเพิ่มสตริงเข้าไปอีก 1 ตัวเท่านั้น

- ถ้า Nc มีจำนวนเท่ากับ $popsize$ ซึ่งเป็นจำนวนคี่ การปรับให้ใช้วิธีตัดสตริงคำตอบที่เตรียมได้ลง 1 ตัวเท่านั้น

5. เมื่อได้สตริงคำตอบที่จะนำมาจับคู่ทั้งหมด Nc ตัว ให้นำมาจับคู่ตามลำดับ ซึ่งจะได้ทั้งหมด $Nc/2$ คู่

5.3.6.2 การครอสโอเวอร์

สตริงคำตอบที่เตรียมไว้ $Nc/2$ คู่จะถูกนำมาผ่านกระบวนการครอสโอเวอร์ ซึ่งเป็นกระบวนการที่นำสตริงคำตอบที่ถูกจับคู่ไว้มาแลกเปลี่ยนส่วนซึ่งกันและกันเพื่อให้เกิดสตริงใหม่ขึ้นโดยจะเรียกสตริงคำตอบ 2 ตัวที่ถูกจับคู่นี้ว่า *"สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ (Parent)"* และจะเรียกสตริงคำตอบ 2 ตัวที่ได้จากการครอสโอเวอร์นี้ว่า *"สตริงคำตอบรุ่นลูก (Offspring)"* วิธีการครอสโอเวอร์มีหลายวิธี ในที่นี้เสนอวิธีการครอสโอเวอร์ไว้ทั้งหมด 5 วิธี คือ

1) วิธี Modified One-point Crossover (MOX)

วิธีการครอสโอเวอร์แบบตำแหน่งเดียวทำได้โดยการหาจุดครอสโอเวอร์มา 1 ตำแหน่ง แล้วนำส่วนท้ายของสตริงตัวหนึ่งต่อเข้ากับส่วนหัวของสตริงอีกตัวหนึ่ง ผลการครอสโอเวอร์จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกจำนวน 2 ตัว แต่วิธีนี้อาจทำให้สตริงมีลักษณะที่ไม่ถูกต้อง กล่าวคืออาจทำให้ยีนบางตำแหน่งเกิดค่าซ้ำกันซึ่งอาจทำให้เกิดการจัดงานซ้ำในสถานีทำงานได้ ดังนั้นจึงได้ดัดแปลงวิธีการครอสโอเวอร์แบบตำแหน่งเดียวเพื่อป้องกันการเกิดค่าซ้ำ โดยการครอสโอเวอร์วิธีนี้จะเริ่มจากการกำหนดจุดครอสโอเวอร์ (Crossover Point : Xp) ขึ้นมา 1 ตำแหน่งโดยการสุ่มค่า ระหว่าง [1, m - 1] โดยที่ m คือความยาวของสตริง ตำแหน่งการครอสโอเวอร์แทนด้วย " | " และกำหนดให้ตำแหน่ง bit ที่ 1 ถึง Xp ของ Parent ตัวที่ 1 เป็น H1 ตำแหน่ง bit ที่ 1 ถึง Xp ของ Parent ตัวที่ 2 เป็น H2

$$p_1 = [\underbrace{1\ 4\ 3\ 5\ 2\ 6\ 7}_{\text{H1}} \mid 14\ 15\ 8\ 9\ 10\ 13\ 11\ 12]$$

$$p_2 = [\underbrace{1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 14}_{\text{H2}} \mid 7\ 15\ 8\ 9\ 10\ 13\ 11\ 12]$$

นำ H1 มาเป็นส่วนหัวของ Offspring ตัวที่ 1 และนำ H2 มาเป็นส่วนหัวของ Offspring ตัวที่ 2 ตำแหน่งที่เหลือเป็นตำแหน่งว่างแทนด้วย #

$$o_1 = [1\ 4\ 3\ 5\ 2\ 6\ \ 7\ \mid \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#]$$

$$o_2 = [1\ 2\ 3\ 4\ 5\ 6\ 14 \mid \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#\ \#]$$

ลบค่าใน p_1ที่ซ้ำกับค่าใน o_2 ออกโดยการแทน x ลงในตำแหน่งที่ซ้ำใน p_2และ ลบค่าใน p_2ที่ซ้ำกับค่าใน o_1 ออกโดยการแทน x ลงในตำแหน่งที่ซ้ำใน p_1

o_2 = [1 2 3 4 5 6 14 | # # # # # # # #]

p_1 = [x x x x x x 7 | x 15 8 9 10 13 11 12]

o_1 = [1 4 3 5 2 6 7 | # # # # # # # #]

p_2 = [x x x x x x 14 | x 15 8 9 10 13 11 12]

นำค่าที่เหลืออยู่ใน p_1 มาแทนที่ # ใน o_2 ตามลำดับเดิม และนำค่าที่เหลืออยู่ใน p_2 มาแทนที่ # ใน o_1 ตามลำดับเดิมเช่นกัน ก็จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกที่สมบูรณ์

o_1 = [1 4 3 5 2 6 714 15 8 9 10 13 11 12]

o_2 = [1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]

เนื่องจากสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ (เป็นคำตอบที่ไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน) อยู่แล้ว ดังนั้นสตริงคำตอบรุ่นลูกที่ได้จากการครอสโอเวอร์วิธีนี้จะไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานด้วยเช่นกัน

2) วิธี Partial Match Crossover (PMX)

วิธีการของ PMX อย่างแรกคือการเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์อย่างสุ่มที่อยู่ในช่วง [1, m - 1] โดยที่ m คือความยาวของสตริง และยีนตัวแรกคือยีนหมายเลข 1 และยีนตัวสุดท้ายคือยีนหมายเลข m ขอบเขตของการครอสโอเวอร์อยู่ในช่วงเครื่องหมาย " | "

p_1 = [1 2 3 4 5 6 |7 8 9 |10 13 11 12 14 15]

p_2 = [1 2 3 4 5 6 |14 7 15 | 8 9 10 13 11 12]

ในขั้นตอนต่อไปจะทำการสลับค่าระหว่างสตริงที่อยู่ในช่วง " | " นั่นคือตำแหน่งสุ่มอยู่ในช่วง [7,9] ของโครโมโซมลูกหลานทั้งสอง โดยที่ค่าที่อยู่นอกเครื่องหมาย " | " และเป็นค่าที่ซ้ำกันกับค่าที่อยู่ในช่วงที่กำหนดให้เป็น x

จะเห็นได้ว่าตำแหน่งที่ 10 ของสตริง p_2 มีค่าเป็น 8 ซึ่งซ้ำกับค่าที่อยู่ในช่วง " | " ของสตริง p_1 ก่อนทำการสลับ จึงเปลี่ยนค่าที่ซ้ำให้เป็น # ก่อนและตำแหน่งอื่นๆที่มีค่าซ้ำกันก็จะเปลี่ยนเป็น # ด้วยเช่นกัน

o_1 = [1 2 3 4 5 6 |14 7 15 |10 13 11 12 # #]

o_2 = [1 2 3 4 5 6 |7 8 9 | # # 10 13 11 12]

แล้วทำการแทนค่า (Map) ดังต่อไปนี้ 14 $\leftrightarrow$ 7 $\leftrightarrow$8 และ 15 $\leftrightarrow$ 9 การแทนค่าเหล่านี้ได้มาจากค่าที่อยู่ในช่วง " | " โดยพิจารณาตำแหน่งของสตริงที่ตรงกัน

สตริงที่ได้เมื่อทำการแทนที่แล้วคือ

o_1 = [1 2 3 4 5 6 14 7 15 10 13 11 12 8 15]

o_2 = [1 2 3 4 5 6 7 8 9 14 15 10 13 11 12]

3) วิธี Cycle crossover (CX)

ขั้นตอนแรกเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม พิจารณาดังต่อไปนี้

p_1 = [1 4 3 2 5 7 8 9 6 10 13 11 12 15 14]

p_2 = [12 5 6 7 4 3 1 10 2 11 4 9 8 13 15]

พิจารณาที่ตำแหน่งแรกของสตริง p_1 และ p_2 คงเดิมไว้

o_1 = [1_ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _]

o_2 = [12 _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _]

ค่าตำแหน่งแรกของสตริง o_2 เป็น 12 นำมาพิจารณาค่าที่เป็น 12 (ตำแหน่งที่ 13) ของสตริง o_1 จะคงเดิมไว้ ส่วนค่าที่เป็น 8 (ตำแหน่งที่ 13) ของสตริง o_2 จะคงเดิมไว้เช่นกัน จะได้เป็น

o_1 = [1 _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 12 _ _]

o_2 = [12 _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ 8 _ _]

จากค่าที่เป็น 8 ของสตริง o_2 นำไปพิจารณาต่อในสตริง o_1 ซึ่งจะคงเดิมไว้ ได้สตริงเป็น

o_1 = [1 _ _ _ _ _ _ 8 _ _ _ _ _ 12 _ _]

o_2 = [12 _ _ _ _ _ _ 1 _ _ _ _ _ 8 _ _]

กระบวนการในการเลือกตัวที่จะคงเดิมไว้จะสิ้นสุดต่อเมื่อ ค่าในตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งของ o_2 มีค่าตรงกับค่าในตำแหน่งแรกของ สตริง o_1 จากนั้นจะทำการสลับค่าที่ยังคงเหลืออยู่ทั้งสองสตริงแบบ ตำแหน่งต่อตำแหน่ง ได้สตริงลูกหลานเป็น

o_1 = [1 5 6 7 4 3 8 10 2 11 14 9 8 13 15]

o_2 = [12 4 3 2 5 7 1 9 6 10 13 11 8 15 14]

4) วิธี Order Crossover (OX)

เช่นเดียวกับวิธีการอื่นๆ อย่างแรกคือการเลือกคู่สตริงพ่อแม่ขึ้นมาอย่างสุ่ม จากนั้นทำการเลือกตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์อย่างสุ่ม ขอบเขตของการครอสโอเวอร์อยู่ในช่วงเครื่องหมาย " | "

p_1 = [1 2 3 | 4 5 6 7 | 8 9 10 13 11 12 14 15]

p_2 = [1 4 3 | 5 2 7 8 | 9 6 10 13 11 12 15 14]

สุ่มตำแหน่งที่จะทำการครอสโอเวอร์ได้อยู่ในช่วง [4, 7] จากนั้นเลือกคู่แม๊ปที่อยู่ในช่วงการครอสโอเวอร์ถ้าค่าที่ตรงกันให้ทำเครื่องหมาย # เครื่องหมาย # หมายความว่าปล่อยตำแหน่งนั้นให้ว่าง สตริงลูกหลานจะเป็น

o_1 = [1 # 3 | 4 # 6 # | # 9 10 13 11 12 14 15]

o_2 = [1 # 3 | # 2 # 8 | 9 # 10 13 11 12 15 14]

จากนั้นจะทำการเลื่อนตำแหน่ง โดยยึดถือตำแหน่งในช่วงครอสโอเวอร์หรือหลังเครื่องหมาย " | " เป็นจุดอ้างอิงค่าเริ่มต้นของสตริงของสตริงและเรียงไปตามลำดับ (สำหรับสตริง o_1 เป็น 4 และสำหรับ o_2 เป็น 2) โดยจะเว้นในช่วงของการครอสโอเวอร์ไว้ในที่นี้คือตำแหน่งที่ 4ถึง7ของสตริง ดังนั้นจะได้สตริงลูกหลานคือ

o_1 = [4 6 9 | # # # |10 13 11 12 14 15 1]

o_2 = [2 8 9 | # # # |10 13 11 12 15 14 1]

ขั้นตอนต่อไปจะเป็นการสลับตำแหน่งที่อยู่ในช่วงของการครอสโอเวอร์ของสตริงทั้งสองที่เหลือ สตริงที่ได้เมื่อทำการครอสโอเวอร์แล้วคือ

o_1 = [4 6 9 | 5 2 7 8 |10 13 11 12 14 15 1]

o_2 = [2 8 9 | 4 5 6 7 |10 13 11 12 15 14 1]

5) วิธี Position-Base Method

พัฒนาโดย Syswerda โดยดัดแปลงมาจากวิธีการครอสโอเวอร์แบบ OX (Gen, M. and Chen, R., 1997) โดยเริ่มจากการเลือกสตริงพ่อแม่

p_1 = [1 4 3 2 5 7 8 9 6 10 13 11 12 15 14]

p_2 = [12 5 6 7 4 3 1 10 2 11 4 9 8 13 15]

เลือกตำแหน่งจากสตริงพ่อแม่ $p1$ อย่างสุ่ม แล้วนำค่าในตำแหน่งที่เลือกของสตริงพ่อแม่ p_1 ไปใส่ในตำแหน่งเดียวกันของสตริงลูก o_1 ในที่นี้เลือกตำแหน่งที่ 9 และ 11

p_1 = [1 4 3 2 5 7 8 9 **6** 10 **13** 11 12 15 14]

p_2 = [12 5 6 7 4 3 1 10 2 11 4 9 8 13 15]

o_1 = [# # # # # # # # **6** # **13** # # # #]

ตัดค่าที่อยู่ในตำแหน่งที่เลือกของสตริงพ่อแม่p_1 ออกจากสตริงพ่อแม่ p_2 ดังนั้นค่าที่ตัดออกคือ 6 และ13

p_2 = [12 5 # 7 4 3 1 10 2 11 4 9 8 # 15]

นำค่าที่เหลืออยู่ในสตริงพ่อแม่ p_2 มาใส่ในสตริงลูก o_1 ตามลำดับ

p_2 = [12 5 # 7 4 3 1 10 2 11 4 9 8 # 15]

จะได้สตริง o_1 เป็น

o_1 = [12 5 7 4 3 1 10 2 **6** 11 **13** 4 9 8 15]

สำหรับสตริง o_2 ก็ทำเช่นเดียวกัน

5.3.6.3 การซ่อมแซมคำตอบ (Repair Method)

จากการครอสโอเวอร์ทั้ง 5 วิธี มีเพียงวิธีแรกเท่านั้นที่สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ได้ เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ ส่วนวิธีที่ 2-4 นั้น คำตอบที่ได้จะขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน ดังนั้นจึงต้องทำการซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้คำตอบที่เป็นไปได้เสียก่อน

การซ่อมแซมคำตอบที่เสนอโดย Kim และคณะ (1996) เป็นการซ่อมแซมคำตอบโดยพยายามรักษาลำดับของค่าในสตริงให้เหมือนเดิมมากที่สุด วิธีการทำได้ดังนี้ คือ

1) หาว่าขั้นงานใดที่ไม่มีงานก่อนหน้า จาก Precedence Metrix
2) นำขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้าที่ได้ทั้งหมดไปตรวจดูว่าอยู่ในตำแหน่งใดในสตริงคำตอบที่ต้องการซ่อมแซม
3) นำขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ต้นที่สุด ไปใส่ในตำแหน่งแรกของสตริงคำตอบใหม่
4) ตัดงานที่ใส่ลงไปในสตริงคำตอบแล้วออกจาก Precedence Metrix
5) ทำตามขั้นตอนที่ 1-4 จนกว่าจะครบทุกขั้นงาน

เมื่อทำการครอสโอเวอร์และซ่อมแซมคำตอบเสร็จแล้ว สตริงคำตอบรุ่นลูกที่เป็นคำตอบที่เป็นไปได้จะถูกส่งกลับเข้าสู่ Mating Pool เพื่อไปรวมกับสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ที่ไม่ได้ถูกเลือกมาครอสโอเวอร์ จากนั้นก็จะเข้าสู่กระบวนการของ GAs ลำดับถัดไป

5.3.7 การมิวเตชั่น (Mutation)

คือการสลับตำแหน่งของค่าภายในสตริงคำตอบตัวเดียว วิธีการมิวเตชั่นมีหลายวิธี แต่ในกรณีของปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม การสลับตำแหน่งของค่าในสตริงมีโอกาสทำให้ได้สตริงตัวใหม่ที่เป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้สูงมาก ดังนั้นจึงใช้วิธีการมิวเตชั่นแบบ Random-Sequence Mutation ซึ่งสตริงที่ได้จากการมิวเตชั่นแบบนี้จะไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงาน

การพิจารณาว่าสตริงตัวใดจะถูกนำมามิวเตชั่นขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (p_m) โดยการพิจารณาจะเริ่มจากการสุ่มค่า r ซึ่งมีค่าระหว่าง [0,1] ให้กับสตริง

คำตอบทุกตัวใน Mating Pool จากนั้น ทำการเลือกเฉพาะสตริงที่มีค่า r น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (P_m) ไปทำการมิวเตชั่น

เมื่อได้สตริงตัวที่จะทำการมิวเตชั่นแล้ว ให้ทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่น (M_p) ขึ้นมา 1 ตำแหน่ง ซึ่งเป็นค่าระหว่าง [1,m-1] โดยที่ m คือความยาวของสตริงคำตอบ ตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่นแทนด้วย " | "

จากนั้นให้นำค่าในตำแหน่งที่ 1 ถึง M_p มาเป็นค่าในตำแหน่งที่ 1 ถึง M_p ของสตริงคำตอบตัวใหม่ ตำแหน่งอื่นๆซึ่งยังไม่มีค่า ให้แทนด้วย #

p = [1 4 3 2 5 7 8 9 6 10 13 11 12 15 14]

o = [1 4 3 2 5 # # # # # # # # # #]

ตำแหน่งที่เหลือในสตริงคำตอบตัวใหม่จะได้มาจากการสุ่มแบบมีเงื่อนไขเช่นเดียวกับการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น โดยในตอนแรกต้องตัดงานที่กำหนดลงไปในสตริงตัวใหม่แล้ว (ในที่นี้ คือ งานที่ 1 4 3 2 5) ออกจาก Precedence Metrix เสียก่อนแล้วจึงทำตามวิธีการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นต่อไป

สตริงคำตอบที่ได้จากการมิวเตชั่นและสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกเลือกมาทำการมิวเตชั่นจะถูกนำมารวมกัน เพื่อเตรียมเข้าสู่เจนเนอเรชั่นต่อไป

5.3.8 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite Preserve Strategy)

เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์และการมิวเตชั่น อาจเป็นคำตอบที่แย่กว่าคำตอบที่เคยปรากฏในเจนเนอเรชั่นที่ผ่านๆมา ดังนั้นจึงต้องมีการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite Preserve Solution) เอาไว้เพื่อใช้เปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบชุดใหม่ ถ้าหาก Elite Preserve Solution ให้ค่า Fitness ที่ดีกว่าค่าที่ดีที่สุดของสตริงชุดใหม่ก็ให้เอา Elite Preserve Solution แทนที่ค่าที่แย่ที่สุด ทั้งนี้เพื่อให้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่พบยังคงอยู่ในกระบวนการของ GAs ต่อไป

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดจะถูกนำไปใช้ระหว่างกระบวนการของ GAs 3 ครั้ง คือ ดังนั้นจึงแบ่งเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดออกเป็น 3 เทคนิค คือ

1) Initial Elite Preserve Strategy

เป็นจุดเริ่มต้นของเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด ซึ่งจะกระทำเพียงครั้งเดียว ภายหลังจากการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นในตอนต้นของกระบวนการ GAs และผ่านการถอดรหัสรวมทั้งการประเมินค่าเรียบร้อยแล้ว ค่า Fitness ของสตริงแต่ละตัวที่ได้จากการประเมินค่าจะถูกเรียงลำดับจากมากไปน้อย สตริงคำตอบเพียงหนึ่งตัวที่ให้ค่า

Fitness มากที่สุดก็จะถูกเลือกไปเป็น คำตอบที่ดีที่สุดที่เก็บไว้ (Elite Preserve Solution) จากนั้นสตริงคำตอบทั้งหมดรวมทั้งตัวที่เลือกไปเป็น Elite Preserve Solution จะเข้าสู่ขั้นตอนต่างๆของ GAs ต่อไป

2) Post-crossover Elite Preserve Strategy

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ภายหลังจากที่เสร็จสิ้นกระบวนการ ครอสโอเวอร์แล้ว ทั้งนี้เนื่องจากว่าสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์อาจเป็นคำตอบที่ดีกว่าคำตอบอื่นๆที่เคยพบมา แต่เมื่อนำไปมิวเตชั่นแล้ว สตริงคำตอบตัวนี้จะเปลี่ยนไปและอาจให้คำตอบที่ดีน้อยกว่าเดิม ดังนั้น เพื่อป้องกันไม่ให้สตริงคำตอบที่ดีที่ได้หลังจากการครอสโอเวอร์สูญหายไปจึงต้องทำการการถอดรหัสและประเมินค่าสตริงคำตอบภายหลังการครอสโอเวอร์ทั้งหมด *popsize* ตัว แล้วนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดภายหลังการครอสโอเวอร์ไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ถ้าหากสตริงคำตอบภายหลังการครอสโอเวอร์ดีกว่า ก็ให้เอาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดนั้นไปเป็น Elite Preserve Solution แทน แต่ถ้า Elite Preserve Solution ดีกว่า ก็ให้นำสตริงคำตอบภายหลังจากการครอสโอเวอร์ทั้งหมด *popsize* ตัวไปผ่านกระบวนการมิวเตชั่นตามปกติ

ยกตัวอย่างเช่น ภายหลังการครอสโอเวอร์ มีสตริงคำตอบ 10 ตัว ซึ่งเมื่อนำไปผ่านกระบวนการถอดรหัสและประเมินค่าแล้วได้ค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัวเป็น 2 6 8 7 9 4 5 12 6 4 ค่า Fitness ที่ดีที่สุดใน 10 ตัวนี้คือค่า 12 ของสตริงคำตอบตัวที่ 8 ก็ให้เอาค่า 12 นี้ไปเปรียบเทียบกับค่า Fitness ของ Elite Preserve Solution ถ้าหากค่าดังกล่าวน้อยกว่า 12 ก็ให้เอาสตริงคำตอบตัวที่ 8 นี้ไปใช้เป็น Elite Preserve Solution ตัวใหม่แทน แต่ถ้าค่าดังกล่าวมากกว่าหรือเท่ากับ 12 ก็ให้คงคำตอบของ Elite Preserve Solution ไว้ แล้วนำสตริงคำตอบทั้ง 10 ตัวนี้ไปทำการมิวเตชั่นต่อไป

3) Elite Preserve Strategy of Generation

เป็นเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดที่ใช้ภายหลังการมิวเตชั่น ซึ่งถือว่าเป็นการเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชั่นนั้นๆด้วย การเก็บค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชั่นจะช่วยให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่าที่เคยปรากฏขึ้นมายังคงมีอยู่ในเจนเนอเรชั่นต่อไป การเก็บค่าในขั้นตอนนี้จะทำหลังจากที่มีการมิวเตชั่นเรียบร้อยแล้ว สตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการมิวเตชั่นจำนวน *popsize* ตัว จะถูกถอดรหัสและประเมินค่า จากนั้นก็ให้เอาสตริงคำตอบหลังที่ดีที่สุดจากการมิวเตชั่น มาเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution เช่นเดียวกับในขั้นตอนของ Post-crossver Elite Preserve Strategy แต่แตกต่างกันตรงที่ จะมีการ

นำเอา Elite Preserve Solution มาแทนที่คำตอบที่แย่ที่สุดของสตริงคำตอบชุดนี้เมื่อ Elite Preserve Solution เป็นคำตอบที่ดีกว่า

ยกตัวอย่างเช่น ภายหลังการมิวเตชั่นได้สตริงคำตอบ 10 ตัว ที่มีค่า Fitness เป็น 5 6 8 3 1 9 4 6 7 7 จะได้ว่าค่า Fitness ที่ดีที่สุดคือ 9 ของสตริงคำตอบตัวที่ 6 ซึ่งถ้าค่า Fitness ของ Elite Preserve Solution น้อยกว่า 9 สตริงคำตอบตัวที่ 6 จะกลายเป็น Elite Preserve Solution ตัวใหม่ แต่ถ้าค่า Fitness ของ Elite Preserve Solution มากกว่า 9 ก็ให้ตัดสตริงคำตอบตัวที่ 5 ซึ่งมีค่า Fitness ต่ำที่สุดทิ้งไป เอาสตริงคำตอบที่เป็น Elite Preserve Solution ขณะนั้นไปใส่แทน

สตริงคำตอบที่ได้ภายหลังจากขั้นตอนนี้จะกลายเป็นสตริงคำตอบพ่อแม่ที่แท้จริงในเจนเนอเรชั่นต่อไป

5.4 ตัวอย่างการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

จากขั้นตอนของ GAs ที่ได้เสนอมาทั้งหมด สามารถนำมาทดลองใช้แก้ปัญหาตัวอย่างซึ่งเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม 3 แบบ โดยต้องการผลิตภัณฑ์ A 120 ชิ้นต่อกะ ผลิตภัณฑ์ B 60 ชิ้นต่อกะ และผลิตภัณฑ์ C 40 ชิ้นต่อกะ โดยมีเวลาทำงานต่อกะ 420 นาที

5.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

1. การหาเวลาทำงานรวมซึ่งสามารถแสดงได้ดังตารางที่ 5.4

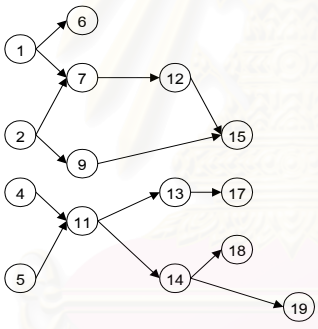
ตารางที่ 5.4 ตารางการหาเวลาทำงานรวมของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน

Element	Element Time/Model (min)			Total Times(min)
	A	B	C	
1	0.5	0.0	1.0	100
2	0.4	0.8	1.2	144
3	0.0	0.2	0.4	28
4	0.4	0.0	0.0	48
5	0.2	0.2	0.2	44
6	0.2	0.0	0.0	24
7	0.4	0.5	0.6	102
8	0.0	0.5	0.5	50

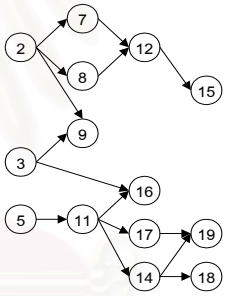
ตารางที่ 5.4 ตารางการหาเวลาทำงานรวมของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน (ต่อ)

Element	Element Time/Model (min)			Total Times(min)
	A	B	C	
9	0.4	0.3	0.2	74
10	0.0	0.0	0.2	8
11	0.3	0.3	0.3	66
12	0.1	0.3	0.5	50
13	0.1	0.0	0.1	16
14	0.2	0.2	0.2	44
15	0.7	1.0	1.5	204
16	0.0	0.1	0.0	6
17	0.5	0.5	0.0	90
18	0.3	0.5	0.3	78
19	0.4	0.3	0.0	66
Total	5.1	5.7	7.2	1242

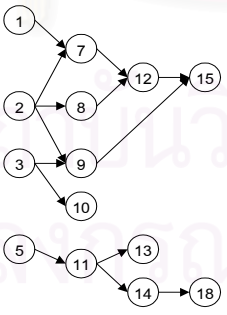
2. การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram) แสดงได้ดังรูปที่ 5.4



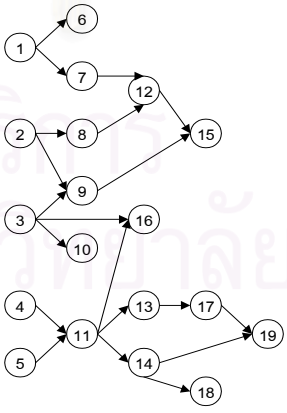
แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังรวมของ
ผลิตภัณฑ์ A B และC

รูปที่ 5.4 *การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังรวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

3. พารามิเตอร์ของ GAs ที่เลือกใช้คือ

จำนวนประชากรเบื้องต้น	5 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	PMX with Repair method
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.4
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.2

5.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

จากข้อมูลที่ได้ สามารถสร้าง Precedence Matrix ได้ดังรูปที่ 5.5 และสามารถแสดงการสร้างสตริงคำตอบตัวแรกได้ดังตารางที่ 5.5

0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	***1***	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ 5.5 *เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ของขั้นงานของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

ตารางที่ 5.5 *การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

ตำแหน่งที่	งานที่ไม่มีงานก่อนหน้า	งานที่สุ่มเลือก		ตำแหน่งที่	งานที่ไม่มีงานก่อนหน้า	งานที่สุ่มเลือก
1	{1 2 3 4 5}	4		11	{5 15}	15
2	{1 2 3 5}	2		12	{5}	5
3	{1 3 5 8}	1		13	{11}	11
4	{3 5 6 7 8}	7		14	{13 14 16}	13
5	{3 5 6 8}	6		15	{14 16 17}	14
6	{3 5 8}	3		16	{16 17 18}	18
7	{5 8 9 10}	9		17	{16 17}	17
8	{5 8 10}	10		18	{16 19}	16
9	{5 8}	8		19	{19}	19
10	{5 12}	12				

จากตารางที่ 5.5 จะได้สตริงคำตอบตัวแรกคือ [4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19] จากนั้นทำการสร้างสตริงคำตอบตัวอื่นๆจนครบ 5 ตัวจะได้สตริงคำตอบเบื้องต้นทั้งหมดดังนี้

String 1 = [4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]

String 2 = [2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]

String 3 = [2 8 4 1 6 3 7 12 9 5 15 11 13 14 10 17 16 18 19]

String 4 = [1 7 2 8 6 3 10 9 12 4 15 5 11 14 13 17 18 16 19]

String 5 = [2 8 1 7 6 4 3 10 5 11 13 17 16 14 19 9 12 15 18]

5.4.3 การถอดรหัสคำตอบ

จากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัวนำมาจัดให้กับสถานีงานตามลำดับ โดยกำหนดให้ระยะเวลาทำงาน (Period of Time) เท่ากับ 420 ซึ่งจะได้ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบดังตารางที่ 5.6

ตารางที่ 5.6 *ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบเบื้องต้น*

String No.	String Sequence	Workstation Sequence	n	Station Time
1	[4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3]	3	[418 414 410]
		[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3]	3	
2	[2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]	[1 1 1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4 4 4 4]	4	[414 414 414]
		[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3]	3	
3	[2 8 4 1 6 3 7 12 9 5 15 11 13 14 10 17 16 18 19]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3]	3	[394 270 338 240]
4	[1 7 2 8 6 3 10 9 12 4 15 5 11 14 13 17 18 16 19]			[420 412 410]
5	[2 8 1 7 6 4 3 10 5 11 13 17 16 14 19 9 12 15 18]			[420 416 406]

5.4.4 การประเมินค่า

ในขั้นตอนนี้จะทำการหาค่า เวลาว่างงานรวม ค่า Workload Variance ค่าประสิทธิภาพสายการผลิต และค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.7

ตารางที่ 5.7 *ผลการประเมินคาสตริงคำตอบเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน*

String No.	wv	Total Idle Time (min)	Line Eff.(%)	Fitness
1	10.6667	18	98.5714	3638.1334
2	0	18	98.5714	3648.8001
3	3584.8	438	73.9286	64.0001
4	18.6667	18	98.5714	3630.1334
5	34.6667	18	98.5714	3614.1334

5.4.5 การเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น

จากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 5 ตัวจะได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่จะเก็บไว้คือสตริงที่มีรายละเอียดดังนี้คือ

สตริงคำตอบ [2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]

สถานีงาน [1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3]

ค่า Fitness 3648.8001

จำนวนสถานีงาน 3

เวลาว่างงานรวม 18

Workload Variance 0

ประสิทธิภาพสายการผลิต 98.5714

5.4.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

นำค่า Fitness ที่ได้มาสร้างวงล้อรูเล็ต ได้ดังตารางที่ 5.8

ตารางที่ 5.8 *การสร้างวงล้อรูเล็ต ของปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน*

String NO.	Fitness	pi	qi
1	3638.1334	0.2493	0.2493
2	3648.8001	0.2500	0.4993
3	64.0001	0.0044	0.5037
4	3630.1334	0.2487	0.7524
5	3614.1334	0.2476	1.0000
รวม	14595.2004	1.0000	

สุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน เพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ผลการคัดเลือกจะได้สตริงทั้ง 5 ตัว คือ สตริงหมายเลข 1 4 2 1 2 แสดงได้ดังตารางที่ 5.8 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงหมายเลข 1-5 ตามลำดับเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ตารางที่ 5.9 *ผลการสุ่มเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection*

NO.	String 1				String 2				Selected String NO.
	r_1	$q_I > r_1$	String No.	Fitness	r_1	$q_I > r_1$	String No.	Fitness	
1	0.814	1.0000	5	3614.1334	0.046	0.24931	1	3638.1334	1
2	0.664	0.7524	4	3630.1334	0.784	.0000	5	3614.1334	4
3	0.533	0.7524	4	3630.1334	0.310	0.49931	2	3648.8001	2
4	0.032	0.2493	1	3638.1334	0.918	.0000	5	3614.1334	1
5	0.454	0.4993	2	3648.8001	0.370	0.4993	2	3648.8001	2

5.4.7 การครอสโอเวอร์

ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการครอสโอเวอร์ โดยพิจารณาจากสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pc ซึ่งในที่นี้กำหนดให้ Pc = 0.8 ดังนั้นสตริงที่จะถูกครอสโอเวอร์ จึงจะมีประมาณ 80% ของสตริงคำตอบทั้งหมด หรือเท่ากับ 0.8*5=4 ตัว การสุ่มเลือกสตริงคำตอบแสดงได้ดังตารางที่ 5.10

ตารางที่ 5.10 *การเลือกสตริงคำตอบเพื่อนำไปครอสโอเวอร์*

String No.	String Sequence	ri	ri < 0.8(Pc)
1	[4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]	0.969	-
2	[1 7 2 8 6 3 10 9 12 4 15 5 11 14 13 17 18 16 19]	0.557	Selected
3	[2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]	0.851	-
4	[4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]	0.702	Selected
5	[2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]	0.129	Selected

เนื่องจากสตริงที่ถูกสุ่มเลือกไปครอสโอเวอร์มีเพียง 3 ตัวคือสตริงหมายเลข 2 4 5 ซึ่งไม่สามารถจับคู่ได้จึงต้องทำการลดหรือเพิ่มสตริงคำตอบโดยสุ่มเลข 0 หรือ 1 ในที่นี้ให้สุ่มได้เลข 1 ซึ่งหมายความว่าจะต้องเพิ่มสตริงคำตอบเข้าไปอีกหนึ่งตัว โดยเลือกจากสตริงคำตอบที่เหลือ สมมติเลือกได้สตริงหมายเลข 3 ดังนั้นจะได้สตริงตอบที่จะนำไปครอสโอเวอร์ คือสตริงหมายเลข 2 3 4 5 ซึ่งสามารถจับคู่ได้เป็น 2-3 หรือ 4-5

นำสตริงคู่แรกไปครอสโอเวอร์ด้วยวิธี PMX โดยสุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 7 และ 9

Parent 1 = [1 7 2 8 6 3 |**10 9 12 4** |15 5 11 14 13 17 18 16 19]

Parent 2 = [2 5 1 7 6 3 |**10 9 8 12** |15 4 11 14 18 13 17 19 16]

ทำการสลับสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 7 ถึง 9 (หรือที่อยู่ระหว่างเครื่องหมาย |) และทำการแทนค่า (Map) ดังนี้คือ 10 ↔ 10 ; 9↔9 และ 8↔12↔4 จะได้สตริงรุ่นลูกเป็น

Offspring 1 = [1 7 2 4 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 13 17 18 16 19]

Offspring 2 = [2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 18 13 17 19 16]

ทำการตรวจสอบสตริงคำตอบที่ได้ว่าขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานหรือไม่ ซึ่งในที่นี้พบว่าสตริงรุ่นลูกตัวที่ 2 ขัดกับความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ โดยนำเอา Precedence Matrix ที่ได้ตอนแรกมาใช้ในการหางานที่ไม่งานก่อนหน้า การซ่อมแซมคำตอบแสดงได้ดังตารางที่ 5.11 ซึ่งจะได้สตริงรุ่นลูกตัวที่ 2 เป็น [2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18 13 17 19 16]

ตารางที่ 5.11 *ผลการซ่อมแซมสตริงคำตอบรุ่นลูกได้จากการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1*

No.	Available Set	Infeasible Offspring	Repair String
1	{1 2 3 4 5}	[***2 5 1*** 7 6 ***3*** 10 9 12 ***4*** 15 8 11 14 18 13 17 19 16]	[2]
2	{1 3 4 5 8}	[2 ***5 1*** 7 6 ***3*** 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5]
3	{1 3 4 8}	[2 5 ***1*** 7 6 ***3*** 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1]
4	{3 4 6 7 8}	[2 5 1 ***7 6 3*** 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7]
5	{3 4 6 8}	[2 5 1 7 ***6 3*** 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6]
6	{3 4 8}	[2 5 1 7 6 ***3*** 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3]
7	{4 8 9 10]	[2 5 1 7 6 3 ***10 9*** 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10]
8	{4 8 9}	[2 5 1 7 6 3 10 ***9*** 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9]
9	{4 8 }	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 ***4*** 15 ***8*** 11 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4]
10	{8 11}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 ***8 11*** 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8]
11	{11 12}	[2 5 1 7 6 3 10 9 ***12*** 4 15 8 ***11*** 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12]
12	{11 15}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 ***15*** 8 ***11*** 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15]
13	{11}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 ***11*** 14 18 13 17 19 16]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11]
14	{13 14 16}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 ***14*** 18 ***13*** 17 19 ***16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14]
15	{13 16 18}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 ***18 13*** 17 19 ***16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18]
16	{13 16}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 18 13 17 19 ***16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18 13]
17	{16 17}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 18 13 ***17*** 19 ***16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18 13 17]
18	{16 19}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 18 13 17 ***19 16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18 13 17 19]
19	{16}	[2 5 1 7 6 3 10 9 12 4 15 8 11 14 18 13 17 ***19 16***]	[2 5 1 7 6 3 10 9 4 8 12 15 11 14 18 13 17 19 16]

นำสตริงคู่ที่สองมาทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธี PMX โดยสุ่มตำแหน่งการครอสโอเวอร์ได้ที่ตำแหน่ง 1 และ 3

Parent 1 = [|**4 2 1**| 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]

Parent 2 = [|**2 5 1**| 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]

ทำการสลับสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 1 ถึง 3 (หรือที่อยู่ระหว่างเครื่องหมาย |) และทำการแทนค่า (Map) ดังนี้คือ 1↔1 และ 4↔2↔5 จะได้สตริงรุ่นลูกเป็น

Offspring 1 = [2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16 19]

Offspring 2 = [4 2 1 7 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 18 13 17 19 16]

ทำการตรวจสอบสตริงคำตอบที่ได้ว่าขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานหรือไม่ พบว่าสตริงรุ่นลูกทั้งสองไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ดังกล่าว จึงไม่ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ

เมื่อทำการครอสโอเวอร์ และซ่อมแซมคำตอบจนได้สตริงรุ่นลูกทั้ง 2 คู่แล้ว ก็ให้นำไปรวมกับสตริงตัวที่ไม่ได้ถูกนำไปครอสโอเวอร์ จากนั้นนำสตริงคำตอบทั้งหมดไปถอดและประเมินค่า ซึ่งในที่นี้จะหาเพียงค่า Workload Variance และค่า Fitness เท่านั้น ซึ่งจะได้ผลดังตารางที่ 5.12 และตารางที่ 5.13 ตามลำดับ

ตารางที่ 5.12 *ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์*

String No.	String Sequence	Workstation Sequence	n	Station Time
1	[4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3 3]	3 3	[418 414 410]
2	[1 7 2 4 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 13 17 18 16 19]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3 3]	4 3	[418 414 410]
3	[2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4]	3	[414 258 408 162]
4	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16 19]	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3] [1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3]		[414 414 414]
5	[4 2 1 7 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 18 13 17 19 16]			[418 414 410]

ตารางที่ 5.13 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์*

String No.	wv	Total Idle Time (min)	Line Eff.(%)	Fitness
1	10.6667	18	98.5714	11278.0834
2	10.6667	18	98.5714	11278.0834
3	11256.75	438	73.9286	32.0001
4	0	18	98.5714	11288.7501
5	10.6667	18	98.5714	11278.0834

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.8 การเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังการครอสโอเวอร์

สตริงคำตอบที่ได้ภายหลังการครอสโอเวอร์ทั้ง 5 ตัว พบว่าสตริงคำตอบตัวที่ 4 เป็นตัวที่ดีที่สุด จึงนำไปเปรียบเทียบกับ Initial Elite Preserve Solution ผลปรากฏว่าให้ค่า Fitness ที่ดีกว่าจึงทำการแทนที่สตริงคำตอบตัวเดิม ด้วยสตริงคำตอบตัวใหม่ที่ได้หลังการครอสโอเวอร์ โดยมีรายละเอียดของสตริงที่เก็บไว้ใหม่คือ

สตริงคำตอบ	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16 19]
สถานีงาน	[1 1 1 1 1 2 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 3 3]
ค่า Fitness	11288.7501
จำนวนสถานีงาน	3
เวลาว่างงานรวม	18
Workload Variance	0
ประสิทธิภาพสายการผลิต	98.5714

5.4.9 การมิวเตชั่น

ในที่นี้กำหนดให้ Pm=0.2 ซึ่งทำให้สามารถคาดเดาได้ว่าน่าจะมีสตริงคำตอบ 20% หรือ 0.2*5= 1 ตัว ที่จะถูกมิวเตชั่น สตริงตัวนี้จะได้มาจากการสุ่มค่า r ให้กับสตริงแต่ละตัว แล้วถ้าตัวใดที่ r น้อยกว่า Pm ก็จะถูกนำไปมิวเตชั่น ดังตารางที่ 5.14

ตารางที่ 5.14 *ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชั่น*

String NO.	String Sequence	ri	Selected String ri < Pm (0.2)
1	[4 2 1 7 6 3 9 10 8 12 15 5 11 13 14 18 17 16 19]	0.73	
2	[1 7 2 4 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 13 17 18 16 19]	0.52	
3	[2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16]	0.17	/
4	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16 19]	0.24	
5	[4 2 1 7 6 3 10 9 8 12 15 5 11 14 18 13 17 19 16]	0.41	

จะได้สตริงที่นำมามิวเตชั่นคือสตริงหมายเลข 3 มีลำดับคือ [2 5 1 7 6 3 10 9 8 12 15 4 11 14 18 13 17 19 16] จากนั้นทำการสุ่มตำแหน่งที่จะทำการมิวเตชั่น ได้ตำแหน่งที่ 6 ดังนั้นสตริงตัวใหม่จะมีค่าในตำแหน่งที่1-6 เหมือนเดิมทุกอย่าง

Parent1 = [2 5 1 7 6 3 x x x x x x x x x x x x x]

ในตำแหน่งที่เหลือจะใช้วิธีกำหนดงานเหมือนกับการสร้างประชากรเบื้องต้น โดยในตอนนี้มีงานที่ถูกจัดไปแล้ว 6 งาน ในตำแหน่งที่ 1-6 การจัดงานในตำแหน่งที่เหลือแสดงได้ดังตารางที่ 5.15

ตารางที่ 5.15 การหาสตริงคำตอบตัวใหม่จากการมิวเตชั่น

Iteration	Available Set	Random Selected String	String Sequence
1	-	-	-
2	-	-	-
3	-	-	-
4	-	-	-
5	-	-	-
6	-	-	[2 5 1 7 6 3]
7	{4 8 9 10}	9	[2 5 1 7 6 3 9]
8	{4 8 10}	10	[2 5 1 7 6 3 9 10]
9	{4 8}	8	[2 5 1 7 6 3 9 10 8]
10	{4 12}	12	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12]
11	{4 15}	15	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15]
12	{4}	4	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4]
13	{11}	11	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11]
14	{13 14 16}	13	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13]
15	{14 16 17}	14	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14]
16	{16 17 18}	18	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18]
17	{16 17}	17	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17]
18	{16 19}	16	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16]
19	{16}	19	[2 5 1 7 6 3 9 10 8 12 15 4 11 13 14 18 17 16 19]

สตริงตัวใหม่ที่ได้จากตารางที่ 5.15 จะถูกนำไปแทนที่สตริงคำตอบตัวเดิมในตำแหน่งสตริงหมายเลข 3

5.4.10 การเก็บค่าที่ดีที่สุดภายหลังการมิวเตชั่น

ภายหลังการมิวเตชั่นจะได้สตริงคำตอบชุดใหม่ ซึ่งจะถูกใช้เป็นสตริงพ่อแม่ในเจนเนอเรชั่นต่อไป แต่ก่อนที่จะเข้าสู่เจนเนอเรชั่นต่อไป สตริงคำตอบทุกตัวจะถูกถอดรหัสคำตอบและประเมินค่า ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 5.16

ตารางที่ 5.16 *การประเมินค่าสตริงคำตอบภายหลังการมิวเตชั่น*

String No.	wv	Total Idle Time (min)	Line Eff.(%)	Fitness
1	10.6667	18	98.5714	21.3334
2	10.6667	18	98.5714	21.3334
3	0	18	98.5714	32.0001
4	0	18	98.5714	32.0001
5	10.6667	18	98.5714	21.3334

จากนั้นนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากการมิวเตชั่นซึ่งในที่นี้มี 2 ตัวที่ให้ค่า Fitness เหมือนกัน ดังนั้นเลือกตัวไหนก็ได้ ไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ซึ่งจากการเปรียบเทียบพบว่าเป็นตัวเดียวกันจึงไม่ต้องทำการเก็บค่าหรือแทนที่สตริงคำตอบ ดังนั้นสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวที่ได้ภายหลังการมิวเตชั่นแล้วจะกลายเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้นในเจนเนอเรชั่นต่อไป

5.5 สรุปท้ายบท

วิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้สำหรับปัญหาการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม แบ่งเป็น 5 ส่วนหลักคือการสร้างประชากรเบื้องต้น (Initialization) การรีโปรดักชั่น (Reproduction) การครอสโอเวอร์ (Crossover) การมิวเตชั่น (Mutation) และเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite Preserve Strategy)

การสร้างประชากรเบื้องต้นทำได้โดยการสร้างคำตอบเบื้องต้นจำนวนหนึ่งในรูปของสตริงคำตอบที่ได้จากการใส่รหัสแบบ Sequence-oriented Representation โดยพิจารณาลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังร่วมด้วย ในส่วนของการรีโปรดักชั่นจะแบ่งเป็น 3 ส่วนย่อยคือการถอดรหัส (Decoding) ซึ่งเป็นการนำขั้นงานในสตริงคำตอบมาจัดให้กับสถานีทำงานตามลำดับ การประเมินค่า (Evaluation) เป็นการคำนวณหาค่าความเหมาะสมของสตริงคำตอบแต่ละตัว และการคัดเลือก (Selection) ซึ่งเป็นการคัดเลือกสตริงตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่าเพื่อเข้าสู่กระบวนการถัดไปโดยวิธีการคัดเลือกแบบ Tournament Selection เมื่อเข้าสู่กระบวนการ ครอสโอเวอร์ สตริงจะถูกสุ่มเลือกด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เพื่อมาจับคู่และทำการครอสโอเวอร์ วิธีครอสโอเวอร์ที่ใช้มีหลายวิธีคือ MOX PMX CX OX PBX ร่วมกับวิธีซ่อมแซมคำตอบเพื่อให้ได้สตริงคำตอบที่เป็นไปได้ จากนั้นสตริงคำตอบจะถูกสุ่มเลือกไปทำการมิวเตชั่นด้วยความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น วิธีมิวเตชั่นที่ใช้คือวิธี Random sequence Mutation ซึ่งสามารถให้คำตอบที่เป็นไปได้โดยไม่ต้อง

ผ่านการซ่อมแซมคำตอบ สตริงคำตอบที่ได้จะกลายเป็นประชากรพ่อแม่ในเจนเนอเรชั่นต่อไป กระบวนการของ GAs จะเกิดขึ้นซ้ำไปเรื่อยๆจนกว่าจะถึงเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่กำหนด

ในระหว่างกระบวนการของ GAs มีการนำเทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดเข้าไปใช้ภายหลังการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น ภายหลังการครอสโอเวอร์ และภายหลังการมิวเตชั่น ทั้งนี้เพื่อให้สตริงคำตอบที่ดียังคงอยู่ต่อไปในเจนเนอเรชั่นถัดไป

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่6
การทดสอบพารามิเตอร์ของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) ที่นำมาใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้น มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะทำให้ประสิทธิภาพของ GAs ดีขึ้น ดังนั้นจึงได้ทำการออกแบบการทดลอง (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2537) และทำการทดลองตามวิธีของ Experimental Design (Montgomery,D.C., 1997) เพื่อหาพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องอย่างเหมาะสม โดยวัตถุประสงค์เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของ GAs ในด้านความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด วิธีการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอนคือ

1. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด
2. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบ
3. การหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของ wv และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

6.1 การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

6.1.1 การระบุปัญหา

เนื่องจากวิธี GAs ที่นำมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมมีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว เช่น จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น เป็นต้น และแต่ละพารามิเตอร์ก็มีหลายระดับ ไม่ว่าจะจำนวนประชากรที่มีหลายขนาด วิธีการครอสโอเวอร์ที่มีหลายแบบ ดังนั้นเพื่อให้วิธีการ GAs มีประสิทธิภาพดียิ่งจึงต้องมีการทำการทดลองเพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อการหาคำตอบที่ดีที่สุด

ในการทดลองนี้จะนำวิธี GAs มาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมจำนวน 4 ปัญหา ซึ่งเป็นปัญหาที่มีจำนวนขั้นงาน และความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงานที่แตกต่างกัน

รายละเอียดของปัญหาที่ใช้ในการทดลองแสดงไว้ในตารางที่ 6.1 และในภาคผนวก ข

ตารางที่ 6.1 *รายละเอียดและข้อกำหนดเบื้องต้นปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการทดลอง*

กรณีศึกษาที่	จำนวนผลิตภัณฑ์	จำนวนงาน	ความสัมพันธ์ก่อน-หลัง	เวลาทำงาน	จำนวนสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้
1	3	19	กำหนดให้*	420 นาที	กำหนดให้
2	3	114	กำหนดให้	420 นาที	กำหนดให้
3	3	194	กำหนดให้	540 นาที	กำหนดให้
4	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์ไม่เกิน 3-5	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์ไม่เกิน 250 งาน	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์	สุ่มโดยคอมพิวเตอร์

กำหนดให้ หมายถึง ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานจะกำหนดมาพร้อมกับปัญหานั้นๆอยู่แล้ว

6.1.2 การเลือกตัวแปรตอบสนอง

เนื่องจากเป็นการทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมโดยพิจารณาจากความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้นตัวแปรตอบสนองที่ใช้ ควรเป็นค่าวัตถุประสงค์เป้าหมาย (Objective Value) ของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งตามหลักการจัดสมดุลสายการประกอบที่มีวัตถุประสงค์เพื่อให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุดนั้น จะพยายามจัดงานให้กับสถานีงานลำดับต้นๆให้เต็มประสิทธิภาพก่อน เมื่อเต็มแล้วจึงนำไปจัดให้กับสถานีงานต่อไป ซึ่งหลักการนี้ส่งผลให้แต่ละเจนเนอเรชั่นมีจำนวนสถานีงานใกล้เคียงกันมาก และเป็นจำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดอยู่แล้ว ดังนั้นจึงไม่ต้องพิจารณาให้จำนวนสถานีงานเป็น Objective Function ของอัลกอริทึมที่ใช้ ดังนั้นในการทดลองนี้จึงเลือกค่า Workload Variance เป็นตัวแปรตอบสนองแทนจำนวนสถานีงาน

เนื่องจากประสิทธิภาพของ GAs ไม่ได้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุดเท่านั้นแต่ยังขึ้นกับความสามารถในการลู่เข้าคำตอบด้วย ซึ่งพิจารณาได้จากลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ ดังนั้นหากในกรณีที่เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นตัวแปรตอบสนองแล้วยังไม่สามารถวิเคราะห์หาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ ก็จะพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนองลำดับที่สอง โดยจะทำการวิเคราะห์เช่นเดียวกับเมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นตัวแปรตอบสนอง

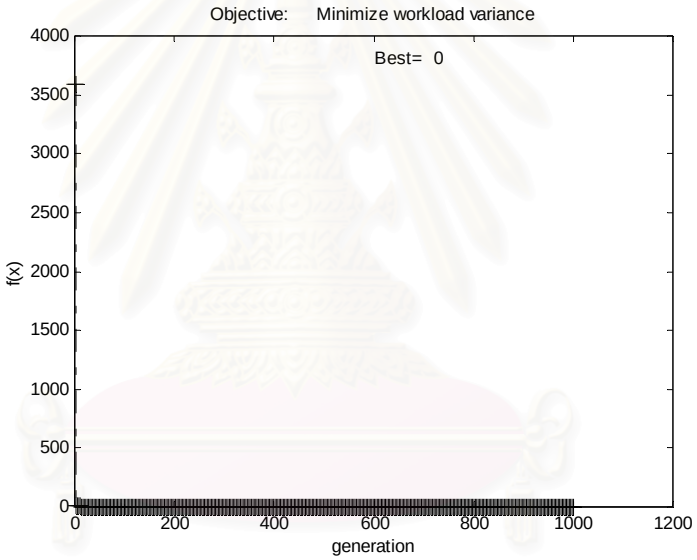
6.1.3 การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย

ดังที่กล่าวมาแล้วว่าวิธี GAs มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายตัว ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องให้เหมาะสมดังนี้คือ

1) จำนวนเจนเนอเรชั่น

จำนวนเจนเนอเรชั่นคือจำนวนครั้งหรือจำนวนรอบในการคำนวณหาค่าตอบสนองหนึ่งค่าโดยที่ 1 เจนเนอเรชั่นก็คือการคำนวณตามอัลกอริทึมที่ใช้ตั้งแต่เริ่มต้นจนจบครบหนึ่งรอบ แล้วจึงจะเริ่มวนขึ้นรอบใหม่ ทั้งนี้ 1 เจนเนอเรชั่นก็คือการวนรอบคำนวณซ้ำ 1 รอบนั่นเอง หากเรากำหนดจำนวนเจนเนอเรชั่นน้อยเกินไปคำตอบที่พบอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด ในขณะเดียวกันหากกำหนดจำนวนเจนเนอเรชั่นมากเกินไปก็จะทำให้เสียเวลาในการคำนวณโดยไม่จำเป็น

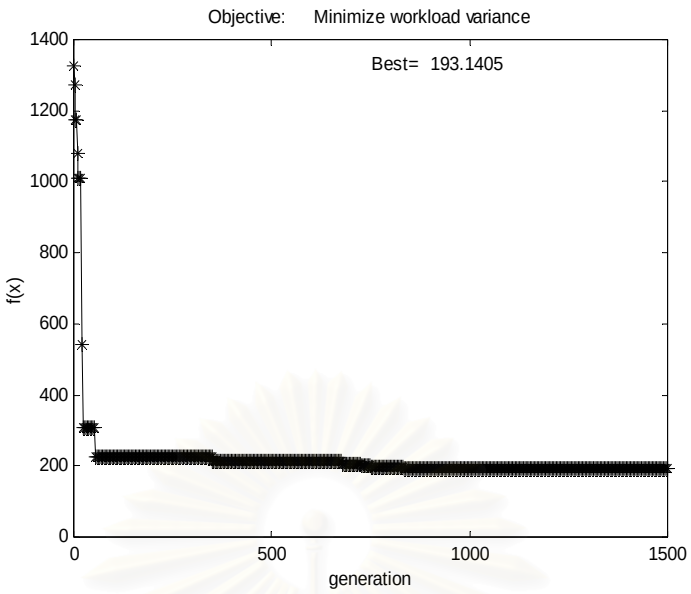
จำนวนเจนเนอเรชั่นที่ใช้ทดลองครั้งนี้หาได้จากการทำ Pilot Run ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันตามขนาดของปัญหา โดยจำนวนเจนเนอเรชั่นที่ใช้ในการทำ Pilot Run ของปัญหา 19ขั้นงาน 49 ขั้นงาน 114 ขั้นงานและ 194 ขั้นงาน มีค่า 1000 1500 2000 และ 2000 ตามลำดับ โดยจะพิจารณาว่า ค่า Workload Variance ที่ได้มีค่าต่ำสุดและคงที่ที่จำนวนเจนเนอเรชั่นที่เท่าใด โดยพารามิเตอร์ที่ใช้ได้มาจากการสุ่ม ซึ่งผลจากการทำ Pilot Run ของปัญหาต่างแสดงไว้ในรูปที่ 6.1-6.4.



รูปที่ 6.1 *ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

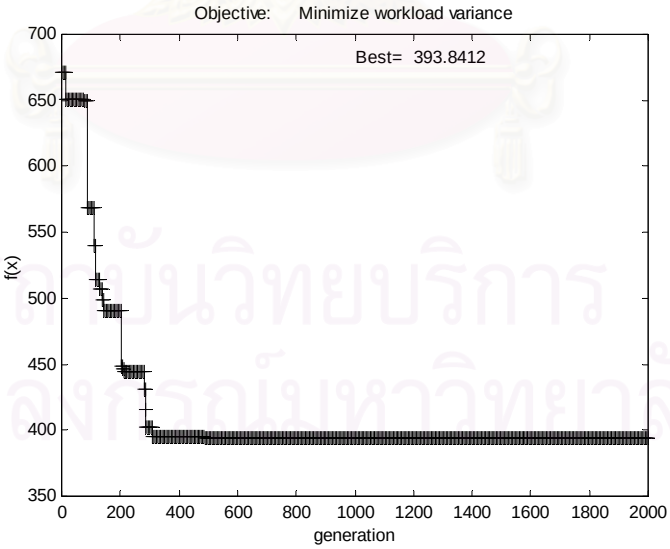
จากรูปแสดงผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 19 ขั้นงานนั้น จะให้ค่าตอบสนองต่ำสุดและคงที่ที่เจนเนอเรชั่นที่ 18 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดสำหรับปัญหา 19 ขั้นงานเท่ากับ 300 เจนเนอเรชั่น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



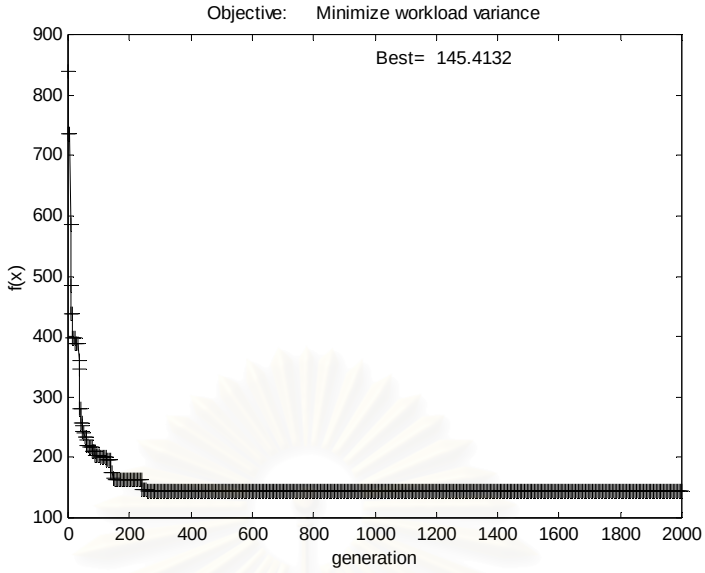
รูปที่ 6.2 *ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน*

จากรูปแสดงผลการทำ Pilot Run ของปัญหา 49 ขั้นงานนั้น จะให้ค่าตอบสนองต่ำสุดและคงที่ที่เจนเนอเรชั่นที่ 835 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดสำหรับปัญหา 49 ขั้นงานเท่ากับ 1200 เจนเนอเรชั่น



รูปที่ 6.3 *ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

พิจารณาจากรูปที่ 6.3 การทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานนั้น จะเห็นว่าค่าตอบสนองจะมีค่าคงที่และต่ำที่สุดที่เจนเนอเรชั่นที่ 488 ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานมีค่า 800 เจนเนอเรชั่น



รูปที่ 6.4 *ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

พิจารณารูปที่ 6.4 ในการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงานนั้น พบว่าที่จำนวนเจนเนอเรชั่นที่ 258 นั้นค่าตัวแปรตอบสนองจะเริ่มคงที่และมีค่าต่ำที่สุด ดังนั้นจึงกำหนดให้จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุดของปัญหาขนาด 194 ขั้นงานมีค่าเท่ากับ 800 เจนเนอเรชั่น

2) จำนวนประชากร (Population Size)

จำนวนประชากรที่ใช้ในการทดลองนี้หมายถึงจำนวนคำตอบทั้งหมดที่มีอยู่ในแต่ละเจนเนอเรชั่น เช่นถ้ากำหนดให้จำนวนประชากรมีขนาด 20 หมายความว่าในแต่ละเจนเนอเรชั่นจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด 20 คำตอบซึ่งอาจเป็นคำตอบที่เหมือนหรือแตกต่างกันก็ได้ หากเรากำหนดจำนวนประชากรน้อยเกินไปจะทำให้คำตอบที่หาได้ติดอยู่ใน Local Optimum ได้ง่าย ในขณะเดียวกันหากกำหนดให้จำนวนประชากรมีมากเกินไปจะทำให้เสียเวลาในการหาคำตอบนาน ดังนั้นจึงต้องมีการทดสอบหาค่าจำนวนประชากรที่เหมาะสมในการใช้งาน ซึ่งในการทดลองจะกำหนดระดับจำนวนประชากรที่แตกต่างสำหรับปัญหาตัวอย่าง 4 ปัญหาดังนี้คือ

ก. ปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน กำหนดให้จำนวนประชากรมี 3 ระดับคือ 10 15 และ 20

ข. ปัญหาตัวอย่าง 49 ขั้นงาน กำหนดให้จำนวนประชากรมี 3 ระดับคือ 10 15 และ 20

ค. ปัญหาตัวอย่าง 114 ขั้น กำหนดให้มีจำนวนประชากรทั้งหมด 3 ระดับ คือ 10 20 และ 30

ง. ปัญหาตัวอย่าง 194 ขั้นงาน กำหนดให้มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 3 ระดับคือ 10 20 และ 30

3) วิธีการคัดเลือกสตริง (Selection Method)

ในอัลกอริทึมที่นำมาใช้นั้นได้เสนอวิธีการคัดเลือกสตริงไว้เพียงวิธีเดียว คือ วิธี Tournament Selection ดังนั้นจึงไม่พิจารณาวิธีการคัดเลือกสตริงเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลองนี้

4) วิธีการครอสโอเวอร์ (Crossover Method)

ในอัลกอริทึมที่ได้พัฒนามาใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบมีทั้งหมด 5 วิธี ซึ่งวิธีการครอสโอเวอร์ก็น่าจะเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าตอบสนอง ดังนั้นจึงกำหนดให้วิธีการครอสโอเวอร์เป็นปัจจัยที่ใช้ในการทดลองอีกปัจจัยหนึ่ง โดยมีระดับปัจจัยทั้งหมด 5 ระดับดังนี้คือ

- ระดับที่ 1 วิธี Modified One-point Crossover (MOX)
- ระดับที่ 2 วิธี PMX with Repair Method
- ระดับที่ 3 วิธี CX with Repair Method
- ระดับที่ 4 วิธี OX with Repair Method
- ระดับที่ 5 วิธี Position-Based with Repair Method (PBX)

5) วิธีการมิวเตชั่น (Mutation Method)

ในอัลกอริทึมที่ใช้นั้น ได้เสนอวิธีมิวเตชั่นไว้เพียงวิธีเดียว โดยเป็นวิธีที่ใช้สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบเท่านั้น ดังนั้นจึงไม่พิจารณาวิธีมิวเตชั่นเป็นปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการทดลอง

6) ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Crossover Probability: Pc)

สำหรับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์นั้นสามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 0-1.00 แต่การกำหนดให้มีค่ามาก จะทำให้ประสิทธิภาพของ GAs ดีขึ้น (De Jong's, 1975)สำหรับการทดลองนี้กำหนดให้ใช้ระดับปัจจัยของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ทั้งหมด 3 ระดับ คือ 0.8 0.9 และ 1.0

7) ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Mutation Probability: Pm)

ค่านี้สามารถกำหนดได้ตั้งแต่ 0-1.00 เช่นเดียวกับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ แต่การกำหนดให้ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นต่ำ จะทำให้ประสิทธิภาพของ GAs ดีขึ้น (De Jong's,

1975) แต่อย่างไรก็ไรก็ตามสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบการนำ GAs มาใช้นั้นไม่ควรกำหนดให้ค่ามิวเตชั่นมีค่าต่ำจนเกินไป เนื่องจาก Mutation เป็น Operator ที่สำคัญในการแก้ปัญหา โดยความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นควรมีค่าอยู่ระหว่าง 0.1-0.4

ดังนั้นในการทดลองจะกำหนดให้ใช้ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นมีระดับปัจจัย 3 ระดับ คือ 0.2 0.3 และ 0.4

6.1.4 การพิจารณาผลกระทบร่วมกันระหว่างระดับปัจจัย

ในการทดลองนี้มีการพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องมากกว่า 1 ปัจจัย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction) ขึ้นได้

ในการทดลองใดๆ เมื่อความแตกต่างของค่าตอบสนองที่หลายๆระดับของปัจจัยหนึ่งมีค่าไม่เท่ากันที่ทุกระดับของอีกปัจจัยหนึ่ง เรียกว่าการเกิดผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย(Montgomery, 1997) ซึ่งผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยนี้จะชี้ให้เห็นถึงผลของปัจจัยหนึ่งที่มีต่ออีกปัจจัยหนึ่ง

ยกตัวอย่างเช่น ถ้าในการทดลองพบว่าจำนวนประชากรที่ทำให้ได้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดคือ 20 และพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมคือ 0.8 ในกรณีที่ไม่มีผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย เราสามารถสรุปได้ทันทีว่า ควรใช้จำนวนประชากรเป็น 20 และเลือกใช้ Pc 0.8 แต่ถ้ามีผลกระทบร่วมระหว่างทั้ง 2 ปัจจัยนี้ หมายความว่าถ้ากำหนดจำนวนประชากรเป็น 20 ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ที่ทำให้เกิดค่าตอบสนองที่ดีที่สุดอาจมีค่าเป็น 0.8 หรือไม่ก็ได้ และในขณะเดียวกันหากกำหนดค่า Pc 0.8 แล้วจำนวนประชากรที่ทำให้ค่าตอบสนองดีที่สุดอาจเป็น 20 หรือไม่ใช่ก็ได้ เช่นกัน ดังนั้นการพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยจึงเป็นสิ่งที่สำคัญอย่างมากในการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมต่อไป

ผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยสามารถแบ่งได้หลายระดับคือ

1) 1st Level Interaction คือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น จำนวนประชากร-วิธีการครอสโอเวอร์ หรือ วิธีการครอสโอเวอร์-ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น
2) 2nd Level Interaction คือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 3 ปัจจัย เช่น จำนวนประชากร* วิธีการครอสโอเวอร์*ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น
3) 3rd Level Interaction คือผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย 4 ปัจจัยซึ่งเป็นผลกระทบร่วมขึ้นสูงสุด

และเนื่องจากผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยในระดับสูงๆไม่ค่อยนิยมนำมาพิจารณา (Montgomery,DC., 1997) ดังนั้นในการทดลองนี้จึงพิจารณาเฉพาะผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยในระดับที่หนึ่งนั้น คือ

- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร กับ วิธีการครอสโอเวอร์
- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร กับ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์
- ผลกระทบร่วมระหว่าง จำนวนประชากร กับ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น
- ผลกระทบร่วมระหว่าง ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น กับ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์
- ผลกระทบร่วมระหว่าง ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น กับ วิธีการครอสโอเวอร์

6.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment)

6.2.1 การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการจากการทดลองแต่ละระดับปัจจัย

การทดลองในแต่ละระดับปัจจัย (Treatment Combination) จะเก็บข้อมูลค่าวัตถุประสงค์ของคำตอบซึ่งได้แก่ค่า Workload Variance จำนวน 2 ค่าและลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบจำนวน 2 ข้อมูล โดยทั้งสองค่าจะเก็บไปพร้อมๆกัน

6.2.2 การกำหนดรูปแบบการทดลอง

ในการทดลองนี้กำหนดให้ทำการทดลอง แบบ Full Factorial Design มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องในการพิจารณาทั้งหมด 4 ปัจจัยและในแต่ละปัจจัยมีระดับของปัจจัยที่ไม่เท่ากัน โดยมีค่า Workload Variance เป็นตัวแปรตอบสนองในการทดลองขั้นที่ 1 ส่วนในการทดลองขั้นที่ 2 ตัวแปรตอบสนองคือลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ ซึ่งจะเหมือนกันในทุกๆ Treatment Combination สำหรับรายละเอียดของปัจจัยแสดงไว้ในตารางที่ 6.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 *แสดงรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการพิจารณา*

ปัจจัย	จำนวนระดับปัจจัย (ระดับ)	ระดับปัจจัย
1. จำนวนประชากร (Popsize)	3	ปัญหา 19 ขั้นงานใช้ 10 15 20 ประชากร ปัญหา 49 ขั้นงานใช้ 10 15 20 ประชากร ปัญหา 114 ขั้นงานใช้ 1020 30 ประชากร ปัญหา 194 ขั้นงานใช้ 1020 30 ประชากร
2. วิธีการครอสโอเวอร์ (Crosstype)	5	1) วิธี Modified One-point Crossover 2) วิธี PMX with Repair Method 3) วิธี CX with Repair Method 4) วิธี OX with Repair Method 5) วิธี Position-Based with Repair Method
3. ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์(Pc)	3	1) 0.8 2) 0.9 3) 1.0
4. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น(Pm)	3	1) 0.2 2) 0.3 3) 0.4

การทดลองแบ่งเป็น 4 การทดลองตามขนาดของปัญหาคือ

<u>การทดลองที่ 1</u> การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีจำนวนขั้นงาน 19 งานใช้จำนวนเจนเนอเรชั่น 500 เจนเนอเรชั่น

<u>การทดลองที่ 2</u> การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีจำนวนขั้นงาน 49 งานใช้จำนวนเจนเนอเรชั่น 1200 เจนเนอเรชั่น

<u>การทดลองที่ 3</u> การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีจำนวนขั้นงาน 114 งานใช้จำนวนเจนเนอเรชั่น 800 เจนเนอเรชั่น

<u>การทดลองที่ 4</u> การทดลองจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีจำนวนขั้นงาน 194 งานใช้จำนวนเจนเนอเรชั่น 800 เจนเนอเรชั่น

ในแต่ละปัญหามีจำนวนทำซ้ำของการทดลอง (Replication) เท่ากับ 2 และแต่ละการทดลองมี Treatment Combination เท่ากับ 3x5x3x3=135 ดังนั้นจำนวนข้อมูลทั้งหมดในแต่ละการทดลองเท่า 135x2= 270 ข้อมูล

6.2.3 การเก็บและจัดระบบข้อมูล

จากการทำการทดลองที่ระดับปัจจัยต่าง ๆ ผลการทดลองที่ได้จะเก็บไว้ในตารางแสดงผลการรันโปรแกรมในภาคผนวก ง ซึ่งประกอบด้วยค่าตัวแปรตอบสนองคือ ค่า Workload Variance และ ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

6.3 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เนื่องจากมีการทดลองทั้งหมด 4 การทดลองแยกตามขนาดปัญหาที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นในการวิเคราะห์การทดลองจะแยกเป็น 4 ส่วนด้วย โดยในแต่ละปัญหานั้นจะมีขั้นตอนการวิเคราะห์ผล 3 ขั้นตอนคือ

1. การวิเคราะห์โดยพิจารณาค่า Workload Variance เป็นตัวแปรตอบสนอง เพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม หากปัจจัยที่ทดสอบแล้วพบระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือให้ค่าตอบสนองที่ดีที่สุดเพียงระดับเดียว ก็จะกำหนดระดับปัจจัยนั้นเป็นพารามิเตอร์ที่ใช้ แต่ถ้าปัจจัยใดที่มีระดับปัจจัยที่เหมาะสมหลายระดับ ก็จะนำปัจจัยนั้นไปทำการวิเคราะห์ต่อในขั้นตอนที่ 2
2. การวิเคราะห์โดยพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง ซึ่งจะเป็นการวิเคราะห์ต่อจากขั้นตอนแรก เมื่อไม่สามารถระบุพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้
3. การวิเคราะห์โดยพิจารณาจากค่าเฉลี่ย Workload Variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ เป็นการวิเคราะห์ที่ใช้ในกรณีที่มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ได้มีหลายค่า แต่จำเป็นที่จะต้องกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเพียงค่าเดียวเพื่อนำไปใช้ในการหาคำตอบในบทต่อไป

ในการวิเคราะห์ขั้นตอนที่ 1 และ 2 จะมีวิธีวิเคราะห์ที่เหมือนกัน ต่างกันเพียงค่าตัวแปรตอบสนองที่ใช้ โดยมีการวิเคราะห์ 2 ขั้นตอน(ดู Montgomery, D.C.) คือ

1) การวิเคราะห์ ANOVA เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าปัจจัยใดที่มีผลต่อการหาคำตอบที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 โดยใช้โปรแกรม SPSS เป็นโปรแกรมช่วยในการวิเคราะห์
2) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test เป็นการวิเคราะห์เพื่อดูว่าระดับปัจจัยใดที่มีความแตกต่างกับระดับปัจจัยอื่นๆ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

6.3.1 ปัญหาขนาด 19ขั้นงาน

6.3.1.1 ใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง

1) *การวิเคราะห์ความแปรปรวนร่วม (ANOVA)*

การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS จะได้ผลการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 6.3

ตารางที่ 6.3 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง*

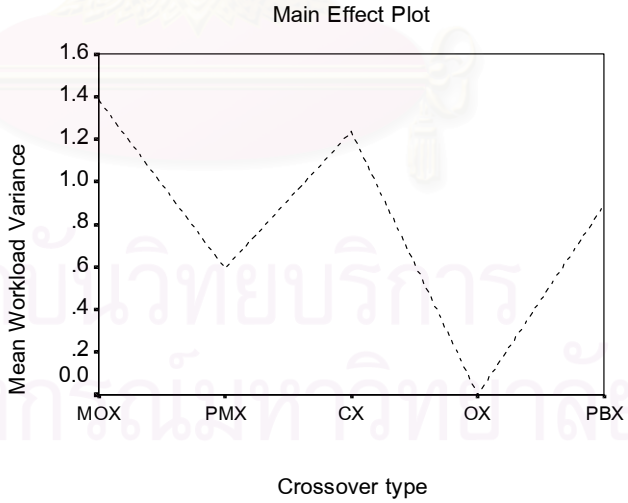
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	469.236	134	3.502	1.461	.014
Intercept	181.443	1	181.443	75.704	.000
POPSIZE	29.129	2	14.565	6.077	**.003**
CROSSTYPE	65.740	4	16.435	6.857	**.000**
PC	5.267E-02	2	2.633E-02	.011	.989
PM	59.471	2	29.736	12.407	**.000**
POPSIZE * CROSSTYPE	30.657	8	3.832	1.599	.131
POPSIZE * PC	24.283	4	6.071	2.533	**.043**
CROSSTYPE * PC	10.746	8	1.343	.560	.809
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	64.475	16	4.030	1.681	.057
POPSIZE * PM	19.859	4	4.965	2.071	.088
CROSSTYPE * PM	21.650	8	2.706	1.129	.348
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	31.764	16	1.985	.828	.652
PC * PM	4.846	4	1.212	.506	.732
POPSIZE * PC * PM	17.278	8	2.160	.901	.518
CROSSTYPE * PC * PM	24.652	16	1.541	.643	.844
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	64.633	32	2.020	.843	.707
Error	323.560	135	2.397		
Total	974.240	270			
Corrected Total	792.796	269			

จากตารางที่ 6.3ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน พบว่าอิทธิพลของจำนวนประชากร (POPSIZE) วิธีการครอสโอเวอร์ (CROSSTYPE) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (PM) มีผลต่อค่า Workload Variance อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 และมีผลเนื่องจากความสัมพันธ์ร่วม (Interaction) ระหว่าง จำนวนประชากรและความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (POPSIZE*PC)

ซึ่งสามารถนำผลที่ได้ไป Plot กราฟแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตอบสนองได้ดังรูปกราฟที่ 6.5-6.8

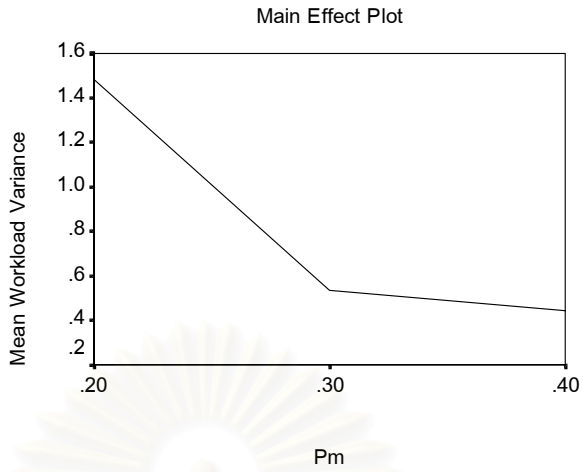
รูปที่ 6.5 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด19 ขั้นงาน

จากกราฟที่ 6.5 จะเห็นว่าเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่า Workload Variance จะมีค่าลดต่ำลง แสดงว่าจำนวนประชากรเป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Workload Variance ซึ่งสอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่6.3



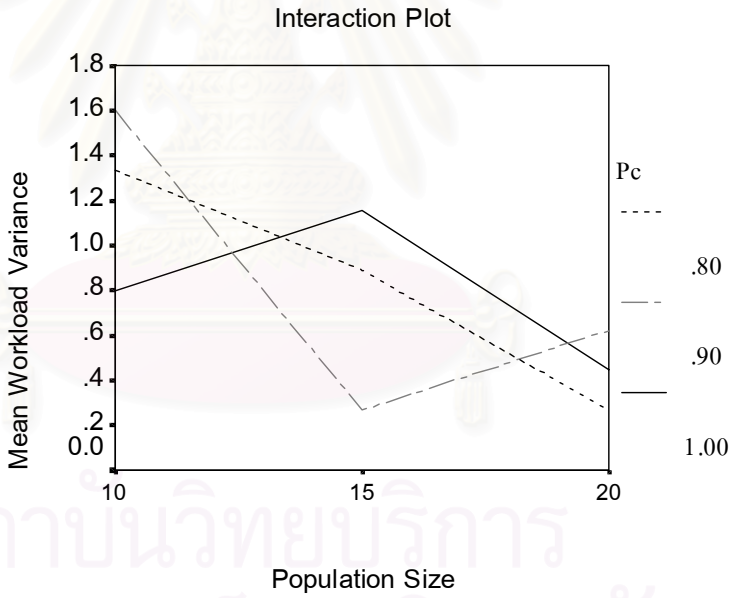
***รูปที่ 6.6** กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

พิจารณาจากกราฟที่ 6.6 เมื่อมีการเปลี่ยนวิธีการครอสโอเวอร์ จะทำให้ค่า wv ที่ได้มีค่าเปลี่ยนแปลงแสดงว่าวิธีการครอสโอเวอร์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 6.7 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.7 จะเห็นว่าค่า Workload Variance มีแนวโน้มลดลงเมื่อค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pm) มีค่าเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงว่า Pm เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า wv



รูปที่ 6.8 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Size กับปัจจัย Pc ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

พิจารณาจากกราฟที่ 6.8 พบว่าที่ขนาดประชากร 10 ค่า Pc ที่ทำให้ได้ค่า wv ต่ำสุดคือ 1.0 แต่เมื่อขนาดประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 15 พบว่า Pc ที่เหมาะสมจะเป็น 0.9 ในขณะที่ขนาดประชากรเป็น 20 Pcที่ทำให้ได้ค่า wv ต่ำสุดเป็น 0.8 ซึ่งแสดงว่ามีอิทธิร่วมของปัจจัยจำนวนประชากรกับ Pc ที่ส่งผลต่อค่า wv สอดคล้องกับผลการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 6.3

2) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

การวิเคราะห์ Duncan เพื่อดูว่าระดับปัจจัยใดบ้างที่มีความแตกต่างกันได้ผลดังนี้คือ

ก. จำนวนประชากร

ผลจากการวิเคราะห์จำนวนประชากร 10 จะให้ค่า Workload variance ที่สูงที่สุดและแตกต่างกับจำนวนประชากรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญจึงตัดทิ้ง

ข. วิธีการครอสโอเวอร์

วิธีการครอสโอเวอร์แบบ OX จะให้ค่า Workload variance ที่ต่ำสุดและแตกต่างกับวิธีอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

ค. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น เท่ากับ 0.3 และ 0.4 ให้ค่า Workload variance ที่ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับ Pm 0.2 อย่างมีนัยสำคัญ

ช. Interaction ระหว่าง จำนวนประชากร และ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

จากการวิเคราะห์พบว่า จำนวนประชากร 15 Pc 0.9 จำนวนประชากร 20 Pc 0.8 จำนวนประชากร 20 Pc 1.0 และ จำนวนประชากร 20 Pc 0.9 ให้ค่า Workload Variance ที่ไม่แตกต่างกัน

จากการวิเคราะห์ด้วย Duncan's Multiple Range Test จะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมทำให้ค่า Workload variance มีค่าต่ำ สำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงานคือ

จำนวนประชากร : 15 20

วิธีการครอสโอเวอร์ : OX

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.8 0.9 1.0

ความน่าจะเป็นในการในการมิวเตชั่น : 0.3 0.4

6.3.1.2 ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง

1) การวิเคราะห์ ANOVA

จากการวิเคราะห์ที่ใช้ค่า wv เป็นค่าตอบสนองในขั้นแรกนั้น จะได้ว่าควรใช้วิธีการครอสโอเวอร์ แบบ OX ดังนั้นการวิเคราะห์ในขั้นนี้จะตัดปัจจัยวิธีการครอสโอเวอร์ออกจากการพิจารณาและใช้ค่าตอบสนองที่ได้จากวิธีการครอสโอเวอร์แบบ OX ที่ปัจจัยต่าง ๆคือ

จำนวนประชากร 15 20

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 0.8 0.9 1.0

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 0.3 0.4

ผลจากการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน โดยใช้โปรแกรม SPSS จะได้ดังตารางที่ 6.4

ตารางที่ 6.4 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน เมื่อใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ เป็นค่าตอบตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NO.GEN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	492.458	11	44.769	1.167	.396
Intercept	1080.042	1	1080.042	28.144	.000
POPSIZE	9.375	1	9.375	.244	.630
PC	234.333	2	117.167	3.053	.085
PM	117.042	1	117.042	3.050	.106
POPSIZE * PC	13.000	2	6.500	.169	.846
POPSIZE * PM	7.042	1	7.042	.183	.676
PC * PM	110.333	2	55.167	1.438	.276
POPSIZE * PC * PM	1.333	2	.667	.017	.983
Error	460.500	12	38.375		
Total	2033.000	24			
Corrected Total	952.958	23			

ผลการวิเคราะห์จากตารางที่ 6.4 พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่มีผลต่อความเร็วในการลู่เข้าหาคำตอบของปัญหาขนาด 19 งานเลย

6.3.1.3 การวิเคราะห์โดยดูจากค่าเฉลี่ยของworkload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

จากการวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของ Workload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบร่วมกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมา จะได้พารามิเตอร์ที่ทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงานคือ

จำนวนประชากร : ขนาด 15 ประชากร

วิธีการครอสโอเวอร์ : แบบ OX

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

6.3.2 ปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน

6.3.2.1 *ใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง*

1) วิเคราะห์ ANOVA

การวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรม SPSS จะได้ผลการวิเคราะห์ ANOVA ดังตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.5 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: WV

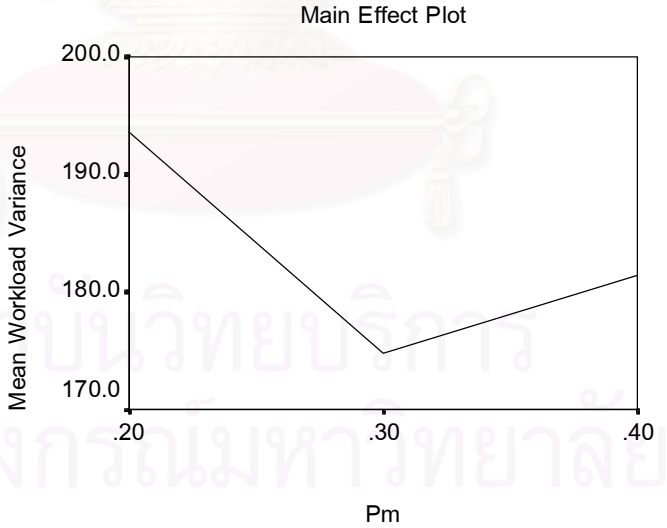
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	364434.207	134	2719.658	1.148	.213
Intercept	9066899.942	1	9066899.942	3826.352	.000
POPSIZE	50006.434	2	25003.217	10.552	**.000**
CROSSTYPE	5522.461	4	1380.615	.583	.676
PC	2622.765	2	1311.382	.553	.576
PM	16262.854	2	8131.427	3.432	**.035**
POPSIZE * CROSSTYPE	16650.824	8	2081.353	.878	.537
POPSIZE * PC	6943.218	4	1735.805	.733	.571
CROSSTYPEE * PC	14724.919	8	1840.615	.777	.624
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	19412.519	16	1213.282	.512	.937
POPSIZE * PM	12556.275	4	3139.069	1.325	.264
CROSSTYPE * PM	24620.437	8	3077.555	1.299	.249
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	58005.920	16	3625.370	1.530	.098
PC * PM	13806.389	4	3451.597	1.457	.219
POPSIZE * PC * PM	20969.267	8	2621.158	1.106	.363
CROSSTYPE * PC * PM	27441.575	16	1715.098	.724	.766
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	74888.348	32	2340.261	.988	.495
Error	319895.183	135	2369.594		
Total	9751229.331	270			
Corrected Total	684329.389	269			

จากตารางที่ 6.5 การวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงานพบว่าปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า Workload variance อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 คือ จำนวนประชากร ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตัวแปรตอบสนองสามารถแสดงได้ดังกราฟที่ 6.9 และกราฟที่ 6.10

รูปที่ 6.9 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.9 เมื่อจำนวนประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ค่า wv จะมีแนวโน้มลดลงซึ่งแสดงว่าปัจจัยจำนวนประชานั้นมีอิทธิพลต่อค่า wv



รูปที่ 6.10 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.10 พบว่าเมื่อระดับของปัจจัย Pm เปลี่ยนไปจะส่งผลให้ค่า wv มีการเปลี่ยนแปลงไปด้วยแสดงว่า Pm เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า wv ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากการพิจารณาจากกราฟทั้งสองรูปให้ผลสอดคล้องกับการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 6.5

2) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test เพื่อดูว่ามีปัจจัยใดบ้างที่มีค่าแตกต่างจากปัจจัยอื่นๆ

ก. จำนวนประชากร

ผลจากการวิเคราะห์จำนวนประชากร 10 จะให้ค่า Workload variance ที่สูงที่สุดและแตกต่างกับจำนวนประชากรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญจึงตัดทิ้ง

ข. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการทดสอบพบว่า Pm 0.3 และ Pm 0.4 ให้ผลที่ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับ Pm 0.2 อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test จะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Workload variance มีค่าต่ำ ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงานดังนี้

จำนวนประชากร:15 20

วิธีการครอสโอเวอร์ : ทุกวิธีไม่ต่างกัน

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : ทุกค่าไม่ต่างกัน

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3 0.4

6.3.2.2 ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง

1) การวิเคราะห์ ANOVA

โดยระดับปัจจัยที่พิจารณาได้แก่

จำนวนประชากร 2 ระดับคือ 15 20

วิธีการครอสโอเวอร์ 5 แบบคือ MOX PMX CX OX PBX

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 3 ระดับคือ 0.8 0.9 1.0

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 2 ระดับคือ 0.3 0.4

ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง แสดงดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.6 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน* เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NO.GEN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7370308.700	59	124920.486	.937	.599
Intercept	50240844.300	1	50240844.300	376.739	.000
POPSIZE	23970.133	1	23970.133	.180	.673
CROSSTYPE	944330.200	4	236082.550	1.770	.147
PC	127275.050	2	63637.525	.477	.623
PM	14652.300	1	14652.300	.110	.741
POPSIZE * CROSSTYPE	392678.200	4	98169.550	.736	.571
POPSIZE * PC	100845.217	2	50422.608	.378	.687
CROSSTYPE * PC	1650612.450	8	206326.556	1.547	.160
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	1144896.450	8	143112.056	1.073	.394
POPSIZE * PM	58080.000	1	58080.000	.436	.512
CROSSTYPE * PM	427723.033	4	106930.758	.802	.529
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	526223.167	4	131555.792	.986	.422
PC * PM	18493.650	2	9246.825	.069	.933
POPSIZE * PC * PM	125076.950	2	62538.475	.469	.628
CROSSTYPE * PC * PM	781845.517	8	97730.690	.733	.662
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	1033606.383	8	129200.798	.969	.469
Error	8001435.000	60	133357.250		
Total	65612588.000	120			
Corrected Total	15371743.700	119			

จากตารางที่ 6.6 ผลการวิเคราะห์พบว่าไม่มีปัจจัยใดเลยที่มีผลต่อค่าตอบสนอง

6.3.2.3 การวิเคราะห์โดยดูจากค่าเฉลี่ยของworkload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

จากการวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของ Workload Variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบร่วมกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมา จะได้พารามิเตอร์ที่ทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาขนาด 49 ขั้นงานคือ

จำนวนประชากร : ขนาด 20 ประชากร

วิธีการครอสโอเวอร์ : แบบ OX

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

6.3.3 ปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน

6.3.3.1 ใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบสนอง

1) วิเคราะห์ ANOVA

ผลการวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้โปรแกรม SPSS แสดงได้ดังตารางที่ 6.7

ตารางที่ 6.7 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: WV

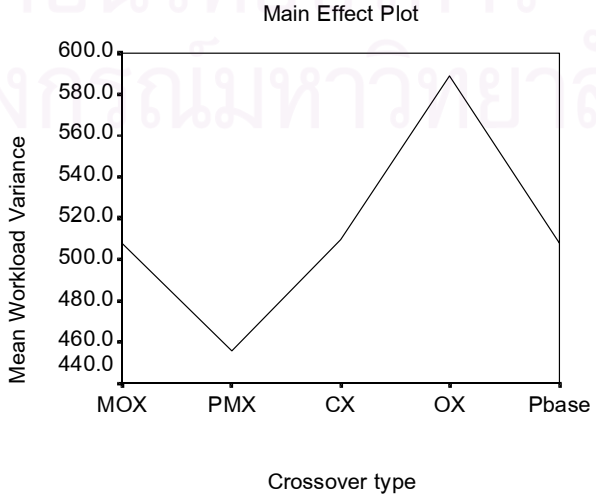
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1185384.514	134	8846.153	3.488	.000
Intercept	71310969.777	1	71310969.777	28117.715	.000
POPSIZE	84345.542	2	42172.771	16.629	**.000**
CROSSTYPE	491261.321	4	122815.330	48.426	**.000**
PC	1890.658	2	945.329	.373	.690
PM	49614.986	2	24807.493	9.782	**.000**
POPSIZE * CROSSTYPE	26763.143	8	3345.393	1.319	.239
POPSIZE * PC	16832.357	4	4208.089	1.659	.163
CROSSTYPE * PC	14136.329	8	1767.041	.697	.694
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	68357.352	16	4272.335	1.685	.057
POPSIZE * PM	48659.522	4	12164.880	4.797	**.001**
CROSSTYPE * PM	160219.438	8	20027.430	7.897	**.000**
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	49101.278	16	3068.830	1.210	.268
PC * PM	8610.668	4	2152.667	.849	.497
POPSIZE * PC * PM	17339.833	8	2167.479	.855	.557
CROSSTYPE * PC * PM	51103.131	16	3193.946	1.259	.232
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	97148.957	32	3035.905	1.197	.238
Error	342381.345	135	2536.158		
Total	72838735.636	270			
Corrected Total	1527765.859	269			

จากตารางที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนองพบว่า จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น เป็นปัจจัยที่มีผลต่อค่า Workload variance อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 นอกจากนี้ยังมีผลจากค่า Interaction ระหว่าง จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น และวิธีการครอสโอเวอร์กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

กราฟแสดงปัจจัยต่างๆ ที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานแสดงไว้ในกราฟที่ 6.11 – 6.15

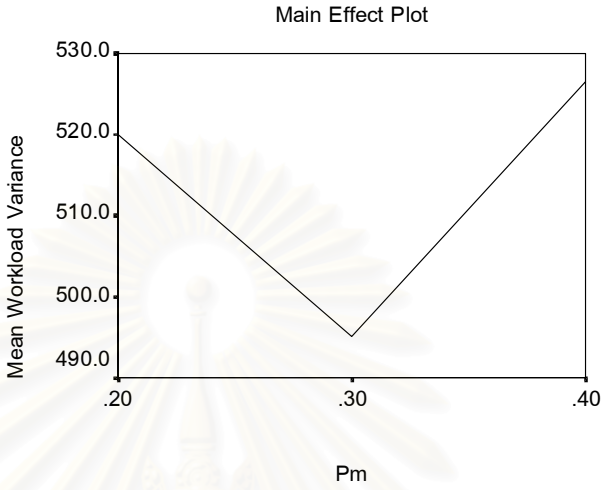
รูปที่ 6.11 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population Size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.11 จะเห็นว่าค่าตัวแปรตอบสนองหรือค่า wv มีแนวโน้มลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อจำนวนประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้น ซึ่งแสดงว่าปัจจัยจำนวนประชากรมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนอง



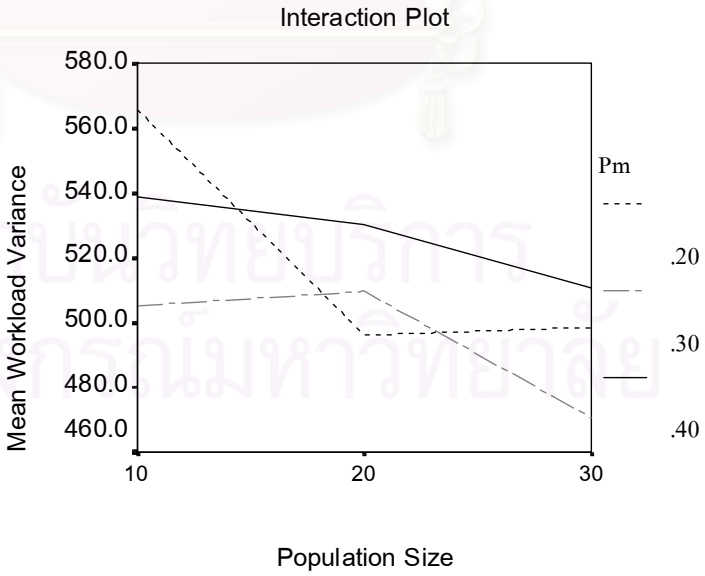
รูปที่ 6.12 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.12 ค่า wv ซึ่งเป็นค่าตัวแปรตอบสนองจะมีค่าไม่เท่ากันที่วิธีการครอสโอเวอร์ที่ต่างกัน แสดงว่าวิธีการครอสโอเวอร์เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า wv



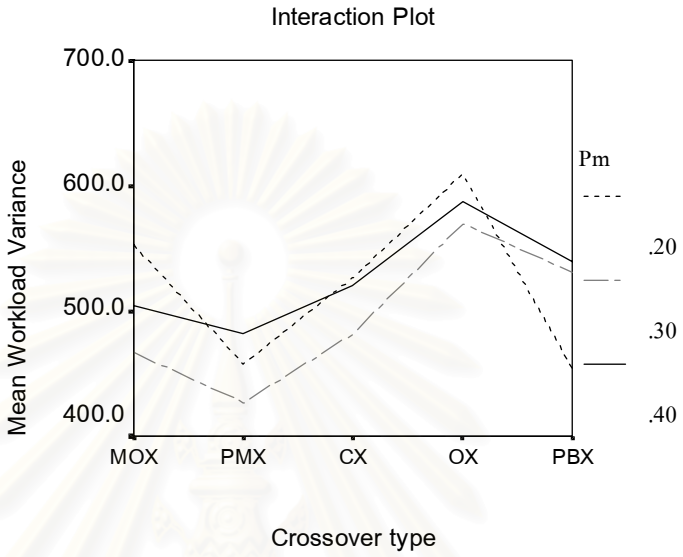
รูปที่ 6.13 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

พิจารณาจากกราฟที่ 6.13 พบว่าที่ระดับปัจจัย Pm ต่างกัน ค่า wv จะมีค่าแตกต่างกันแสดงว่า Pm เป็นปัจจัยที่ส่งผลต่อค่า wv



รูปที่ 6.14 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Sizeกับ PM ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

พิจารณาจากกราฟที่ 6.14 พบว่าที่ขนาดประชากร 10 ค่า Pm ที่ทำให้ wv มีค่าต่ำสุดคือ 0.3 และเมื่อประชากรมีขนาด 20 ค่า wv จะต่ำสุดที่ Pm 0.2 และเมื่อประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น Pm ที่ทำให้ค่า wv มีค่าต่ำสุดคือ 0.3 ซึ่งแสดงว่าปัจจัยร่วมระหว่างจำนวนประชากร และ Pm มีอิทธิพลต่อค่า wv ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง



รูปที่ 6.15 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.15 เมื่อพิจารณาค่า wv มีค่าต่ำสุด เมื่อวิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX กับ Pm 0.3 และเมื่อเปลี่ยนวิธีการครอสโอเวอร์เป็นแบบ PBX ค่า Pm จะมีค่า 0.2 แสดงว่าอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการครอสโอเวอร์และ Pm ส่งผลต่อค่า wv

ผลการวิเคราะห์จากรูปกราฟที่ 6.11 – 6.15 ให้ผลการวิเคราะห์เช่นเดียวกับการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 6.7

2) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

การวิเคราะห์เพื่อดูความแตกต่างของปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานได้ผลดังนี้คือ

ก) จำนวนประชากร

จากการวิเคราะห์พบว่าจำนวนประกร 10 20 30 ให้ค่า Workload variance ที่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจำนวนประชากร 30 ให้ค่า Workload variance ที่ต่ำที่สุด

ข) วิธีการครอสโอเวอร์

วิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX จะให้ค่า Workload variance ที่ต่ำที่สุดและแตกต่างจากวิธีการครอสโอเวอร์แบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

ค) ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

ที่ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 0.2 และ 0.4 ให้ค่า Workload variance ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ต่างจาก Pm 0.3 อย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ Pm 0.3 ให้ค่า wv ที่ต่ำที่สุด

ง) Interaction ระหว่าง จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการวิเคราะห์ Duncan พบว่า จำนวนประชากร 30 ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 0.3 จะให้ค่า wv ที่ต่ำที่สุดและแตกต่างกับ Interaction อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

ช) Interaction ระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการวิเคราะห์พบว่าInteraction ระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX กับ Pm 0.3 วิธี PMX กับ Pm 0.2 และ วิธี PBX กับ Pm 0.2 ให้ค่า wv ที่ต่ำและแตกต่างกับ Interaction อื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test จะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Workload variance มีค่าต่ำ ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานดังนี้

จำนวนประชากร : 30
วิธีการครอสโอเวอร์ : PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : ทุกค่าไม่ต่างกัน
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

6.3.3.2 ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง

1) วิเคราะห์ ANOVA

จากการวิเคราะห์ในขั้นแรกนั้นสามารถตัดปัจจัยบางส่วนออกจากการพิจารณาได้ ดังนั้นจึงเหลือระดับปัจจัยที่พิจารณาดังนี้คือ

จำนวนประชากร : 30
วิธีการครอสโอเวอร์ : PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.8 0.9 1.0
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานโดยใช้โปรแกรม SPSS แสดงดังตารางที่ 6.8

ตารางที่ 6.8 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ เป็นค่าตอบตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NO.GEN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	194640.333	2	97320.167	6.161	.087
Intercept	2172016.667	1	2172016.667	137.496	.001
PC	194640.333	2	97320.167	6.161	.087
Error	47391.000	3	15797.000		
Total	2414048.000	6			
Corrected Total	242031.333	5			

จากตารางที่ 6.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA พบว่าไม่มีปัจจัยใดที่ส่งผลต่อค่าตอบสนองเลย

6.3.3.3 การวิเคราะห์โดยดูจากค่าเฉลี่ยของworkload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

จากการวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของ Workload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบร่วมกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมา จะได้พารามิเตอร์ที่ทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาขนาด 114 ขั้นงานคือ

จำนวนประชากร : ขนาด 30 ประชากร
วิธีการครอสโอเวอร์ : แบบ PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

6.3.4 ปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน

6.3.4.1 ใช้ค่า Workload variance เป็นค่าตอบสนอง

1. วิเคราะห์ ANOVA

ผลการวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้โปรแกรม SPSS ของปัญหาขนาด 194 งานแสดงได้ดังตารางที่ 6.9

ตารางที่ 6.9 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า Workload Variance เป็นค่าตอบตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: WV

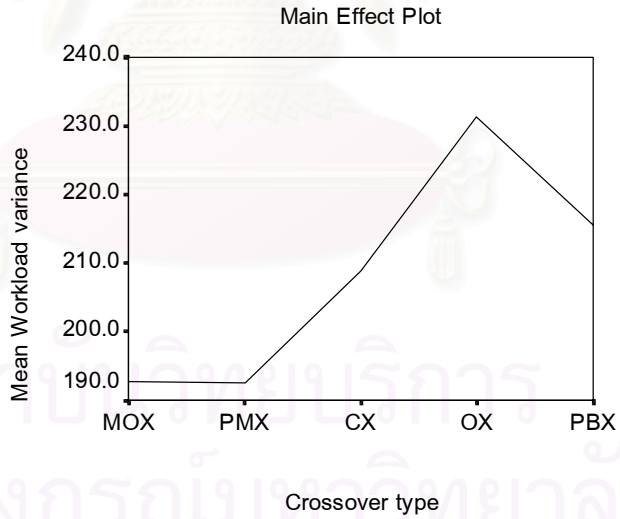
Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	200250.254	134	1494.405	2.199	.000
Intercept	11701256.950	1	11701256.950	17216.520	.000
POPSIZE	22971.813	2	11485.906	16.900	**.000**
CROSSTYPE	57817.343	4	14454.336	21.267	**.000**
PC	109.077	2	54.538	.080	.923
PM	16229.018	2	8114.509	11.939	**.000**
POPSIZE * CROSSTYPE	7124.922	8	890.615	1.310	.243
POPSIZE * PC	3851.165	4	962.791	1.417	.232
CROSSTYPE * PC	6227.935	8	778.492	1.145	.337
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	10379.558	16	648.722	.954	.510
POPSIZE * PM	15071.641	4	3767.910	5.544	**.000**
CROSSTYPE * PM	13446.404	8	1680.801	2.473	**.016**
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	11068.112	16	691.757	1.018	.442
PC * PM	2533.093	4	633.273	.932	.448
POPSIZE * PC * PM	3735.782	8	466.973	.687	.702
CROSSTYPE * PC * PM	11297.473	16	706.092	1.039	.421
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	18386.918	32	574.591	.845	.703
Error	91753.134	135	679.653		
Total	11993260.338	270			
Corrected Total	292003.388	269			

จากตารางจะพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่า Workload variance อย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05 ได้แก่ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น Interaction ระหว่าง จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น และวิธีการครอสโอเวอร์กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

สำหรับกราฟแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าตอบสนองของปัญหาขนาด 194 งานแสดงไว้ในรูปที่ 6.16 – 6.20

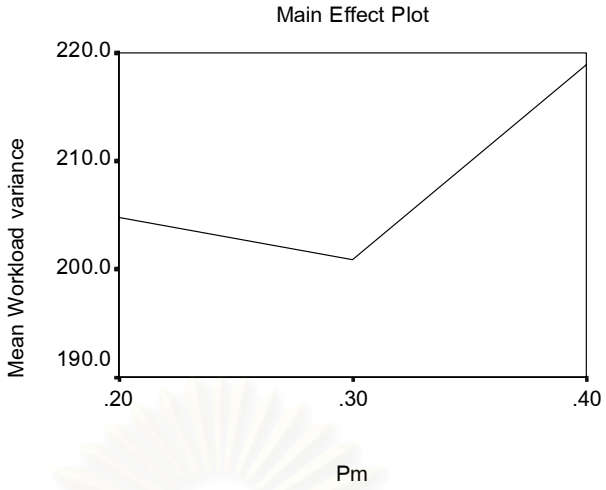
รูปที่ 6.16 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Population Size ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

จากกราฟรูปที่ 6.16 จะเห็นว่าค่า wv จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อจำนวนประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้นซึ่งแสดงว่าปัจจัยจำนวนประชากรมีอิทธิพลต่อค่า wv



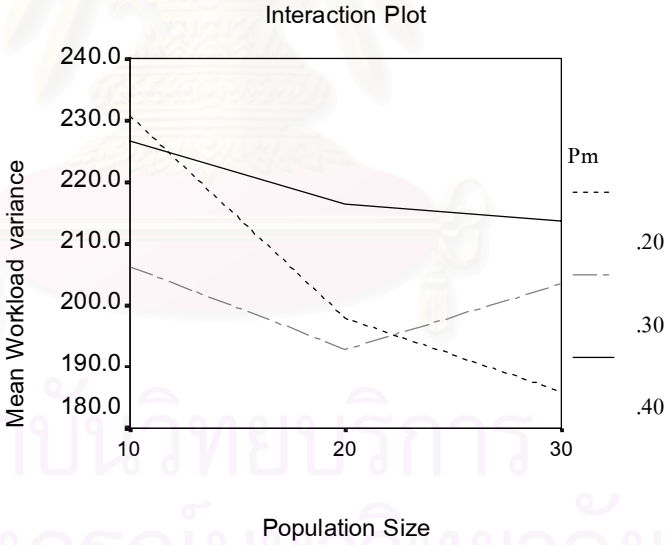
รูปที่ 6.17 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Crossover type ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 6.17 จะเห็นว่าค่า wv จะมีค่าแตกต่างกัน เมื่อใช้วิธีการครอสโอเวอร์ที่ต่างกันออกไป ซึ่งแสดงว่าปัจจัยวิธีการครอสโอเวอร์มีส่งผลต่อค่า wv ซึ่งเป็นตัวแปรตอบสนอง



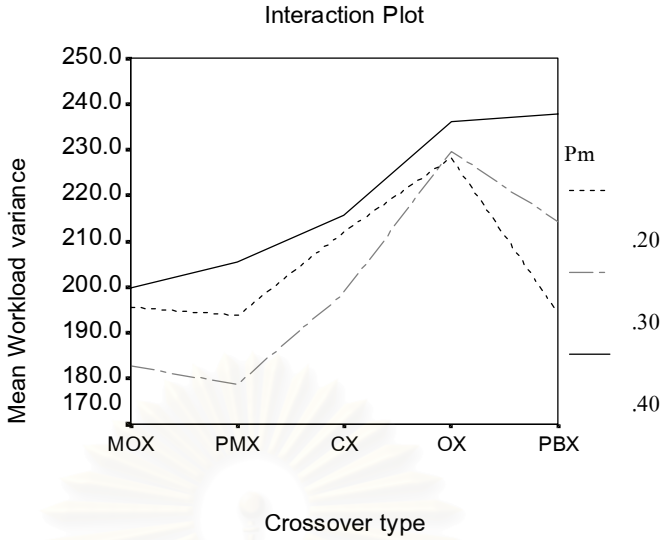
รูปที่ 6.18 *กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัย Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

จากกราฟที่ 6.18 จะเห็นว่าปัจจัย Pm มีผลต่อค่า wv เนื่องจากเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัย Pm จะทำให้ค่า wv มีค่าเปลี่ยนไปด้วย



รูปที่ 6.19 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Population Sizeกับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

พิจารณาจากรูปที่ 6.19 พบว่าที่ขนาดจำนวนประชากร 10 นั้นค่า Pm 0.3 จะให้ค่า wv ที่ต่ำสุดและเมื่อจำนวนประชากรมีขนาดเพิ่มขึ้นเป็น 30 ค่า Pm 0.2 จะให้ค่า wv ที่ต่ำสุดแสดงว่ามีอิทธิพลร่วมของปัจจัยจำนวนประชากรและPm ซึ่งผลต่อค่า wv



รูปที่ 6.20 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 ชิ้นงาน*

จากรูปที่ 6.20 จะเห็นว่าวิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX กับ Pm 0.3 ให้ค่า wv ที่ต่ำที่สุด และเมื่อเปลี่ยนวิธีการครอสโอเวอร์เป็น PBX จะได้ Pm 0.2 ที่ทำให้ได้ค่า wv ที่ต่ำที่สุด แสดงว่ามีอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยวิธีการครอสโอเวอร์กับปัจจัย Pm ที่ส่งผลต่อค่า wv

จากการวิเคราะห์กราฟแสดงปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่า wv ของปัญหาขนาด 194 งานจะให้ผลที่สอดคล้องกับการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 6.9

1) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test เพื่อพิจารณาความแตกต่างของปัจจัยที่ผลต่อค่าตอบสนองได้ผลดังนี้คือ

ก. จำนวนประชากร

ผลจากการวิเคราะห์จำนวนประชากร 10 จะให้ค่า Workload variance ที่สูงที่สุดและแตกต่างกับจำนวนประชากรอื่นๆ อย่างมีนัยสำคัญจึงตัดทิ้ง

ข. วิธีการครอสโอเวอร์

วิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX และ MOX ให้ค่า wv ที่ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับวิธีการครอสโอเวอร์แบบอื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญโดยให้ค่า wv ที่ต่ำกว่าวิธีอื่น ๆ

ค. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Pm 0.3 และ Pm 0.2 ให้ค่า wv ที่ต่ำและไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับ Pm 0.4 อย่างมีนัยสำคัญ

ง. Interaction ระหว่าง จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการวิเคราะห์พบว่า Interaction ระหว่าง จำนวนประชากร 30กับ Pm 0.2 จำนวนประชากร 20 กับ Pm 0.3 และ ประชากร 20 กับ Pm 0.2 ให้ค่า wv ที่ไม่แตกต่างกันแต่แตกต่างกับ Interaction อื่นๆ และให้ค่า wv ต่ำที่สุด

ช. Interaction ระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Interaction ระหว่าง วิธีครอสโอเวอร์แบบ PMX กับ Pm 0.3 แบบ PMX กับ 0.2 แบบ PBX กับ 0.2 MOX กับ 0.2 และ แบบ MOX กับ Pm 0.3 ให้ค่า wv ที่ต่ำสุดและไม่แตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญแต่ต่างกับ Interaction อื่น ๆ อย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test จะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่า Workload variance มีค่าต่ำ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงานดังนี้

จำนวนประชากร : 20 30

วิธีการครอสโอเวอร์ : PMX MOX

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : ทุกค่าไม่ต่างกัน

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.2 0.3

6.3.4.2 ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง

1) วิเคราะห์ ANOVA

ผลการวิเคราะห์ ANOVA เมื่อพิจารณาลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง โดยใช้โปรแกรม SPSS ในการวิเคราะห์แสดงดังตารางที่ 6.10

ตารางที่ 6.10 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง*

Tests of Between-Subjects Effects

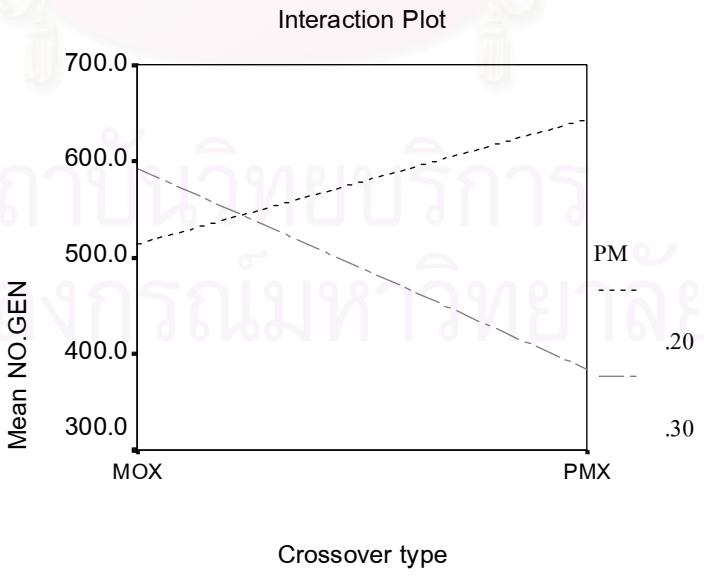
Dependent Variable: NO.GEN

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1175880.312	23	51125.231	1.628	.121
Intercept	13658667.188	1	13658667.188	434.954	.000
POPSIZE	56787.521	1	56787.521	1.808	.191
CROSSTYPE	18762.521	1	18762.521	.597	.447
PC	16288.875	2	8144.437	.259	.774
PM	97831.021	1	97831.021	3.115	.090
POPSIZE * CROSSTYPE	124542.188	1	124542.188	3.966	.058

ตารางที่ 6.9 *ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน เมื่อใช้ค่า ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนอง (ต่อ)*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F
POPSIZE * PC	14576.042	2	7288.021	.232
CROSSTYPE * PC	24833.042	2	12416.521	.395
POPSIZE * CROSSTYPE * PC	250040.375	2	125020.188	3.981
POPSIZE * PM	13567.687	1	13567.687	.432
CROSSTYPE * PM	343577.521	1	343577.521	10.941
POPSIZE * CROSSTYPE * PM	47943.521	1	47943.521	1.527
PC * PM	22811.292	2	11405.646	.363
POPSIZE * PC * PM	38296.125	2	19148.062	.610
CROSSTYPE * PC * PM	87546.792	2	43773.396	1.394
POPSIZE * CROSSTYPE * PC * PM	18475.792	2	9237.896	.294
Error	753661.500	24	31402.563	
Total	15588209.000	48		
Corrected Total	1929541.813	47		

จากตารางพบว่าปัจจัยที่มีผลต่อค่าตอบสนองคือ Interaction ระหว่าง วิธีการครอสโอเวอร์ กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น ซึ่งสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 6.21



รูปที่ 6.21 *กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่าลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 6.21 จะเห็นว่าเมื่อใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบ MOX กับ Pm 0.2 จะให้ค่าตัวแปรตอบสนองต่ำสุด และเมื่อเปลี่ยนวิธีการครอสโอเวอร์เป็นแบบ PMX ที่ Pm 0.3 จะให้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ต่ำสุด ซึ่งแสดงว่ามีอิทธิพลร่วมของปัจจัย Crossover type กับ Pm ต่อค่าลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ซึ่งสอดคล้องกับการวิเคราะห์ ANOVA ในตารางที่ 6.9

2) การวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test

ก. Interaction ระหว่างวิธีการครอสโอเวอร์กับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการวิเคราะห์พบว่า Interaction วิธีการครอสโอเวอร์แบบ PMX กับ Pm 0.3 และ วิธี MOX กับ Pm 0.2 ให้ค่าตอบสนองที่ต่ำและไม่แตกต่างกัน โดยแตกต่างกับ Interaction อื่น ๆอย่างมีนัยสำคัญ

จากผลการวิเคราะห์ ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test จะได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ทำให้ค่าตัวแปรตอบสนองมีค่าต่ำ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ดังนี้

จำนวนประชากร : 20 30
วิธีการครอสโอเวอร์ : PMX MOX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : ทุกค่าไม่ต่างกัน
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.2 0.3

6.3.4.3 การวิเคราะห์โดยดูจากค่าเฉลี่ยของworkload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ

จากการวิเคราะห์จากค่าเฉลี่ยของ Workload variance และค่าเฉลี่ยของลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบร่วมกับการวิเคราะห์ในขั้นตอนที่ผ่านมา จะได้พารามิเตอร์ที่ทำให้สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุด สำหรับปัญหาขนาด 194 ขั้นงานคือ

จำนวนประชากร : ขนาด 30 ประชากร
วิธีการครอสโอเวอร์ : แบบ PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : 0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น : 0.3

6.4 สรุปผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์

จากการทดลองและวิเคราะห์ผลด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) และ Duncan's Multiple Range Test ที่ระดับความเชื่อมั่น 0.95 แสดงได้ดังตารางที่ 6.11

ตารางที่ 6.11 *ผลการทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs*

กรณีศึกษา	พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม		
		ค่าตอบสนองคือ Workload Variance	ค่าตอบสนองคือ ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ	พิจารณาค่าเฉลี่ย
ปัญหา 19 ขั้นงาน	จำนวนประชากร	15 20	15 20	20
	วิธีการครอสโอเวอร์	OX	OX	OX
	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ไม่มีผล	ไม่มีผล	0.9
	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.3 0.4	0.3 0.4	0.3
ปัญหา 49 ขั้นงาน	จำนวนประชากร	15 20	15 20	20
	วิธีการครอสโอเวอร์	ไม่มีผล	ไม่มีผล	OX
	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ไม่มีผล	ไม่มีผล	0.9
	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.3 0.4	0.3 0.4	0.3
ปัญหา 114 ขั้นงาน	จำนวนประชากร	30	30	30
	วิธีการครอสโอเวอร์	PMX	PMX	PMX
	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ไม่มีผล	ไม่มีผล	0.9
	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.3	0.3	0.3
ปัญหา 194 ขั้นงาน	จำนวนประชากร	20 30	20 30	30
	วิธีการครอสโอเวอร์	MOX PMX	MOX PMX	PMX
	ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	ไม่มีผล	ไม่มีผล	0.9
	ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น	0.2 0.3	0.2 0.3	0.3

หมายเหตุ ค่าที่เหมาะสมที่จะนำไปใช้เป็นแนวทางในการใช้งานจริงคือค่าเหมาะสมที่ได้หลังการวิเคราะห์ที่ใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนองส่วนค่าเหมาะสมที่ได้จากค่าเฉลี่ยจะนำไปใช้ในบทต่อไปเท่านั้น

พิจารณาจากตารางที่ 6.11 ผลการทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs พบว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GAs คือ จำนวนประชากร ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น และ วิธีการครอสโอเวอร์ โดยจำนวนประชากรที่เหมาะสมของปัญหาขนาด 19 และ 49 ขั้นงานคือ 15 หรือ 20 ส่วนจำนวนประชากรที่เหมาะสมของปัญหาขนาด 114 และ 194 ขั้นงานคือ 30 20หรือ30 ตามลำดับ วิธีการครอสโอเวอร์ที่เหมาะสมคือวิธี MOX OX และ PMX ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นคือ 0.3 และ 0.4 สำหรับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GAs ทั้งในเรื่องของความสามารถในการหาคำตอบที่ดีที่สุดและความสามารถในการลู่เข้าหาคำตอบ

6.5 สรุปท้ายบท

ในการทดสอบพารามิเตอร์นั้นเพื่อดูว่าพารามิเตอร์ใดบ้างที่มีผลต่อประสิทธิภาพของเจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม และเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้เป็นแนวทางในการนำเจนเนติกอัลกอริทึมไปใช้แก้ปัญหาจริง โดยใช้การทดลองแบบ Full Factorial Design จำนวน 4 การทดลองตามขนาดของปัญหาตัวอย่าง มีปัจจัยที่พิจารณาคือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น จำนวนทำซ้ำของการทดลองเท่ากับ 2 ในแต่ละการทดลองจะเก็บข้อมูลทั้งหมด 270 ข้อมูล และวิเคราะห์ผลโดยใช้ ANOVA และ Duncan's Multiple Range test โดยใช้ค่าความแปรปรวนของภาระงานเป็นค่าตอบสนอง และในกรณีที่ไม่สามารถหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ จะทำการวิเคราะห์ผลอีกครั้งโดยใช้ลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบเป็นค่าตอบสนองแทน

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ด้วย ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test ที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95 จะได้พารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GAs คือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น ส่วนความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ไม่มีผล และในการทดสอบจะได้พารามิเตอร์ที่ให้คำตอบที่ดีพอๆกันและใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดหลายค่า แสดงให้เห็นว่าช่วงของพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นช่วงที่ยอมรับได้ และสามารถนำไปใช้เป็นแนวทางในการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาได้จริง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7
การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม กับวิธีฮิวรีสติก

หลังจากที่ได้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมทั้ง 4 ปัญหาแล้วนั้น ขั้นตอนต่อไปคือนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมที่เสนอมาทดลองแก้ปัญหาโดยใช้พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่หาได้ แล้วนำคำตอบที่ได้ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธีฮิวรีสติก เพื่อพิจารณาว่าวิธีการใดสามารถให้คำตอบที่ดีกว่ากัน

ในบทนี้จะกล่าวถึงการเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง 4 ปัญหาโดยใช้วิธีเจนเนเติกอัลกอริทึมกับวิธีฮิวรีสติกเพื่อเปรียบเทียบว่าวิธีการใดสามารถให้คำตอบที่ดีกว่ากัน โดยพารามิเตอร์ของ GAsที่ใช้นั้นได้จากการหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในบทที่ 6 โดยเนื้อหาจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วนตามขนาดของปัญหา ในแต่ละส่วนจะประกอบด้วย 3 ขั้นตอนคือ

1. การทดลองนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) ที่เสนอในบทที่5 และพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในบทที่ 6 ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง
2. การทดลองนำวิธี COMSOAL แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง
3. การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี GAs กับ วิธี COMSOAL

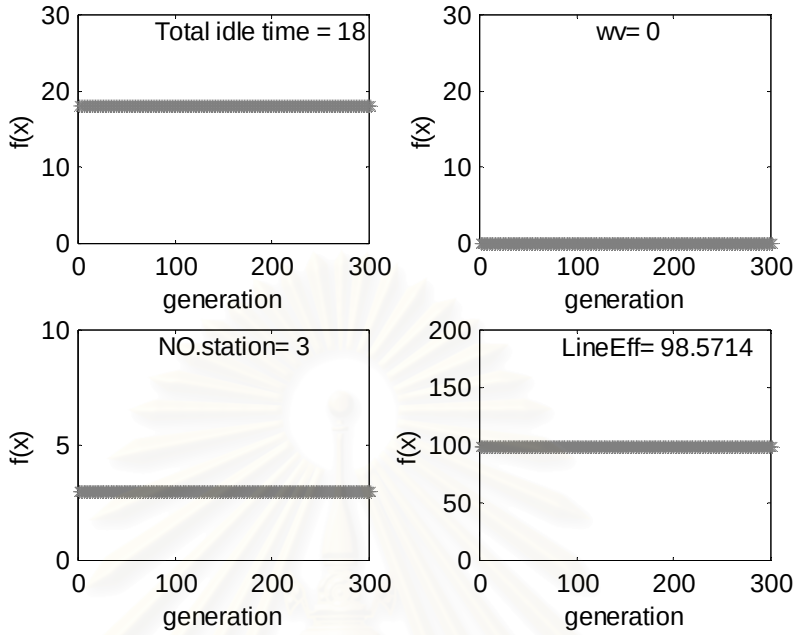
7.1 ปัญหาตัวอย่าง 19 ขั้นงาน

7.1.1 การหาคำตอบโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

สำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน จะกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

จำนวนประชากร	20 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	Order Crossover (OX)
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ	0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่ากับ	0.3
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด	300 เจนเนอเรชั่น

ผลการหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แสดงได้ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 *ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 7.1 เมื่อพิจารณาจากรูปกราฟจะเห็นว่า GAs มีความสามารถในการหาคำตอบเนื่องจากสามารถพบคำตอบที่ดีตั้งแต่เจนเนอเรชั่นแรกค่า Measure of Performance ต่างๆมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว

ผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงานโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) แสดงได้ดังตารางที่ 7.1 และตารางที่ 7.2

ตารางที่ 7.1 *ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	2, 5, 1, 7, 6	6
2	3, 10, 9, 8, 12, 15	6
3	4, 11, 14, 18, 13, 17, 19, 16	6
รวม		18

ตารางที่ 7.2 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงานที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	เจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
3	420	0	18	98.57	1

7.1.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL

ผลการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงานโดยวิธี COMSOAL แสดงไว้ในตารางที่ 7.3 และ 7.4

ตารางที่ 7.3 *ผลการจัดสมดุลสายงานประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง ขนาด 19 ขั้นงาน โดยวิธี COMSOAL*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	2, 4, 5, 11, 1, 13	2
2	7, 3, 8, 14, 9, 17, 6, 10	0
3	12, 15, 18, 19, 16	16
รวม		18

ตารางที่ 7.4 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต(%)
3	420	38.67	18	98.57

7.1.3 การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิต

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 19 ขั้นงานโดยพิจารณาจากค่า Measure of Performance ของวิธี GAs กับ COMSOAL แสดงได้ดังตารางที่ 7.5

ตารางที่ 7.5 *แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOALสำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

ค่า Measure of Performance	วิธี GAs	วิธี COMSOAL
จำนวนสถานี	3	3
Workload Variance	0	38.67
เวลาว่างงานรวม (นาที)	18	18
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	98.57	98.57

จากตารางที่ 7.5 การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี GAs กับ วิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน นั้นเมื่อพิจารณาค่า Measure of Performance ต่างๆ จะได้ว่าทั้งสองวิธีให้จำนวนสถานี เวลาว่างงานรวม และประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากัน แต่คำตอบที่ได้จากวิธี GAs นั้นจะมีค่า Workload variance ที่ต่ำกว่าคำตอบจากวิธี COMSOAL ถึง 100 % ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าวิธี GAs จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL

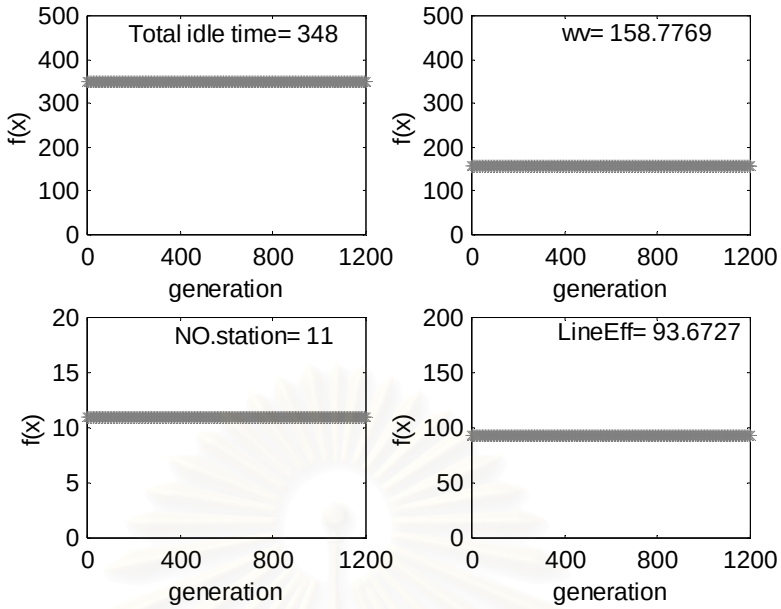
7.2 ปัญหาตัวอย่าง 49 ขั้นงาน

7.2.1 การหาคำตอบโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

สำหรับปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน จะกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

จำนวนประชากร	20 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	Order Crossover (OX)
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ	0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่ากับ	0.3
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด	1200 เจนเนอเรชั่น

ผลการหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แสดงได้ดังรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 *ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน*

ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 เมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 7.2 พบว่าค่า Measure of Performance ต่างมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็วคือสามารถพบคำตอบที่ดีที่สุดตั้งแต่เจนเนอเรชั่นแรก

ผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 49 ขั้นงานโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) แสดงได้ดังตารางที่ 7.6 และ 7.7

ตารางที่ 7.6 *ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	1, 20, 21, 24, 2	35
2	4, 3, 25, 18, 19, 23	30
3	22, 26, 27, 5	31
4	6, 8, 7	27
5	9, 10, 11, 12	25
6	15, 16, 17	45
7	28, 30, 29, 31	53
8	32, 35,	18
9	34, 41, 43, 33	26
10	36, 37, 38, 44	49
11	45, 46, 47, 48, 49	9
รวม		348

ตารางที่ 7.7 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	เจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
11	500	158.78	348	93.67	1

7.2.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL

การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL ได้ผลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.8 และ 7.9

ตารางที่ 7.8 *ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	20, 24, 25, 1, 22	9
2	21, 18, 26, 27	31
3	28, 30, 23, 19, 29, 2, 3	45
4	4, 5, 6	93
5	7, 8, 9	106
6	10, 11, 12, 13	16
7	14,15, 16, 17	150
8	31, 39, 32, 33	11
9	42, 35, 41, 34	38
10	36, 37, 40, 38	39
11	43, 44, 45, 46	119
12	47, 48, 49	192
รวม		849

ตารางที่7.9 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต(%)
12	500	3312.69	849	85.85

7.2.3 การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิต

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน โดยพิจารณาจากค่า Measure of Performance ของวิธี GAs กับ COMSOAL แสดงได้ดังตารางที่ 7.10

ตารางที่ 7.10 แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL สำหรับปัญหา ขนาด 49 ขั้นงาน

ค่า Measure of Performance	วิธี GAs	วิธี COMSOAL
จำนวนสถานี	11	12
Workload Variance	158.78	3312.69
เวลาว่างงานรวม (นาที)	348	849
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	93.67	85.85

จากตารางที่ 7.10 พิจารณาผลการจัดสมดุลสายการผลิตจากค่า Measure of Performance ในปัญหาขนาด 49 ขั้นงานพบว่าวิธี GAs ให้จำนวนสถานีต่ำกว่าวิธี COMSOAL จำนวน 1 สถานีคิดเป็น 8.34 % ส่วนค่า Workload variance วิธี GAsให้ค่าต่ำกว่าถึง 95.21% เมื่อพิจารณาเวลาว่างงานรวมพบว่าวิธี GAs ให้ค่าต่ำกว่าวิธี COMSOAL 59.01% และในส่วนของประสิทธิภาพสายการผลิตนั้นวิธี GAs ให้คำตอบที่ดีกว่า 9.10% จากผลการจัดสมดุลดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่าวิธี GAs ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL

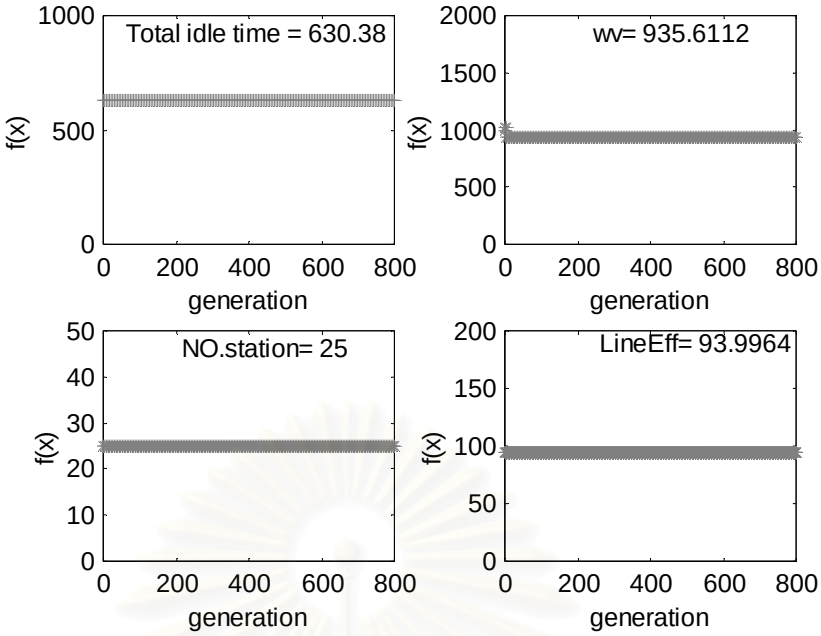
7.3 ปัญหาตัวอย่าง 114 ขั้นงาน

7.3.1 การหาคำตอบโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

สำหรับปัญหาขนาด 114ขั้นงาน จะกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

จำนวนประชากร 30 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Partial Match Crossover (PMX)
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่ากับ 0.3
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด 800 เจนเนอเรชั่น

ผลการหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แสดงได้ดังรูปที่ 7.3



รูปที่ 7.3 *ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs สำหรับปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 7.3 ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน นั้นจะเห็นว่า ค่า Measure of Performance ต่างๆมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งอย่างรวดเร็ว

ผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) แสดงได้ดังตารางที่ 7.11 และ 7.12

ตารางที่ 7.11 *ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	17, 20, 19, 18, 15, 21, 3, 24, 28	5.54
2	39, 16, 22, 8, 32	3.66
3	38, 48, 23, 40, 57, 50, 5	3.73
4	4, 34, 29, 46, 35, 6, 12, 2	2.62
5	49, 58, 36	4.30
6	65, 67, 13, 7	0.61
7	69, 71, 14, 26	3.41
8	73, 75, 1, 10	6.00
9	55, 64, 27, 62	8.48
10	77, 79, 11, 25	8.95
11	81, 83, 70, 85, 33	11.25
12	72, 74, 45	3.35

ตารางที่ 7.11 *ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน (ต่อ)*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
13	76, 78, 54	9.30
14	37, 80, 42, 30	0.18
15	47, 56, 63, 87, 52	41.82
16	61, 41, 31, 82, 51, 44	52.74
17	59, 84, 86, 89, 91	47.84
18	93, 95, 88, 43, 53, 90, 60, 92	7.20
19	94, 96, 97	59.24
20	98, 99	85.59
21	100, 101, 102, 103	1.02
22	104, 105	65.96
23	106, 107	104.10
24	108, 109, 110	74.25
25	111, 112, 113, 114	19.24

ตารางที่ 7.12 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	เจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
25	420	935.61	630.38	93.99	3

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

7.3.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL

การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงานได้ผลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.13 และ 7.14

ตารางที่ 7.13 *ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบโดยวิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	17, 20, 19, 18, 15, 21, 3, 24, 28	5.54
2	39, 16, 22, 8, 32	3.66
3	38, 48, 23, 40, 57, 50, 5	3.73
4	4, 34, 29, 46, 35, 6, 12, 2	2.62
5	49, 58, 36	4.30
6	65, 67, 13, 7	0.61
7	69, 71, 14, 26	3.41
8	73, 75, 1, 10	6.00
9	55, 64, 27, 62, 66, 68, 9	8.48
10	77, 79, 11, 25	8.95
11	81, 83, 70, 85, 33	11.25
12	72, 74, 45	3.35
13	76, 78, 54	9.30
14	37, 80, 42, 30	0.18
15	47, 56, 63, 87, 41	19.55
16	89, 91, 93, 51	13.97
17	95, 61, 82, 52, 60	19.74
18	84, 86, 59, 43, 88, 90, 92, 94, 53	122.14
19	96, 31, 44, 97	33.44
20	98, 99	85.59
21	100, 101, 102, 103	1.02
22	104, 105	65.96
23	106, 107	104.10
24	108, 109, 110	74.25
25	111, 112, 113, 114	19.24

ตารางที่ 7.14 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)
25	420	1200.54	630.38	93.99

7.3.3 การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิต

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 114ขั้นงาน โดยพิจารณาจากค่า Measure of Performance ของวิธี GAs กับ COMSOAL แสดงได้ดังตารางที่ 7.15

ตารางที่ 7.15 *แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOALสำหรับปัญหาขนาด 114ขั้นงาน*

ค่า Measure of Performance	วิธี GAs	วิธี COMSOAL
จำนวนสถานี	25	25
Workload Variance	935.61	1200.54
เวลาว่างงานรวม (นาที)	630.38	630.38
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	93.99	93.99

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 7.15 ผลการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับ วิธี COMSOAL สำหรับปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงานนั้น พบว่าจำนวนสถานีงาน เวลาว่างรวม และประสิทธิภาพสายการผลิตที่ได้จากทั้งสองวิธีมีค่าเท่ากัน แต่เมื่อพิจารณาค่า Workload Variance นั้น วิธี GAs ให้คำตอบที่ดีกว่า 22.07% จึงสรุปได้ว่าวิธี GAs ให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL

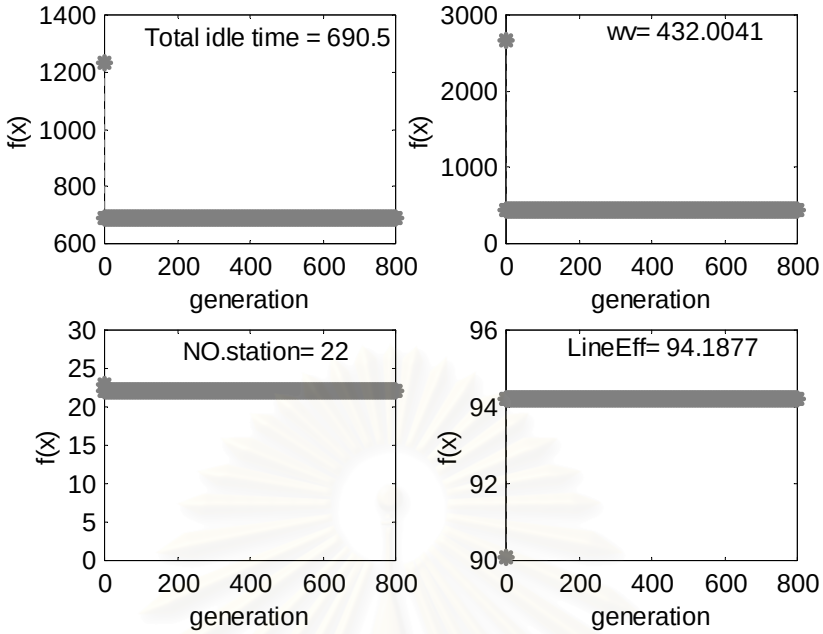
7.4 ปัญหาตัวอย่าง 194 ขั้นงาน

7.4.1 การหาคำตอบโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

สำหรับปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน จะกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

จำนวนประชากร	30 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	Partial Match Crossover (PMX)
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ	0.8
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่ากับ	0.3
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด	800 เจนเนอเรชั่น

ผลการหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แสดงได้ดังรูปที่ 7.4



รูปที่ 7.4 *ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs สำหรับปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 7.4 ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs สำหรับปัญหาขนาด 194 ขั้นงานกราฟแสดงค่า Measure of Performance มีแนวโน้มลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดค่าหนึ่ง

ผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 194 ขั้นงานโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) แสดงได้ดังตารางที่ 7.16 และ 7.17

ตารางที่ 7.16 *ผลการการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAsของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	1, 5, 28, 121, 123, 8	75.25
2	2, 7, 148, 6, 147, 29, 149, 31, 107	9.25
3	106, 132, 33, 32, 108, 122, 109, 110, 30, 26, 3, 124, 27, 125, 126	4.25
4	4, 133, 127, 9, 11, 12	18.75
5	165, 111, 34, 13, 10, 128	32.50
6	35, 16, 15, 14	68.75
7	17, 22, 19, 112, 18	23.25
8	21, 129, 20, 113, 115, 114, 134, 23, 24	15.75
9	25, 36, 37, 53, 58, 41, 79, 42, 87, 40, 57, 59, 82, 80	12.50

ตารางที่ 7.16 *ผลการการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAsของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน (ต่อ)*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
10	54, 88, 55, 81, 60, 38, 39, 43, 64, 65, 56, 61, 66, 67, 68, 44, 46, 47, 83, 85	
	84, 86, 89, 90, 92, 91, 45, 48, 49, 50, 93, 94, 95	19.00
11	96, 116, 69, 70, 51, 117, 52, 62, 63, 118, 119, 120, 71, 130	18.25
12	131, 136, 135, 137, 72, 73, 138, 74, 75, 139, 140, 76, 77, 141, 142, 143, 144,	48.75
13	78	
	97, 98, 145, 146	3.50
14	99, 100, 101, 102	30.50
15	103, 104, 105, 150, 155, 151, 157, 158, 152, 154, 153, 156	21.50
16	159, 160, 161, 162	24.00
17	163, 164, 166, 167, 168	48.00
18	169, 170, 171, 172, 174, 173, 175	33.50
19	176, 177, 178, 179, 180, 181, 182, 183, 184	47.00
20	185, 186	76.50
21	187, 188, 189, 190, 191, 192, 193, 194	31.75
22		28.00

ตารางที่7.17 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	เจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
22	540	432.00	690.5	94.19	1

7.4.2 การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL (Biased Sampling)

การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL ได้ผลดังที่แสดงไว้ในตารางที่ 7.18 และ 7.19

ตารางที่ 7.18 *ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี* COMSOAL *ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่าง (นาที)
1	28, 34, 35, 26, 27, 107, 132	16.50
2	106, 1, 3, 2, 8, 108	10.50
3	4, 5, 6, 7, 109	4.25
4	9, 121, 111, 10, 12, 148, 133, 134, 122, 110	0.75
5	112, 13, 11, 14, 113, 114, 147, 149, 115	3.25
6	15, 16, 17, 18, 123, 124, 125, 126, 127, 128, 129	3.75
7	19, 20, 21, 22	20.75
8	23, 24, 25, 29, 33, 31, 32, 30, 36, 64	7.00
9	53, 79, 39, 37, 41, 82, 55, 56, 42, 38, 58, 59, 40, 43, 44, 46	0
10	47, 81, 80, 83, 84, 85, 86, 116, 117, 45, 48, 49, 50, 51	2.75
11	54, 65, 87, 88, 89, 92, 66, 67, 68, 69, 70, 91, 57, 60, 61, 52, 118, 119, 120, 130, 62, 90	2.25
12	131, 63, 71, 72, 73, 74, 75, 93, 94, 95, 96, 76, 77, 78, 135, 136, 137, 138	11
13	97, 98, 99, 100, 139,	15.50
14	101, 102, 140, 141, 142, 143	1.75
15	103,104, 105, 144, 145, 146,150, 157	0.25
16	154, 153, 158, 156, 152, 155, 151, 159, 160, 161, 165	125.75
17	162, 163, 164, 166	29.00
18	167, 168, 169, 170, 171, 172, 173	18.50
19	175, 174, 176, 177, 178, 179	63.75
20	180, 181, 182, 183, 184, 185	51.25
21	186, 187, 188	35.00
22	189, 190, 191, 192, 193, 194	267
รวม		690.50

ตารางที่ 7.19 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)
22	540	3445.95	690.50	94.19

7.4.3 การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิต

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 194ขั้นงาน โดยพิจารณาจากค่า Measure of Performance ของวิธี GAs กับ COMSOAL แสดงได้ดังตารางที่ 7.20

ตารางที่ 7.20 *แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOALสำหรับปัญหาขนาด 194ขั้นงาน*

ค่า Measure of Performance	วิธี GAs	วิธี COMSOAL
จำนวนสถานี	22	22
Workload Variance	432.00	3445.953
เวลาว่างงานรวม (นาที)	690.50	690.50
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	94.19	94.19

จากการพิจารณาตารางที่ 7.20 แสดงการเปรียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOAL ในปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน พบว่า ค่า Measure of Performance ในส่วนของ จำนวนสถานีงาน เวลาว่างงานรวม และประสิทธิภาพสายการผลิตนั้นทั้งสองวิธีให้คำตอบเหมือนกัน แต่ในส่วนของค่า Workload Variance นั้นวิธี GAs ให้คำตอบที่ดีกว่าถึง 87.46% ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าวิธี GAs จะให้คำตอบที่ดีกว่าวิธี COMSOAL

7.5 สรุปท้ายบท

ในการใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างทั้ง 4 ปัญหานั้น พบว่ากราฟแสดงค่า Measure of Performance ต่างๆ มีแนวโน้มลู่เข้าหาค่าที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว โดยเฉพาะค่าวัตถุประสงค์คือค่าเวลาว่างงานรวมและจำนวนสถานีงาน วิธี GAs สามารถให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด หรือใกล้เคียงที่ดีที่สุดได้อย่างรวดเร็ว

สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบระหว่างวิธี GAs กับ วิธี COMSOAL นั้นในส่วนของเวลาว่างงานรวม และจำนวนสถานีงาน ซึ่งเป็นค่าวัตถุประสงค์นั้น พบว่าวิธี GAs สามารถให้คำตอบได้ดีกว่าหรือเท่ากับวิธี COMSOAL ส่วนค่าประสิทธิภาพสายการผลิตก็ให้ผลเช่นเดียวกัน และเมื่อพิจารณาถึงค่าความแปรปรวนของภาระงานวิธี GAs จะให้คำตอบที่ดีกว่าอย่างมาก ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า GAs เป็นวิธีที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมได้อย่างมีประสิทธิภาพ

บทที่ 8
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยในการนำเอาเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ผลการทดสอบพารามิเตอร์ที่มีผลต่อความสามารถในการหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึมโดยสรุป รวมถึงข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในตอนท้ายบทอีกด้วย

8.1 สรุปงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาถึงเจนเนติกอัลกอริทึม(GAs)ที่นำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม และทำการศึกษาถึงพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบของเจนเนติกอัลกอริทึม พร้อมทั้งหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการนำไปใช้งานจริง

8.1.1 ลักษณะปัญหา

เป็นปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งเป็นปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์มากกว่า 1 อย่าง ซึ่งมีขั้นงานและ Precedence Diagram ที่คล้ายกัน จึงสามารถออกแบบสายงานการประกอบเพียงแบบเดียวเพื่อรองรับผลิตภัณฑ์ทั้งหมด โดยปัญหาดังกล่าวเป็นการจัดขั้นงานให้กับสถานีทำงานเพื่อให้ตอบสนองกับวัตถุประสงค์ที่สนใจ โดยไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด และเกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุดอีกด้วย เนื่องจากปัญหาที่พิจารณาเป็นแบบ MMD คือมีการกำหนดเวลาทำงานของขั้นงานเป็นค่าแน่นอนและระยะเวลาทำงาน(Period of Time) คงที่ ทำให้วัตถุประสงค์ทั้งสองข้อนี้สอดคล้องกันคือมีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุดจึงจะทำให้เกิดเวลาว่างงานรวมน้อยที่สุดด้วย นอกจากนี้ยังพิจารณาให้เกิดความแปรปรวนของภาระงานให้มีค่าต่ำด้วย ซึ่งในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนี้ ต้องการผลการจัดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดโดยรวม (Overall Optimum Solution)

8.1.2 เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมต้องมีการเตรียมข้อมูลก่อนเข้าสู่กระบวนการของเจนเนติกอัลกอริทึมดังนี้คือ เวลาทำงานรวมของแต่ละขั้นงานและลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงานรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตในสายการประกอบ เพื่อสร้างเป็น Overall Precedence Diagram ระยะเวลาทำงาน จำนวนสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้

เจนเนติกอัลกอริทึม(GAs) ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม มีขั้นตอนโดยสรุปคือ

- ***การสร้างประชากรเบื้องต้น*** คำตอบเบื้องต้นจำนวนหนึ่งจะถูกนำมาใส่รหัสโดยวิธี Sequence – Oriented Representation ให้กลายเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้น สตริงคำตอบเบื้องต้นที่ได้ทั้งหมดจะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ เนื่องจากในการสร้างสตริงจะพิจารณาถึงลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานประกอบด้วย โดยอาศัยเครื่องมือที่เรียกว่า Precedence Matrix

- ***การรีโปรดักชั่น*** ประกอบไปด้วยการถอดรหัส การประเมินค่า และการคัดเลือก

  การถอดรหัสคำตอบ เป็นการนำขั้นงานในสตริงคำตอบมาจัดให้สถานีทำงานทีละสถานี โดยใช้ระยะเวลาทำงาน (Period of Time) ที่กำหนดเป็นตัวบอกถึงความสามารถสูงสุดของแต่ละสถานีงาน

  การประเมินค่า เป็นการนำเอาผลการจัดงานให้กับสถานีงานมาคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ที่สนใจ (ซึ่งอาจเป็นเวลาว่างงานรวม จำนวนสถานีงาน ค่าความแปรปรวนของภาระงาน หรือ ประสิทธิภาพสายการประกอบ)

  การคัดเลือก เป็นการคัดเลือกสตริงตามทฤษฎีการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต สตริงที่มีความเหมาะสมมากกว่าจะผ่านเข้าไปในกระบวนการถัดไปของ GAs วิธีการคัดเลือกที่ใช้คือ วิธี Tournament Selection โดยสุ่มสตริงคำตอบมาสองตัวแล้วนำมาเปรียบเทียบกัน สตริงคำตอบตัวที่มีความเหมาะสมมากกว่าจะถูกเลือกไป

- **การครอสโอเวอร์** การครอสโอเวอร์เป็นการแลกเปลี่ยนบางส่วนของสตริงคำตอบระหว่างสตริงคำตอบสองตัว สตริงจะถูกเลือกมาด้วยความน่าจะเป็นในการครอสโอ

เวอร์เพื่อนำมาจับคู่และทำการครอสโอเวอร์ตามวิธีต่างๆ 5 วิธีคือ MOX PMX CX OX ทุกวิธียกเว้นวิธี MOX ต้องมีการซ่อมแซมคำตอบที่ได้หลังจากการครอสโอเวอร์ เพื่อให้คำตอบที่เป็นไปได้

- **การมิวเตชั่น** เป็นการสับเปลี่ยนบางตำแหน่งภายในสตริงคำตอบตัวเดียวเพื่อป้องกันไม่ให้คำตอบติดอยู่ในค่า Local Optimal Solution วิธีมิวเตชั่นที่ใช้คือวิธี Random Sequence Mutation

- **เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด** เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อรักษาคำตอบที่ดีให้คงอยู่ต่อไปในเจนเนอเรชั่นถัดไป โดยนำไปใช้หลังจากการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น ภายหลังการครอสโอเวอร์ และภายหลังการมิวเตชั่น

8.1.3 การทดสอบพารามิเตอร์ของ GAs

ในกระบวนการของ GAs มีพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหลายค่า จึงต้องทำการทดสอบพารามิเตอร์เพื่อพิจารณาว่าพารามิเตอร์ตัวใดมีผลต่อประสิทธิภาพในการหาคำตอบของ GAs และเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม การทดสอบจะใช้การทดสอบแบบ Full Factorial Design ซึ่งมีปัจจัยที่พิจารณาคือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

จากการวิเคราะห์ผลด้วย ANOVA และ Duncan's Multiple Range Test ที่ช่วงความเชื่อมั่น 0.95 จะได้ว่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของ GAs คือ จำนวนประชากร วิธีการครอสโอเวอร์ และความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่านั้น และได้เสนอค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละขนาดปัญหาเพื่อใช้เป็นแนวทางในการนำ GAs ไปใช้งาน

8.1.4 ผลการใช้ GAs แก้ปัญหาสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

ผลจากการนำ GAs ไปใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง โดยอาศัยค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการวิเคราะห์ จะได้ว่าค่าวัตถุประสงค์มีค่าลดลงอย่างรวดเร็ว และลู่เข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งและคงที่จนกว่าจะถึงเงื่อนไขในการหยุด

ผลการนำคำตอบที่ได้จากวิธี GAs ไปเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากวิธี COMSOAL จะได้ว่าค่า Measure of Performance ที่ได้จากวิธี GAs มีค่าดีเท่ากับหรือดีกว่า

วิธี COMSOAL โดยเฉพาะว่าความแปรปรวนของภาระงานวิธี GAs ให้ค่าที่ต่ำกว่าอย่างมาก ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าเจนเนติกอัลกอริทึมสามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมได้อย่างดีและมีประสิทธิภาพ

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. เนื่องจากในปัจจุบันสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมนั้นส่วนใหญ่จะมีการเคลื่อนย้ายผลิตภัณฑ์โดยใช้สายพานลำเลียง ดังนั้นจึงน่าจะมีการขยายขอบเขตในการทำ Line Balancing โดยมีการพิจารณาการจัดลำดับของผลิตภัณฑ์ (Model Sequencing) ควบคู่ไปด้วย
2. เนื่องจาก GAs นั้นมีความไวต่อการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์อย่างมาก ดังนั้นในการนำวิธีการ GAs ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมจริงนั้น ต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาเสียก่อน โดยใช้วิธีการทดสอบและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากงานวิจัยนี้เป็นแนวทาง
3. โปรแกรม MATLAB ที่ใช้ไม่สามารถสร้าง User Interface ที่ใช้งานได้ง่าย ดังนั้นอาจมีการพัฒนาโดยการใช้โปรแกรมอื่นสร้าง User Interface แล้วค่อยนำมาเชื่อมต่อกับโปรแกรม MATLAB ที่เขียนขึ้น
4. โปรแกรมสำหรับจัดสมดุลสายการประกอบที่พัฒนามีข้อจำกัดสำหรับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีขั้นงานไม่เกิน 250 งาน หากเกินกว่านี้จะเสียเวลาในการหาคำตอบที่นานมาก
5. เนื่องในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมซึ่งเป็นสายการประกอบที่ผลิตสินค้าต่างชนิดๆพร้อมกันในสายการผลิตเดียว ในขั้นตอนของการหาเวลาทำงานรวมและการสร้างแผนภาพความสัมพันธ์ก่อนหลังรวมของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด เป็นสิ่งที่สำคัญเนื่องจากหากเกิดความผิดพลาดจะส่งผลต่อการสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นของเจนเนติกอัลกอริทึมและส่งผลต่อคำตอบที่ได้อีกด้วย

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณิกา ศิลานนท์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอลิทึมในการจัดสมดุลของสายการประกอบแบบหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2542.

โครงการอบรมเพื่อพัฒนาอุตสาหกรรมไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์. การใช้งานโปรแกรมประยุกต์ MATLAB. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร, 2542.

ชนะ เยี่ยงกมลสิงห์. การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมในการออกแบบผังโรงงาน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2541.

ชุมพล ศฤงคารศิริ. การวางแผนและควบคุมการผลิต. พิมพ์ครั้งที่ 6, สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร, 2541. หน้า 218-234.

ประยุทธ วิภูศิริคุปต์. การจัดสมดุลสายการผลิตแบบผสมและการใช้ภาพจำลองเคลื่อนไหว. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2535

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2537.

สุธรรม ศรีเกษม, สง่า ศุภปรีดา, กิติ ศรีนุชศาสตร์, ปรีชา วงษ์ยา. MATLAB เพื่อการแก้ปัญหาทางวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยรังสิต, 2521.

ภาษาอังกฤษ

Arcus, A.L., COMSOAL: A Computer Method of Sequencing Operations for Assembly Lines. International Journal of Production Research. 4,4(1966).

Bramlette, M.F., Initialization, mutation and selection methods in genetic algorithms for function optimization Proc. third Int. Conf. On Genetic Algorithms. George Mason University, 1989: pp.100-107.

Chan, K.C, and Tansri., H. A Study of Genetic Crossover Operations on the Facility Layout Problems. Computers Industrial Engineering. 26,3(1994) : 537-550.

Chu, P.C., Beasley, J.E., A genetic algorithm for the generalized assignment problem, Computer Operation Research.24, 1(1997): 17-23.

Chutima, P., and Yiangkamolsing, C.,Genetic algorithms with improvement heuristic for plant layout problems, Research and Development Journal of the Engineering Institute of Thailand. 10,2(1999): 62-72.

Falkanauer, E. and Delchambre, A., A genetic algorithms for bin packing and line balancing, Proceedings of the 1992 IEEE International Conference on Robotics an Automation, 1992.

Gen, M., and Chen, R., Genetic algorithm and engineering design. New York: John Wiley & Sons,1997.

Goldberg, D.E., Genetic Algorithms in Search,Optimization, & Machine Learning. MA: Addison-Wesley, 1989.

Gosh S., Gagnon R., A comprehensive literature review and analysis of the design, balancing and scheduling of assembly system, Int. J. Prod. Res.27,4,(1989):637-670.

Hoffmann, T.R., Assembly line balancing: a set of chalenging problems, Int. J. Prod. Res. 28,10(1990):1807-1815.

Holland, J.H., Adaptation in Natural and Artificial System. University of Michican Press, Ann Arbor, 1975.

Kim,Y.K., Kim, Y.J., Kim, Y., Genetic algorithm for assembly line balancing with various objectives, Computers and Industrial Engineering. 30,3,(1996): 397-409.

Mapfaira, H. and Byrne, M., A genetic algorithms approach for assembly line balancing, 15th International Conference on Production Research. 1999.

Michalewicz, Z., Genetic Algorithms+Data Structures=Evolution Programs. 2nd edition, NY, USA: Springer-Verlag 1992.

Montgomery, D.C., Design and Analysis of Experiments. New York, John Wiley & Sons, 1997.

Rachamadugu, R.V., Talbot, F.B., Assemble line balancing with dual criteria, Recent Development in Production Research. Elsevier Science Publisher B.V. (n.d.).

Rattanawilaiwan, T., Line balancing in small diesel engine assembly plant with consideration on the local content government regulations. AIT Thesis , No. IE-82-6, 1982.

Rubinovitz, J. and Levitin, G., Genetic Algorithms for Assembly Line Balancing. International Journal of Abstract in Operation Research , 1996.

Schaffer, J.D., and Eshelman, L.J. On Crossover as an Evolutionarily Viable Strategy. Proc. third Int. Conf. On Genetic Algorithms. George Mason University. (n.d.).

Shon. A Study of Line-Balancing and Sequencing of a multiple product assembly line. Thesis No.IE87-8, Asian Institute of Technology, Bangkok,1987.

Starkweather, T., Mcdaniel, S., Mathias, K., Whitley, D., A comparison of genetic Sequencing Operators, Colorado State University, Fort Collins, (n.d.).

Stephen, D.R.AND Caros, D.A.: On a Multi product Assembly Line Balancing Problem. AIIE Tranctions,December.1970.

Suresh, G., Vinod, V.V., Sahu, S., A genetic algorithm for assembly line balancing, Production Planning & Control. 7,1,(1996):38-46.

Talbot, F.B. and Patterson, J.H., A Comparative Evaluation of Heuristic Line Balancing Techniques. Management Sciences. 32,4,(1984):430-454.

The MathWorks Inc., Getting started with MATLAB, MATLAB:The language of technical Computing. 1998.

Thomopoloulos,Nick T.Line Balancing-Sequencing for Mixed-Model Assembly. Management Science.14,(1967):59-75

Thomopoloulos,Nick T. Mixed Model Line Balancing With Smooth Station Assignment. Management Science.16, (1970): 593-603.

Yogathasan, M., Application of neural network in assembly line balancing. AIT Thesis No.ISE-96-4, 1996.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก
ปัญหา NP-hard

ปัญหา NP-hard คือปัญหาที่ใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนานและเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียลเมื่อขนาดของปัญหาเพิ่มขึ้น ซึ่งไม่เหมาะกับการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบตรงไปตรงมาในทางปฏิบัติ และโดยทั่วไปแล้วจะใช้ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาประเภทนี้เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีถึงแม้ว่าจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม

ลักษณะของปัญหาแบบ NP-hard จะอยู่ในรูปของ $f(\nu)$ (Time Complexity Function) ซึ่งเป็นฟังก์ชั่นที่ใช้แสดงถึงเวลาสูงสุดของปัญหาที่มีขนาด ν ตัวอย่างของเวลาในการคำนวณแสดงได้ดังตารางที่ ก.1 เช่น เวลาที่ใช้ในการคำนวณของรูปแบบปัญหาที่มีฟังก์ชั่น $f(\nu)=\nu$ โดยกำหนดให้ ν ขนาดเท่ากับ 10 และกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละขั้นตอนเท่ากับ 1 ไมโครวินาทีดังนั้นเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการคำนวณทั้งหมดเท่ากับ 10 ไมโครวินาที (1x10) แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น เวลาที่ใช้ก็จะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเส้นตรง แต่ถ้าปัญหาที่มีค่าของ $f(\nu)$ เป็น 2^ν 3^ν และ $\nu!$ เวลาที่ใช้จะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล

ตารางที่ ก.1 *เวลาในการคำนวณที่อยู่ในรูป Time Complexity Function โดยมีสมมติฐานว่าการคำนวณในแต่ละครั้งใช้เวลา 1 ไมโครวินาที*

Time Complexity Function $f(\nu)$	ν					
	10	20	30	40	50	60
ν	0.00001 sec	0.00002 sec	0.00003 sec	0.00004 sec	0.00005 sec	0.00006 sec
ν^2	0.001 sec	0.0004 sec	0.0009 sec	0.0016 sec	0.0025 sec	0.0036 sec
ν^5	0.1 sec	3.2 sec	24.3 sec	1.7 min	5.2 min	13 min
ν^{10}	2.7 hr	118.5 days	18.7 yrs	3.3 centuries	30.9 centuries	192 centuries
2^ν	0.001 sec	1.0 sec	17.9 min	12.7 days	35.7 yrs	366 centuries
3^ν	0.59 sec	58 min	6.5 yrs	3855 centuries	$2*10^8$ centuries	$1.3*10^{13}$ centuries
$\nu!$	3.6 sec	770 centuries	$8.4*10^{16}$ yrs	$2.5*10^{32}$ centuries	$9.6*10^{48}$ centuries	$2.6*19^{66}$ centuries

สมมติให้มีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่าเครื่องคอมพิวเตอร์จากตัวอย่างที่ผ่านมา 1,000 เท่า ถ้าปัญหาไม่มีความซับซ้อนมากนักและให้ระยะเวลาในการคำนวณเท่ากับเครื่องคอมพิวเตอร์จากปัญหาที่ผ่านมา ถ้าปัญหาที่มีฟังก์ชัน ν ก็สามารถทำให้เวลาในการคำนวณเร็วขึ้น 1,000 เท่า แต่ถ้าปัญหามีความซับซ้อนมากคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงก็สามารถช่วยในการคำนวณได้เร็วขึ้นในระดับหนึ่ง เช่นปัญหาที่มีฟังก์ชั่นเป็น $\nu!$ เครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีการคำนวณเร็วกว่า 1,000 เท่า ช่วยให้การคำนวณได้เร็วขึ้นเล็กน้อย ดังตัวอย่างในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 *ขนาดของปัญหาในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า 1000 เท่า*

Time Complexity Function	ขนาดของปัญหาที่ถูกแก้	
	คอมพิวเตอร์ธรรมดา	คอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า 1000 เท่า
ν	ν_1	$1000\nu_1$
ν^2	ν_2	$31.62\nu_2$
ν^5	ν_3	$3.98\nu_3$
ν^{10}	ν_4	$1.99\nu_4$
2^ν	ν_5	ν_5+10
3^ν	ν_6	ν_6+6
$\nu!$	ν_7	ν_7+3 $\quad \nu_7 \leq 10$ ν_7+2 $\quad 10 < \nu_7 \leq 30$ ν_7+1 $\quad 30 < \nu_7 \leq 1000$

ปัญหา NP-hard เป็นปัญหาที่ใช้ระยะเวลาในการหาคำตอบยาวนาน ดังนั้นการหาคำตอบด้วยวิธีการแบบตรงไปตรงมาจึงเป็นไปได้ลำบาก และถึงแม้จะมีเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงมาช่วยในการคำนวณก็สามารถช่วยได้ในระดับหนึ่ง วิธีการหาคำตอบของปัญหารูปแบบนี้ได้แก่การใช้ฮิวริสติก หรือ อัลกอลิทึมต่างๆมาช่วยใช้ในการหาคำตอบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข
รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง

ปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน

ตารางที่ ข.1 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

ขั้นงาน	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทั้งหมด	ขั้นงานก่อนหน้า
k	1(120*)	2(60)	3(40)	(นาที)	
1	0.5	0	1	100	-
2	0.4	0.8	1.2	144	-
3	0	0.2	0.4	28	-
4	0.4	0	0	48	-
5	0.2	0.2	0.2	44	-
6	0.2	0	0	24	1
7	0.4	0.5	0.6	102	1
8	0	0.5	0.5	50	2
9	0.4	0.3	0.2	74	2,3
10	0	0	0.2	8	3
11	0.3	0.3	0.3	66	4,5
12	0.1	0.3	0.5	50	7,8
13	0.1	0	0.1	16	11
14	0.2	0.2	0.2	44	11
15	0.7	1	1.5	204	9,12
16	0	0.1	0	6	3,11
17	0.5	0.5	0	90	13
18	0.3	0.5	0.3	78	14
19	0.4	0.3	0	66	14,17
รวม	5.1	5.7	7.2	1,242	

หมายเหตุ * จำนวนผลผลิตที่ต้องการในช่วงระยะเวลาทำงานต่อกะหรือต่อวัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน

ตารางที่ ข.2 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน*

ขั้นงาน	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์				เวลารวมทั้งหมด	ขั้นงานก่อนหน้า
k	1(50)	2(80)	3(40)	4(100)	(นาที)	
1	0.4	0	0.3	0.2	52	0
2	0	0	0.5	0.3	50	1
3	0.4	0	0	0.3	50	1
4	0	0.3	0.4	0.1	50	1
5	0.8	0.9	0	0.7	182	2,3,4
6	0.7	1	0	0.6	175	5
7	0	0.8	0.5	0.9	174	6
8	0.8	0.3	0	0.6	124	6
9	0	0	0.4	0.8	96	6
10	0.9	0.1	0.5	0.6	133	7,8,9
11	0.2	0.3	0	0.7	104	10
12	0	0.6	0.6	0.7	142	11
13	0.7	0	0.5	0.5	105	12
14	0.3	0.3	0.3	0	51	12
15	0.7	0.7	0.6	0	115	13,14
16	0.4	0.3	0.4	0.4	100	15
17	0.6	0.3	0	0.3	84	16
18	0.6	0.4	0.2	0.6	130	0
19	0.2	0.2	0	0.2	46	18
20	0.7	0	0.7	0.7	133	0
21	0.5	0	0	0.6	85	20
22	0.1	0.1	0	0.2	33	20
23	0.2	0.3	0.3	0.2	66	20
24	0.9	0.8	0.9	0	145	20
25	0.6	0.6	0.5	0.3	128	0
26	0.5	0	0.4	0.6	101	25

ตารางที่ ข.2 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน (ต่อ)*

ขั้นงาน	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์				เวลารวมทั้งหมด	ขั้นงานก่อนหน้า
k	$1(t_{1k})50$	$2(t_{2k})80$	$3(t_{3k})40$	$4(t_{4k})100$	t_k	
27	0.9	1	0.7	0	153	26
28	0.6	0.5	0.4	0	86	27
29	0.2	0.2	0	0.1	36	28
30	0.5	0.6	0.2	0.4	121	28
31	1	0.9	0.8	0.5	204	17,19,21,22,23,24,29,30
32	0	0.7	0.6	0.4	120	31
33	0.6	0	0.3	0	42	32
34	0.1	0.1	0.1	0	17	32
35	0.7	0.6	0.5	0.5	153	32
36	0.6	0	0.5	0.8	130	33,34,35
37	0.9	0.9	0.5	0.7	207	36
38	0	0.1	0.5	0.1	38	37
39	0.5	0.6	0	0.5	123	31
40	0	0.5	0.4	0.3	86	39
41	0.3	0	0.7	0.8	123	39
42	0.8	0.5	0	0.9	170	39
43	0.4	0.2	0.4	0.7	122	40,41,42
44	0.4	0.3	0.8	0	76	38,43
45	0.7	0.4	0.7	0.4	135	44
46	0	0.4	0.4	0	48	45
47	1	0.6	0.8	0.4	170	46
48	0	0.7	0.7	0	84	47
49	0	0.1	0.4	0.3	54	48

ปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน

ตารางที่ ข.3 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน (นาที)			เวลาทำงานรวม(นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(43)	B(28)	C(35)		
1	0.10	0.00	0.57	24.25	-
2	0.00	0.00	0.40	14.00	-
3	0.83	0.21	0.45	57.32	-
4	0.00	0.00	0.65	22.75	-
5	0.28	0.00	0.00	12.04	-
6	0.00	0.00	0.37	12.95	-
7	0.00	0.00	0.48	16.80	-
8	1.60	1.60	0.00	113.60	-
9	0.50	0.00	0.00	21.50	-
10	0.30	0.25	0.27	29.35	-
11	0.33	0.27	0.38	35.05	-
12	0.50	0.50	0.25	44.25	-
13	0.33	0.35	0.52	42.19	-
14	0.33	0.27	0.48	38.55	-
15	0.20	0.20	0.00	14.20	-
16	0.42	0.62	1.22	78.12	-
17	0.83	0.97	0.63	84.90	-
18	0.42	0.42	0.23	37.87	-
19	0.67	0.80	0.58	71.51	-
20	1.17	1.17	0.00	83.07	-
21	0.50	0.50	0.60	56.50	-
22	0.17	0.17	0.25	20.82	-
23	0.50	0.50	0.00	35.50	-
24	0.00	0.00	0.10	3.50	-
25	0.20	0.25	0.00	15.60	-
26	0.00	0.28	0.28	17.64	-
27	1.33	1.33	0.00	94.43	-
28	0.13	0.00	0.00	5.59	-
29	0.00	0.16	0.16	10.08	-
30	0.00	0.00	0.33	11.55	-
31	0.00	0.00	0.83	29.05	-
32	0.00	0.00	0.17	5.95	-
33	0.00	0.00	1.80	63.00	1,2
34	1.75	3.30	1.42	217.35	3,4
35	1.08	0.00	0.00	46.44	5
36	0.00	0.00	1.58	55.30	6
37	1.67	1.67	1.67	177.02	12,13,14
38	0.67	1.67	1.50	128.07	15,16

ตารางที่ ข.3 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน (นาที)			เวลาทำงานรวม(นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(43)	B(28)	C(35)		
39	1.85	2.00	1.78	197.85	17,18,19
40	0.48	0.48	0.50	51.58	21,22,23,24
41	1.17	1.17	0.00	83.07	25,26,27
42	0.00	0.00	1.25	43.75	28
43	0.33	0.33	0.00	23.43	29
44	0.00	0.00	0.63	22.05	31
45	0.00	0.00	0.45	15.75	33
46	0.42	0.50	0.50	49.56	34
47	0.80	0.80	1.32	103.00	37
48	0.50	0.50	1.48	87.30	38
49	1.70	1.70	1.70	180.20	20,39,50
50	0.18	0.18	0.25	21.53	40
51	0.60	0.06	0.00	27.48	41
52	0.60	0.00	1.00	60.80	42
53	0.25	0.25	0.00	17.75	43
54	0.00	0.00	0.78	27.30	45
55	1.88	1.08	0.30	121.58	46
56	0.00	0.00	0.88	30.80	47
57	0.80	0.80	0.67	80.25	48
58	1.70	1.70	1.70	180.20	49
59	1.00	1.00	0.00	71.00	51
60	0.00	0.00	1.00	35.00	52
61	0.00	0.00	1.68	58.80	54
62	0.00	0.00	0.65	22.75	55
63	0.88	0.88	1.36	110.08	56
64	0.97	0.97	1.37	116.82	57
65	1.70	1.70	1.70	180.20	58
66	0.00	0.73	0.00	20.44	62
67	1.70	1.70	1.70	180.20	65
68	0.00	0.50	0.00	14.00	66
69	1.70	1.70	1.70	180.20	67
70	2.67	0.00	0.00	114.81	35,68
71	1.70	1.70	1.70	180.20	69
72	2.00	2.00	1.67	200.45	70
73	1.70	1.70	1.70	180.20	71
74	2.00	2.00	1.67	200.45	72
75	1.70	1.70	1.70	180.20	73
76	2.00	2.00	1.67	200.45	74

ตารางที่ ข.3 *รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน (นาที)			เวลาทำงานรวม(นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(43)	B(28)	C(35)		
77	1.70	1.70	1.70	180.20	75
78	2.00	2.00	1.17	182.95	76
79	1.70	1.70	1.70	180.20	77
80	2.00	2.00	1.30	187.50	7,36,78
81	0.67	0.67	1.30	93.07	64,79
82	2.47	1.45	0.00	146.81	8,9,61,80
83	0.67	0.67	1.28	92.37	81
84	0.50	0.50	1.17	76.45	10,11,82
85	0.00	0.00	1.30	45.50	83
86	0.08	0.08	0.00	5.68	63,84
87	0.00	0.85	1.42	73.50	85
88	0.00	0.42	0.00	11.76	86
89	0.85	0.85	1.42	110.05	87
90	0.00	0.00	0.75	26.25	88
91	0.83	0.83	1.43	108.98	89
92	0.48	0.10	0.48	40.24	90
93	1.67	1.67	1.17	159.52	91
94	0.10	0.10	0.52	25.30	92
95	0.85	0.85	1.10	98.85	93
96	1.83	1.83	1.08	167.73	30,53,59,60,94,95
97	1.83	1.83	1.08	167.73	96
98	1.83	1.83	1.08	167.73	97
99	1.83	1.83	1.05	166.68	98
100	0.62	1.83	1.05	114.65	99
101	0.75	1.17	1.28	109.81	100
102	0.00	0.00	0.50	17.50	44,101
103	1.67	1.67	1.67	177.02	102
104	1.67	1.67	1.67	177.02	103
105	1.67	1.67	1.67	177.02	104
106	1.67	1.67	1.67	177.02	105
107	1.33	1.33	1.27	138.88	106
108	0.80	0.80	1.67	115.25	107
109	0.80	0.80	1.67	115.25	108
110	0.80	0.80	1.67	115.25	109
111	0.40	0.80	1.33	86.15	110
112	0.40	0.80	1.25	83.35	111
113	0.83	0.83	0.83	87.98	32,112
114	1.18	1.33	1.58	143.28	113

ปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน

ตารางที่ ข.4*รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทั้งหมด (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(75)	B(50)	C(50)		
1	0.30	0.30	0.33	54.00	0
2	0.81	0.75	0.78	137.25	1
3	0.81	0.75	0.81	138.75	1
4	0.79	0.75	0.81	137.25	1
5	0.81	0.70	0.79	135.25	1
6	0.70	0.72	0.75	126.00	1
7	0.70	0.70	0.70	122.50	1
8	0.55	0.40	0.68	95.25	1
9	0.50	0.40	0.50	82.50	2,3,4,5,6,7,8
10	0.81	0.81	0.80	141.25	9
11	0.79	0.79	0.75	136.25	9
12	0.78	0.79	0.80	138.00	9
13	0.79	0.78	0.78	137.25	9
14	0.75	0.70	0.78	130.25	9
15	0.80	0.61	0.68	124.50	9
16	0.60	0.60	0.60	105.00	9
17	0.50	0.50	0.50	87.50	10,11,12,13,14,15,16
18	0.81	0.79	0.78	139.25	17
19	0.79	0.77	0.81	138.25	17
20	0.79	0.77	0.81	138.25	17
21	0.70	0.74	0.75	127.00	17
22	0.69	0.60	0.68	115.75	17
23	0.50	0.50	0.50	87.50	18,19,20,21,22,
24	0.45	0.50	0.42	79.75	23
25	0.00	0.00	0.39	19.50	23
26	0.57	0.40	0.40	82.75	0
27	0.30	0.44	0.35	62.00	26
28	0.80	0.79	0.68	133.50	0
29	0.16	0.12	0.16	26.00	0
30	0.15	0.00	0.15	18.75	29
31	0.15	0.15	0.15	26.25	29
32	0.15	0.15	0.15	26.25	29
33	0.20	0.20	0.20	35.00	29
34	0.55	0.68	0.78	114.25	0
35	0.58	0.66	0.70	111.50	34
36	0.95	0.95	0.95	166.25	24,25,26,27,28,29,30,31,32,33,34,35
37	0.16	0.16	0.16	28.00	36
38	0.16	0.16	0.00	20.00	36

39	0.18	0.18	0.18	31.50	36

ตารางที่ ข.4*รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขันงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทังหมด (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(75)	B(50)	C(50)		
40	0.15	0.15	0.00	18.75	36
41	0.16	0.16	0.16	28.00	36
42	0.16	0.18	0.00	21.00	36
43	0.55	0.58	0.33	86.75	37,38,39,40,41,42
44	0.13	0.13	0.13	22.75	43
45	0.09	0.08	0.08	14.75	44
46	0.13	0.13	0.13	22.75	44
47	0.15	0.15	0.15	26.25	44
48	0.75	0.75	0.60	123.75	45,46,47
49	0.32	0.30	0.27	52.50	48
50	0.12	0.12	0.11	20.50	49
51	0.13	0.13	0.13	22.75	50
52	0.22	0.18	0.20	35.50	51,61
53	0.33	0.33	0.33	57.75	36
54	0.13	0.00	0.13	16.25	53
55	0.18	0.18	0.18	31.50	53
56	0.18	0.18	0.18	31.50	53
57	0.00	0.18	0.00	9.00	53
58	0.16	0.16	0.16	28.00	53
59	0.16	0.16	0.16	28.00	53
60	0.00	0.16	0.00	8.00	53
61	0.12	0.09	0.10	18.50	54,55,56,57,58,59,60
62	0.00	0.00	0.11	5.50	52
63	0.16	0.16	0.16	28.00	62,70
64	0.25	0.25	0.33	47.75	36
65	0.00	0.13	0.13	13.00	64
66	0.00	0.10	0.10	10.00	65
67	0.20	0.00	0.20	25.00	66
68	0.15	0.11	0.00	16.75	66
69	0.20	0.20	0.20	35.00	67,68
70	0.27	0.30	0.33	51.75	69
71	0.18	0.18	0.18	31.50	63
72	0.15	0.00	0.15	18.75	71
73	0.12	0.12	0.12	21.00	72
74	0.12	0.12	0.00	15.00	73
75	0.26	0.26	0.26	45.50	74
76	0.00	0.23	0.00	11.50	75
77	0.33	0.33	0.33	57.75	76
78	0.15	0.10	0.00	16.25	77

79	0.25	0.25	0.25	43.75	36
80	0.12	0.10	0.10	19.00	79

ตารางที่ ข.4*รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทั้งหมด (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(75)	B(50)	C(50)		
81	0.13	0.13	0.13	22.75	79
82	0.20	0.24	0.26	40.00	79
83	0.13	0.13	0.13	22.75	80, 81, 82
84	0.16	0.16	0.16	28.00	83
85	0.16	0.16	0.16	28.00	83
86	0.30	0.44	0.36	62.50	84,85
87	0.12	0.12	0.11	20.50	36
88	0.11	0.11	0.11	19.25	87
89	0.55	0.58	0.50	95.25	88
90	0.00	0.21	0.00	10.50	89
91	0.16	0.00	0.16	20.00	89
92	0.16	0.16	0.16	28.00	89
93	0.00	0.23	0.23	23.00	90, 91, 92
94	0.00	0.21	0.21	21.00	93
95	0.12	0.14	0.12	22.00	94
96	0.50	0.50	0.50	87.50	95
97	0.85	0.85	1.42	177.25	78
98	0.96	0.74	0.96	157.00	97
99	0.80	0.83	0.47	125.00	98
100	0.00	0.00	0.78	39.00	99
101	1.06	0.90	1.04	176.50	100
102	0.88	0.88	1.36	178.00	101
103	0.97	0.97	1.37	189.75	102
104	0.45	0.45	0.00	56.25	103
105	0.15	0.15	0.15	26.25	103
106	0.58	0.36	0.56	89.50	0
107	0.00	0.17	0.15	16.00	0
108	0.09	0.08	0.08	14.75	106, 107
109	0.09	0.08	0.08	14.75	108
110	0.00	0.07	0.13	10.00	109
111	0.00	0.34	0.37	35.50	109
112	0.22	0.18	0.21	36.00	110, 111
113	0.18	0.00	0.19	23.00	112
114	0.11	0.09	0.10	17.75	113
115	0.00	0.11	0.10	10.50	113
116	0.27	0.30	0.27	48.75	86,114,115
117	0.28	0.20	0.28	45.00	116
118	0.07	0.06	0.07	11.75	117

119	0.21	0.00	0.00	15.75	118
120	0.09	0.14	0.09	18.25	119,129
121	0.17	0.28	0.28	40.75	0

ตารางที่ ข.4*รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทั้งหมด (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(75)	B(50)	C(50)		
122	0.09	0.09	0.00	11.25	121
123	0.00	0.12	0.00	6.00	121
124	0.10	0.15	0.00	15.00	122,123
125	0.00	0.00	0.10	5.00	124
126	0.00	0.00	0.17	8.50	125
127	0.13	0.00	0.00	9.75	126
128	0.15	0.13	0.18	26.75	127
129	0.00	0.18	0.00	9.00	128
130	0.31	0.31	0.31	54.25	120
131	0.36	0.56	0.36	73.00	130,134
132	0.02	0.02	0.02	3.50	0
133	0.10	0.10	0.10	17.50	132
134	0.18	0.18	0.18	31.50	133
135	0.10	0.09	0.10	17.00	131
136	0.13	0.00	0.13	16.25	131
137	0.12	0.00	0.12	15.00	131
138	0.00	0.18	0.00	9.00	137
139	0.15	0.15	0.15	26.25	135, 136, 138
140	0.10	0.10	0.16	20.50	96, 139
141	0.40	0.39	0.39	69.00	140
142	0.31	0.33	0.41	60.25	141
143	0.22	0.13	0.22	34.00	142
144	0.06	0.06	0.06	10.50	143
145	0.20	0.25	0.20	37.50	144
146	0.75	0.80	0.83	137.75	145
147	0.14	0.15	0.10	23.00	148
148	0.18	0.18	0.17	31.00	0
149	0.13	0.13	0.13	22.75	147
150	0.25	0.20	0.25	41.25	104, 105, 146
151	0.08	0.08	0.08	14.00	150
152	0.10	0.12	0.10	18.50	150
153	0.18	0.19	0.16	31.00	150
154	0.21	0.25	0.21	38.75	150
155	0.10	0.10	0.10	17.50	150
156	0.12	0.12	0.12	21.00	150
157	0.24	0.20	0.25	40.50	150
158	0.13	0.13	0.10	21.25	150

159	0.20	0.27	0.19	38.00	151, 152, 153,154, 155, 156, 157, 158
160	0.11	0.10	0.12	19.25	151, 152, 153,154, 155, 156, 157, 159
161	0.80	0.80	0.85	142.50	159, 160
162	1.67	1.67	1.67	292.25	161

ตารางที่ ข.4*รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

ขั้นงานที่	เวลาขั้นงาน/ผลิตภัณฑ์(นาที)			เวลารวมทั้งหมด (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A(75)	B(50)	C(50)		
163	0.55	0.55	0.55	96.25	162
164	0.37	0.37	0.37	64.75	163
165	0.30	0.30	0.30	52.50	0
166	0.33	0.33	0.33	57.75	164
167	1.50	1.55	1.50	265.00	166
168	0.13	0.13	0.13	22.75	167
169	0.30	0.35	0.30	55.00	168
170	0.30	0.28	0.29	51.00	169
171	0.28	0.30	0.28	50.00	170
172	0.20	0.18	0.20	34.00	171
173	0.25	0.25	0.25	43.75	172
174	0.46	0.46	0.46	80.50	172
175	1.05	1.00	1.00	178.75	172
176	0.58	0.50	0.58	97.50	173, 174, 175
177	0.15	0.15	0.15	26.25	176
178	0.09	0.09	0.09	15.75	177
179	0.50	0.50	0.30	77.50	178
180	0.38	0.44	0.40	70.50	179
181	0.75	0.75	0.75	131.25	180
182	0.00	0.25	0.00	12.50	181
183	0.00	0.00	0.12	6.00	182
184	0.15	0.15	0.15	26.25	183
185	1.67	1.67	0.67	242.25	184
186	1.52	1.52	1.52	266.00	185
187	1.28	1.28	1.28	224.00	186
188	0.00	0.00	0.30	15.00	187
189	0.38	0.38	0.38	66.50	188
190	0.13	0.26	0.13	29.25	189
191	0.30	0.13	0.13	35.50	190
192	0.15	0.15	0.15	26.25	191
193	0.30	0.30	0.30	52.50	165, 192
194	0.36	0.36	0.36	63.00	193

ภาคผนวก ค
การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

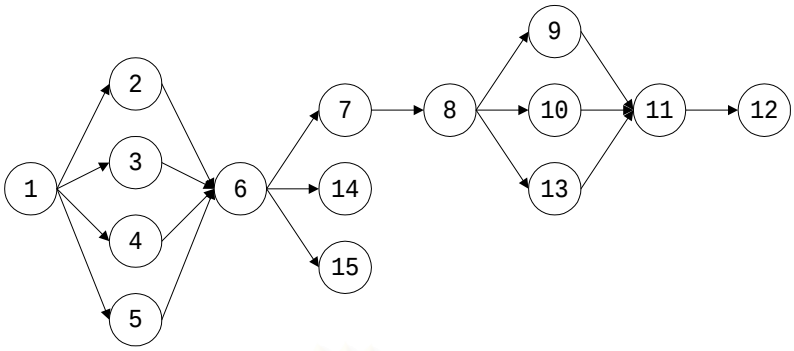
ในงานวิจัยครั้งนี้ได้นำเจนเนติกอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (MMAL) โดยนำมาเขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม Matlab 5.3.1 จึงต้องมีการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมที่เขียนขึ้น โดยใช้ปัญหาตัวอย่างเพื่อพิจารณาการทำงานของโปรแกรมว่าถูกต้องตามวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมหรือไม่ โดยจะทำการทดสอบทั้งหมด 3 เรื่องคือ

1) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของการทำงานในแต่ละขั้นตอน คือ จะทำการรันโปรแกรมทีละขั้นตอนตามวิธีของเจนเนติกอัลกอริทึม หลังจากนั้นจะนำผลที่ได้มาพิจารณาตรวจสอบกับการคำนวณหาค่าด้วยมือเพื่อพิจารณาความถูกต้องและความเป็นไปได้ของผลลัพธ์ที่ได้
2) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของความสามารถในการลู่เข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุด คือ ทำการรันโปรแกรมจนครบจำนวนเจนเนอเรชั่นที่สูงสุด แล้วพิจารณาจากกราฟแสดงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชั่นว่ามีการลู่เข้าหาค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งตามหลักการของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้หรือไม่
3) การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในเรื่องของการหาคำตอบที่เหมาะสมและเป็นไปได้ที่ดีที่สุด คือ ทำการรันโปรแกรมจนครบเจนเนอเรชั่นสูงสุด แล้วนำคำตอบที่ดีที่สุด มาพิจารณาตรวจสอบความถูกต้อง ไม่ขัดกับข้อจำกัดต่างๆ

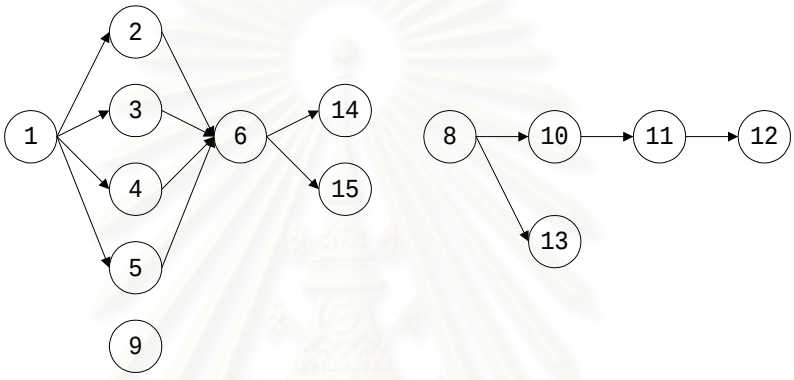
1. ปัญหาตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม มีเวลาทำงานต่อกะ 360 นาที ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์ 3 ชนิดคือ ผลิตภัณฑ์ A 80 ชิ้น/กะ B 30 ชิ้น/กะ และ ผลิตภัณฑ์ C 60 ชิ้น/กะ

แผนภาพลำดับก่อนหลังของงานของผลิตภัณฑ์ A B และ C และแผนภาพลำดับก่อนหลังของงานรวมทั้ง 3 ผลิตภัณฑ์แสดงไว้ในรูปที่ ค.1

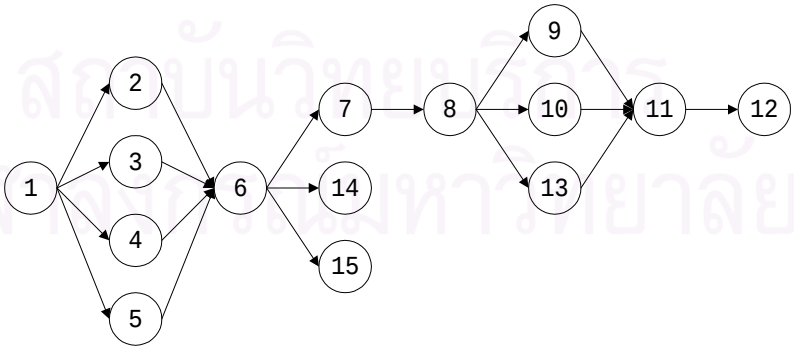


แผนภาพลำดับก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ A



แผนภาพลำดับก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ B

แผนภาพลำดับก่อนหลังของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพลำดับก่อนหลังรวมของผลิตภัณฑ์ A, B และ C

รูปที่ ค.1 *แผนภาพลำดับก่อนหลังก่อนของปัญหาตัวอย่างขนาด 15 ขั้นงาน*

รายละเอียดเวลาทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์รวมถึงการหาเวลาทำงานรวมแสดงไว้ในตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 *รายละเอียดเวลาทำงานของปัญหาตัวอย่างขนาด 15 ขั้นงาน*

ขั้นงาน	เวลาทำงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ (นาที)			เวลาทำงานรวม (นาที)	ขั้นงานก่อนหน้า
	A	B	C		
1	0.3	0.6	0	42	-
2	0.6	0.4	0.5	90	1
3	0.1	0.7	0.6	65	1
4	0.6	0.7	0.9	123	1
5	0.5	0.5	0.8	103	1
6	0.9	0.4	0.5	114	2, 3, 4, 5
7	0.1	0	0.5	38	6
8	0.1	0.9	0.1	41	7
9	0.2	0.2	0	22	8
10	0.6	0.7	0	69	8
11	0.2	0.4	0.3	46	9, 10, 13
12	0.1	0.6	0.1	32	11
13	0.6	0.5	0.7	105	8
14	0.4	0.5	0.7	89	6
15	0.6	0.4	0.5	90	6
รวม				1069	

สำหรับพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมคือ

จำนวนประชากรขนาด 5 ประชากร
วิธีการครอสโอเวอร์ แบบ OX with Repair Method
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ 0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น 0.3

2. การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม

2.1 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการทำงานแต่ละขั้นตอน

1) การรับข้อมูลและการสร้างประชากรเบื้องต้น(Initial Population Creating)

จำนวนขั้นงาน (Task) 15 ขั้นงาน

ระยะเวลาทำงาน(Pot) 360 นาที

เวลาทำงานรวม (W) 1069 นาที

จากข้อมูลที่ได้รับ โปรแกรมสามารถสร้าง Precedence Matrix ได้ดังรูปที่ ค.2

ก่อน \ หลัง	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0	***1***	***1***	***1***	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***
7	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	***1***	0	0	***1***	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
11	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0
12	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
13	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	***1***	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

รูปที่ค.2 *เมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขั้นงานของปัญหาตัวอย่างขนาด 15 ขั้นงาน*

ตัวอย่างการสร้างประชากรเบื้องต้นของโปรแกรมเพื่อใช้เป็นสตริงคำตอบ แสดงได้ดังตารางที่ 8ค.2

ตารางที่ ค.2 *แสดงตัวอย่างการสร้างประชากรเบื้องต้นของปัญหาตัวอย่าง 15 ขั้นงาน*

ตำแหน่งที่	ขั้นงานที่ไม่มีงานก่อนหน้า	งานที่สุ่มเลือก
1	{1}	1
2	{2, 3, 4, 5}	3
3	{2, 4, 5}	5
4	{2, 4}	2
5	{4}	4
6	{6}	6
7	{7, 14, 15}	14
8	{7, 15}	15
9	{7}	7
10	{8}	8
11	{9, 10, 13}	9
12	{10, 13}	13
13	{10}	10
14	{11}	11
15	{12}	12

จากตารางที่ ค.2 จะได้ประชากรเบื้องต้นตัวแรก String (1) =[1 3 2 4 5 6 14 15 7 8 13 9 10 11 12] ส่วนประชากรเบื้องต้นที่เหลืออีก 4 ตัวมีวิธีการสร้างเช่นเดียวกันซึ่งจะได้ผลดังนี้คือ

String (2) = [1 5 2 3 4 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12]

String (3) = [1 3 4 5 2 6 7 8 9 10 14 13 11 15 12]

String (4) = [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]

String (5) = [1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]

เมื่อนำประชากรหรือสตริงคำตอบเบื้องต้นที่ได้จากโปรแกรมมาตรวจสอบพบว่าไม่ขัดกับลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของขั้นงาน และไม่ขั้นงานที่ซ้ำกันในสตริงตัวเดียวกัน รวมทั้งสตริงคำตอบที่ได้ทั้ง 5 ตัวมีความแตกต่างกันทั้งหมด ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าการทำงานของโปรแกรม ในขั้นตอนของการรับข้อมูลเข้าและการสร้างประชากรเบื้องต้นมีความถูกต้อง

2) การถอดรหัสคำตอบ(Decoding)

เนื่องจากประชากรหรือสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นยังเป็นคำตอบที่ไม่สมบูรณ์ เป็นเพียงลำดับของงานเท่านั้นจึงต้องมีการถอดรหัสคำตอบคือนำไปจัดให้กับสถานีงานให้เรียบร้อยซึ่งผลการจัดของโปรแกรมแสดงได้ดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 *ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบเบื้องต้น*

String No.	String Sequence	Workstation Sequence	n	Station Time
1	[1 3 5 2 4 6 14 15 7 8 9 13 10 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4]	4	[300 326 296 147]
2	[1 5 2 3 4 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4 4]	4	[300 327 259 183]
3	[1 3 4 5 2 6 7 8 9 10 14 13 11 15 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 4 4]	4	[333 305 309 122]
4	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[333 331 327 78]
5	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[320 344 327 78]

จากตารางที่ ค.3 ผลการถอดรหัสคำตอบของโปรแกรมพบว่า เวลาทำงานของแต่ละสถานีไม่เกินระยะเวลาทำงานต่อกะ 360 นาที และแต่ละขั้นงานถูกจัดให้กับสถานีงานใดสถานีหนึ่งเท่านั้น และจำนวนสถานีงานทั้งหมดของสตริงคำตอบแต่ละตัวมีค่าไม่เกินจำนวนสถานีสูงสุดที่ยอมรับได้คือ 5 สถานี

3) การประเมินค่า(Evaluation)

ขั้นตอนการประเมินค่านี้โปรแกรมจะทำการคำนวณหาค่าต่างๆดังนี้คือ เวลาว่างงานรวม ค่าประสิทธิภาพสายการประกอบ ค่า Workload Variance และค่า Fitness ของสตริงคำตอบแต่ละตัว ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณของโปรแกรมสามารถนำมาเปรียบเทียบคำนวณหาค่าด้วยมือได้ดังตารางที่ ค.4

ตารางที่ค.4 *การเปรียบเทียบการประเมินค่าสตริงคำตอบของโปรแกรมกับการคำนวณหาค่าด้วยมือ*

String No.	เวลาว่างงานรวม (นาที)		ประสิทธิภาพสายการประกอบ (%)		Workload Varinace		Fitness	
	โปรแกรม	Manual	โปรแกรม	Manual	โปรแกรม	Manual	โปรแกรม	Manual
1	371	371	74.2361	74.2361	4952.75	4952.75	1484	1484
2	371	371	74.2361	74.2361	2952.25	2952.25	1484	1484
3	371	371	74.2361	74.2361	7147.25	7147.25	1484	1484
4	371	371	74.2361	74.2361	11943.25	11943.25	1484	1484
5	371	371	74.2361	74.2361	12014.75	12014.75	1484	1484

จากตารางที่ค.4 ผลการเปรียบเทียบการประเมินค่าของสตริงคำตอบของโปรแกรมกับการคำนวณหาค่าด้วยมือพบว่ามีค่าเท่ากันแสดงว่าโปรแกรมมีการทำงานในขั้นตอนของการประเมินค่าถูกต้อง

4) การเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น (Initial Elite Preserve Strategy)

ผลการเก็บค่าที่ดีที่สุดโปรแกรมเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 4 ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้คือ

สตริงคำตอบ = [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]

สถานีงาน = [1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]

จำนวนสถานีงาน = 4

เวลาว่างงานรวม = 371

ประสิทธิภาพสายการประกอบ = 74.2361

Workload Variance = 11943

ค่า Fitness = 1484

ในการพิจารณาค่า Fitness และค่าเวลาว่างงานรวมซึ่งเป็นวัตถุประสงค์ จากตารางที่ ค.4 พบว่าสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัวให้ค่าที่เท่ากัน จึงสามารถเลือกเก็บสตริงตัวใดก็ได้ ในที่นี้โปรแกรมเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 4 ดังนั้นสรุปได้ว่าโปรแกรมทำงานถูกต้องในขั้นตอนของการเก็บค่าที่ดีที่สุดเบื้องต้น

5) การคัดเลือกสตริงคำตอบ(Selection)

ในการคัดเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection โปรแกรมทำการสร้างวงล้อรูเล็ตแสดงได้ดังตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.5 *แสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต*

String No.	Fitness	pi	qi
1	1484	0.2	0.2
2	1484	0.2	0.4
3	1484	0.2	0.6
4	1484	0.2	0.8
5	1484	0.2	1.00
รวม	7420	1.00	

หลังจากสร้างวงล้อรูเล็ตโปรแกรมจะทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 2 ตัวจากวงล้อรูเล็ตแล้วเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool และถ้ามีค่า Fitness เท่ากันจะทำการสุ่มเลือกตัวเลขตัวเลขขึ้นมาเพื่อเลือกสตริงคำตอบถ้าสุ่มได้เลข 0 จะเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 1 ถ้าสุ่มได้เลข 1 จะเลือกสตริงคำตอบตัวที่ 2 ซึ่งผลการคัดเลือกสตริงที่ได้คือ สตริงหมายเลข 5 4 5 4 4 ซึ่งจะกลายเป็นสตริงคำตอบทั้ง 5 ตามลำดับเพื่อเข้าสู่ขั้นตอนการทำงานต่อไป

ตารางที่ค.6 *ผลการสุ่มเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Tournament Selection*

No.	String(1)				String(2)				X (random)	Selected String No.
	r_1	qi>ri	String No.	Fitness	r_1	qi>ri	String No.	Fitness		
1	0.90	1.00	5	1484	0.86	0.8	4	1484	0	**5**
2	0.03	0.2	1	1484	0.71	0.	4	1484	1	**4**
3	0.44	0.6	3	1484	0.90	1.0	5	1484	1	**5**
4	0.75	0.8	4	1484	0.62	0.8	4	1484	0	**4**
5	0.69	0.8	4	1484	0.14	0.4	2	1484	0	**4**

จากตารางที่ ค-6 พบว่าสตริงที่เลือกมาทั้งหมดมีค่า Fitness เท่ากันจึงต้องมีการสุ่มตัวเลขขึ้นมาเพื่อเลือกสตริงคำตอบ ครั้งที่ 1 สุ่มได้เลข 0 จึงเลือกสตริงตัวที่ 1 คือสตริงหมายเลข 5 ส่วนครั้งที่ 2 สุ่มได้เลข 1 จึงเลือกสตริงตัวที่สอง คือสตริงหมายเลข 4 ส่วนครั้งที่3 4 และ 5 ก็ทำเช่นเดียวกัน ผลที่ได้แสดงว่าโปรแกรมทำการคัดเลือกสตริงคำตอบถูกต้อง

6) การครอสโอเวอร์ (Crossover)

ในขั้นของการครอสโอเวอร์โปรแกรมจะทำการสุ่มสตริงคำตอบมาจับคู่เพื่อครอสโอเวอร์กัน โดยเลือกสตริงที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pc ในกรณีนี้กำหนดค่า Pc=0.9 หากสุ่มได้เป็นเลขคี่จะต้องลดหรือเพิ่มสตริงคำตอบที่สุ่มได้โดยสุ่มเลข 0 หรือ 1 ขึ้นมาถ้าสุ่มได้เลข 0 คือลดจำนวนสตริงหากสุ่มได้เลข 1 คือเพิ่มโดยเลือกจากสตริงคำตอบที่เหลือ หลังจากนั้นจะนำมาจับคู่กันและทำการสุ่มตำแหน่งที่จะครอสโอเวอร์ ผลการคัดเลือกสตริงแสดงได้ดังตารางที่ค.7

ตารางที่ ค.7 *ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบและการครอสโอเวอร์*

String NO.	String Sequence	ri	Selected String ri < Pc (0.9)
1	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	0.23	/
2	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	0.08	/
3	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	0.94	
4	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	0.76	/
5	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	0.35	/

เนื่องจากจำนวนสตริงที่สุ่มได้เป็นเลขคู่จึงทำการจับคู่กันได้สตริง 1 กับ 2 และสตริง 4กับ 5 จากนั้นโปรแกรมจะทำการครอสโอเวอร์โดยสุ่มตำแหน่งในการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่1 และ2 ได้เป็น 7-9 และ 2-11 ตามลำดับ

ผลการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1 ได้สตริงรุ่นลูก เป็น

offspring1: [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15]

offspring2: [1 4 3 5 2 6 14 7 8 9 10 13 11 12 15]

และผลการครอสโอเวอร์สตริงคู่ที่ 2 ได้สตริงรุ่นลูกคือ

offspring1: [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]

offspring2: [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]

สำหรับการทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในขั้นตอนนี้ เมื่อเรากำหนดให้ Pc=0.9 จำนวนสตริงคำตอบที่จะนำมาครอสโอเวอร์จะมีค่าประมาณ 0.7*5=0.45 หรือประมาณ 4 ตัว ซึ่งจากโปรแกรมมีจำนวนสตริงถูกสุ่มมาครอสโอเวอร์ 4 ตัวแสดงว่าถูกต้อง และเมื่อพิจารณาจากค่าสุ่ม (r) สตริงที่มีค่า r น้อยกว่า Pc จะถูกเลือกมาครอสโอเวอร์คือสตริงหมายเลข 1 2 4 และ 5 ซึ่งตรงกับที่โปรแกรมเลือก ขั้นต่อไปคือนำสตริงคู่แรกไปทำการครอสโอเวอร์แบบ OX โดยตำแหน่งที่การครอสโอเวอร์เหมือนโปรแกรมใช้ คือ 7และ 9 จะได้สตริงพ่อแม่และช่วงการครอสโอเวอร์ดังนี้

parent1: [1 2 3 4 5 6 |14 7 15 | 8 9 10 13 11 12]

parent2: [1 4 3 5 2 6 |7 14 15 | 8 9 10 13 11 12]

เมื่อสลับตำแหน่งของสตริงที่อยู่ในตำแหน่งที่ 4 ถึง 7 ในช่วงเครื่องหมาย | และครอสโอเวอร์ตามวิธีแบบ OX จะได้สตริงรุ่นลูกคือ

offspring1: [8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 2 3 4 5 6]

offspring2: [8 9 10 13 11 12 14 7 15 1 4 3 5 2 6]

ขั้นตอนต่อไปคือนำสตริงรุ่นลูกที่ได้มาตรวจสอบว่าขัดกับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานหรือไม่ จะได้ว่าสตริงรุ่นลูกทั้งสองเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ ต้องทำการซ่อมแซมคำตอบโดยนำ Precedence Matrix ที่ได้ตอนแรกมาใช้ในการหางานที่ไม่มีงานก่อนหน้า สำหรับตัวอย่างการซ่อมแซมคำตอบรุ่นลูกตัวแรกแสดงไว้ในตารางที่ ค.8 ผลการซ่อมแซมจะได้สตริงคำตอบที่เป็นไปได้ตัวใหม่คือ [1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15] ส่วนสตริงรุ่นลูกตัวที่สองก็ใช้วิธีเดียวกัน ผลการซ่อมแซมจะได้สตริงรุ่นลูกตัวที่สองที่เป็นไปได้ตัวใหม่คือ [1 4 3 5 2 6 14 7 8 9 10 13 11 12 15]

ตารางที่ค.8 *ผลการซ่อมแซมสตริงคำตอบรุ่นลูกได้จากการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 1*

Iteration	Available Set	Infeasible Offspring	Repair String
1	{1}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 ***1*** 2 3 4 5 6]	[1]
2	{2 3 4 5}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 ***2 3 4 5*** 6]	[1 2]
3	{3 4 5}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 2 ***3 4 5*** 6]	[1 2 3]
4	{4 5}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 2 *3* ***4 5*** 6]	[1 2 3 4]
5	{5}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 2 3 4 ***5*** 6]	[1 2 3 4 5]
6	{6}	[8 9 10 13 11 12 7 14 15 1 2 3 4 5 ***6***]	[1 2 3 4 5 6]
7	{7 14 15}	[8 9 10 13 11 12 ***7 14 15*** 1 2 3 4 5 6]	[1 2 3 4 5 6 7]
8	{81415}	[***8*** 9 10 13 11 12 7 ***14 15*** 1 2 3 4 5 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8]
9	{9 10 13 14 15}	[***8 9 10 13*** 11 12 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9]
10	{10 13 14 15}	[8 9 ***10 13*** 11 12 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10]
11	{13 14 15}	[8 9 10 ***13*** 11 12 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13]
12	{11 14 15}	[8 9 10 13 ***11*** 12 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11]
13	{12 14 15}	[8 9 10 13 11 ***12*** 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12]
14	{14 15}	[8 9 10 13 11 12 7 ***14 15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14]
15	{15}	[8 9 10 13 11 12 7 14 ***15*** 1 2 *3 4 5* 6]	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15]

ส่วนสตริงคู่ที่สองจะทำการครอสโอเวอร์วิธี OX ที่ตำแหน่งที่ 2 และ 11 เช่นเดียวกับการครอสโอเวอร์ด้วยโปรแกรม ซึ่งจะได้สตริงพ่อแม่และช่วงที่จะครอสโอเวอร์ คือ

parent1: [1 | 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 | 10 13 11 12]

parent2: [1 | 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 | 10 13 11 12]

เมื่อทำการสลับตำแหน่งของสตริงในช่วงตำแหน่งที่ 2 ถึง 11 ในเครื่องหมาย | จะได้สตริงรุ่นลูกเป็น

offspring1: [10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]

offspring2: [10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]

หลังจากนั้นนำไปตรวจสอบกับความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานพบว่าสตริงรุ่นลูกทั้ง 2 ตัว ขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ จึงต้องทำการซ่อมแซมคำตอบ ซึ่งทำเช่นเดียวกับสตริงคู่แรกได้ผลดังตารางที่ค.9 ซึ่งจะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกใหม่ทั้งสองตัวเป็น

[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]

ตารางที่ค.9 *ผลการซ่อมแซมคำตอบได้จากการครอสโอเวอร์ของสตริงคู่ที่ 2*

Iteration	Available Set	Infeasible Offspring	Repair String
1	{1}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 13 11 12 ***1***]	[1]
2	{2 3 4 5}	[10 ***4*** ***3*** ***5*** ***2*** 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]	[1 4]
3	{2 3 5}	[10 4 ***3*** ***5*** ***2*** 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]	[1 4 3]
4	{2 5}	[10 4 3 ***5*** ***2*** 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5]
5	{2}	[10 4 3 5 ***2*** 6 7 14 15 8 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2]
6	{6}	[10 4 3 5 2 ***6*** 7 14 15 8 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6]
7	{7 14 15}	[10 4 3 5 2 6 ***7*** ***14*** ***15*** 8 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7]
8	{14 15 8}	[10 4 3 5 2 6 7 ***14*** ***15*** ***8*** 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14]
9	{15 8}	[10 4 3 5 2 6 7 14 ***15*** ***8*** 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15]
10	{8}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 ***8*** 9 13 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8]
11	{9 10 13}	[***10*** 4 3 5 2 6 7 14 15 8 ***9*** ***13*** 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10]
12	{9 13}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 ***9*** ***13*** 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9]
13	{13}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 ***13*** 11 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13]
14	{11}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 13 ***11*** 12 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11]
15	{12}	[10 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 13 11 ***12*** 1]	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]

เมื่อพิจารณาสตริงทั้งหมดที่ได้เทียบกับผลที่ได้จากการทำงานของโปรแกรม พบว่าได้สตริงคำตอบที่เหมือนกัน ดังนั้นแสดงว่าโปรแกรมทำงานในขั้นตอนการครอสโอเวอร์และการซ่อมแซมคำตอบถูกต้อง

หลังจากทำการครอสโอเวอร์และซ่อมแซมคำตอบสตริงรุ่นลูกทั้ง 2 คู่แล้ว โปรแกรมนำสตริงรุ่นลูกทั้งหมดไปทำการถอดรหัสและประเมินค่าเพื่อหาค่า จำนวนสถานี เวลาทำงานแต่ละสถานี เวลาว่างงานรวม ประสิทธิภาพสายการประกอบ ค่า wv และค่า Fitness เพื่อแทนที่สตริงพ่อแม่ แล้วนำไปรวมกับสตริงที่ไม่ได้ถูกนำไปครอสโอเวอร์ โดยผลการถอดรหัสและการประเมินค่าโดยโปรแกรมและผลที่ได้จากการทดลองคำนวณด้วยมือเพื่อทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมจะได้ผลเหมือนกัน สามารถแสดงได้ดังตารางที่ ค.10 และ ตารางที่ ค.11

ตารางที่ ค.10 *การถอดรหัสสตริงคำตอบสตริงคำตอบของปัญหาขนาด 15ขั้นงานหลังจากการครอสโอเวอร์*

String No.	String Sequence	Workstation Sequence	n	Station Time
1	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15]	[1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4]	4	[320 318 341 90]
2	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 3 4]	4	[333 331 315 90]
3	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[320 344 327 78]
4	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[333 331 327 78]
5	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[333 331 327 78]

ตารางที่ค.11 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบของปัญหาขนาด 15ขั้นงาน หลังจากการครอสโอเวอร์*

String No.	Total Idle time	Workload variance	Line Eff.	Fitness
1	371	10554	74.2361	1484
2	371	10521	74.2361	1484
3	371	12015	74.2361	1484
4	371	11943	74.2361	1484
5	371	11943	74.2361	1484

พิจารณาจากตารางที่ ค.11 พบว่าเวลาทำงานของทุกสถานีงานไม่เกินระยะเวลาทำงานที่กำหนด ไม่มีขั้นงานใดถูกจัดให้กับหลายสถานี และทุกขั้นงานถูกจัดให้กับสถานีทำงานใดสถานีทำงานหนึ่ง จำนวนสถานีงานของทุกสตริงคำตอบไม่เกิน 5 ซึ่งเป็นสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้ ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถถอดรหัสและประเมินค่าสตริงคำตอบได้อย่างถูกต้อง

7) การเก็บค่าที่ดีสุดหลังจากการครอสโอเวอร์

หลังจากการถอดรหัสและประเมินค่าสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์แล้ว จะทำการเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ให้ค่าวัตถุประสงค์ต่ำสุดซึ่งในที่นี้สตริงทุกตัวให้ค่าเท่ากันไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ซึ่งก็ให้ค่าที่เท่ากัน ดังนั้นจึงไม่ต้องเก็บค่าใหม่

และเมื่อพิจารณาผลการเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังจากการครอสโอเวอร์ของโปรแกรมคือ

สตริงคำตอบ = [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]

สถานีงาน = [1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]

จำนวนสถานีงาน = 4

เวลาว่างงานรวม = 371

ประสิทธิภาพสายการประกอบ = 74.2361

Workload Variance = 11943

ค่า Fitness = 1484

ซึ่งจะเห็นได้ว่าเป็นสตริงคำตอบเดิมที่เก็บไว้เช่น ดังนั้นแสดงว่าโปรแกรมมีการทำงานในขั้นตอนนี้ถูกต้อง

8) **การมิวเตชั่น (Mutation)**

ในขั้นตอนนี้ โปรแกรมจะทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่าค่า Pm มาทำการมิวเตชั่น ผลการสุ่มและคัดเลือกแสดงได้ดังตารางที่ค.12

ตารางที่ค.12 ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชั่น

String NO.	String Sequence	ri	Selected String ri < Pm (0.3)
1	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15]	0.73	
2	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	0.15	/
3	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	0.52	
4	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]	0.24	/
5	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]	0.41	

จากตารางที่ ค.12 จะเห็นว่าโปรแกรมสุ่มสตริงที่จะทำมิวเตชั่นคือ สตริงหมายเลข 2 และ 4 และผลจากการทำมิวเตชั่นจะได้สตริงรุ่นลูกจากสตริงทั้งสองเป็น [1 4 2 3 5 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12] และ [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12] ตามลำดับ

สำหรับการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม พบว่าเมื่อกำหนด Pm=0.3 จะมีสตริงที่ถูกสุ่มไปมิวเตชั่นจำนวน 0.3*5 = 1.5 ตัว หรือประมาณ 1-2 ตัว ซึ่งตรงกับที่โปรแกรมเลือก และเมื่อพิจารณาค่าสุ่มของสตริงพบว่ามีสตริงหมายเลข 2 และ 4 ที่น้อยกว่า 0.3 แสดงว่าโปรแกรมเลือกได้ถูกต้อง

จากนั้นนำสตริงที่เลือกไปมิวเตชั่นที่ตำแหน่งเดียวกับที่โปรแกรมใช้คือ 2 และ 10 สำหรับสตริงหมายเลข 3 จะได้สตริงตัวใหม่เหมือนตัวเดิมถึงตำแหน่งที่ 2 คือ

parent = [1 4 _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _ _]

ส่วนตำแหน่งที่เหลือใช้วิธีกำหนดงานเหมือนกับการสร้างประชากรเบื้องต้น โดยมีการกำหนดงานไว้แล้ว 2 งาน ส่วนตำแหน่งที่เหลือแสดงไว้ในตารางที่ ค.13

ตารางที่ค.13 *การหาสตริงคำตอบตัวใหม่จากการมิวเตชั่น*

Iteration	Available Set	Random Selected String	String Sequence
1	-	-	-
2	-	-	[1 4]
3	{2 3 5}	2	[1 4 2]
4	{3 5}	3	[1 4 2 3]
5	{5}	5	[1 4 2 3 5]
6	{6}	6	[1 4 2 3 5 6]
7	{7 14 15}	15	[1 4 2 3 5 6 15]
8	{7 14}	7	[1 4 2 3 5 6 15 7]
9	{8 14}	8	[1 4 2 3 5 6 14 7 8]
10	{9 10 13 14}	10	[1 4 2 3 5 6 14 7 8 10]
11	{9 13 14}	14	[1 4 2 3 5 6 14 7 8 10 14]
12	{9 13}	9	[1 4 2 3 5 6 14 7 8 10 14 9]
13	{13}	13	[1 4 2 3 5 6 14 7 8 10 14 9 13]
14	{11}	11	[1 4 2 3 5 6 14 7 8 10 14 9 13 11]
15	{12}	12	[1 4 2 3 5 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12]

จากการทดลองทำการมิวเตชั่นจะได้สตริงรุ่นลูกคือ [1 4 2 3 5 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12]

สำหรับสตริงหมายเลข 4 จะทำการมิวเตชั่นที่ตำแหน่งที่ 4 ดังนั้นสตริงตัวใหม่จะมีค่าในตำแหน่งที่ 1-4 เหมือนสตริงตัวเดิมคือ

parent=[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 _ _ _ _ _]

การกำหนดงานในตำแหน่งที่เหลือจะใช้วิธีเหมือนเดิม ซึ่งจะได้สตริงตัวใหม่เป็น [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]

ผลการทดลองทำมิวเตชั่นที่ได้นั้นให้ผลเช่นเดียวกับที่โปรแกรม แสดงว่าโปรแกรมสามามารถทำงานในขั้นตอนของการมิวเตชั่นถูกต้องและสตริงคำตอบที่ได้มีความเป็นไปได้

หลังจากทำการมิวเตชั่นแล้ว โปรแกรมจะทำการถอดรหัสและประเมินค่าสตริงคำตอบตัวใหม่แล้วเอาไปรวมกับสตริงที่เหลือ ซึ่งผลการถอดรหัสและการประเมินค่าโดยโปรแกรมกับการทดลองคำนวณด้วยมือให้ผลเท่ากันสามารถแสดงได้ดังตารางที่ค.14 และตารางที่ ค.15

ตารางที่ ค.14 *ผลการถอดรหัสสตริงคำตอบของปัญหาขนาด 15 ขั้นภายหลังการมิวเตชั่น*

String No.	String Sequence	Workstation Sequence	n	Station Time
1	[1 2 3 4 5 6 7 8 9 10 13 11 12 14 15]	[1 1 1 1 2 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4]	4	[320 318 341 90]
2	[1 4 2 3 5 6 15 7 8 10 14 9 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[320 345 326 78]
3	[1 2 3 4 5 6 14 7 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[320 344 327 78]
4	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[333 331 327 78]
5	[1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 10 9 13 11 12]	[1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]	4	[333 331 327 78]

ตารางที่ ค.15 *ผลการประเมินค่าสตริงคำตอบของปัญหาขนาด 15ขั้นงานหลังทำมิวเตชั่น*

String No.	Total Idle time	Workload variance	Line Eff.	Fitness
1	371	10554	74.2361	1484
2	371	12024	74.2361	1484
3	371	12015	74.2361	1484
4	371	11943	74.2361	1484
5	371	11943	74.2361	1484

จากตารางที่ ค.14 พบว่าจำนวนสถานีงานที่ได้จากทุกสตริงคำตอบไม่เกินจำนวนสถานีงานที่กำหนดคือ 5 สถานี และเวลาทำงานของทุกสถานีงานไม่เกินระยะเวลาทำงานที่กำหนดคือไม่เกิน 360 นาที ไม่มีขั้นงานใดถูกจัดให้หลายสถานีงาน และทุกขั้นงานถูกจัดให้กับสถานีทำงานใดสถานีหนึ่งเท่านั้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมทำงานในขั้นตอนของการถอดรหัสสตริงคำตอบได้อย่างถูกต้อง

9) การเก็บค่าที่ดีที่สุดหลังจากมิวเตชั่น

ก่อนที่สตริงชุดใหม่ที่ได้ภายหลังการมิวเตชั่นทั้ง 5 ตัวจะถูกใช้เป็นสตริงพ่อแม่ในเจนเนอเรชั่นต่อไป โปรแกรมจะนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากการมิวเตชั่นไปเปรียบเทียบกับ Elite Preserve Solution ซึ่งหากสตริงที่ได้จากการมิวเตชั่นดีกว่าก็จะแทนที่สตริงที่เก็บไว้ด้วยสตริงที่ได้จากการมิวเตชั่น และในขณะเดียวกันหากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้หลังการมิวเตชั่นมีค่าแย่กว่า ก็เก็บสตริงคำตอบตัวเดิมไว้ และจะแทนที่สตริงคำตอบที่ตัวที่แย่ที่สุดด้วยของชุดสตริงที่ได้หลังการมิวเตชั่นด้วย Elite Preserve Solution ที่เก็บไว้ ก่อนที่สตริงคำตอบชุดนั้นจะเข้าสู่เจนเนอเรชั่นถัดไป จากการพิจารณาตารางที่ค-15 พบว่าสตริงคำตอบทั้งหมดให้ค่าที่ดีเท่ากันและเท่ากับค่าที่เก็บไว้ใน Elite Preserve Solution จึงไม่ต้อง

แทนที่สตริงคำตอบ และเมื่อพิจารณาจากผลที่ได้จากโปรแกรม จะได้ว่าภายหลังจากการพิจารณาเปรียบเทียบในขั้นตอนนี้ สตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่เก็บไว้คือ

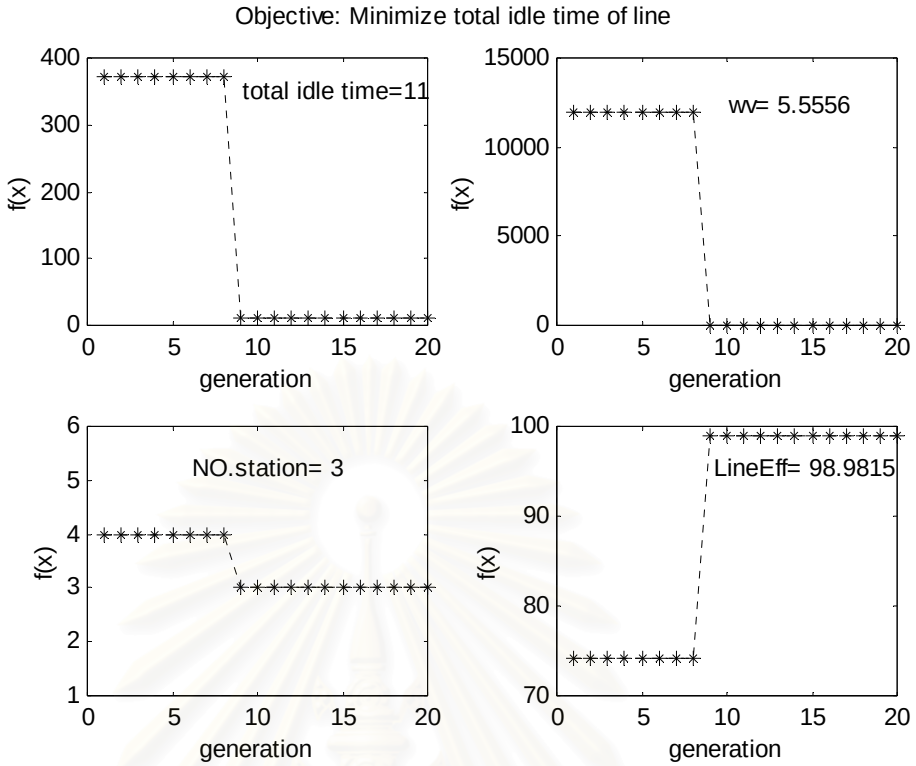
สตริงคำตอบ = [1 4 3 5 2 6 7 14 15 8 9 10 13 11 12]
สถานีงาน = [1 1 1 1 2 2 2 2 3 3 3 3 3 4 4]
จำนวนสถานีงาน = 4
เวลาว่างงานรวม = 371
ประสิทธิภาพสายการประกอบ = 74.2361
Workload Variance = 11943
ค่า Fitness = 1484

จากการพิจารณาสตริงที่โปรแกรมเก็บไว้เป็นสตริงตัวเดิมซึ่งตรงกับที่ได้วิเคราะห์ไว้ข้างต้น แสดงว่าโปรแกรมทำงานถูกต้องในขั้นตอนการเก็บค่าที่ดีที่สุดภายหลังการมิวเตชั่นได้อย่างถูกต้อง

ผลการทดสอบที่ผ่านมาทั้งหมด สามารถสรุปได้ว่าในแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายงานการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (MMAL) โปรแกรมสามารถดำเนินงานตามขั้นตอนของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมได้อย่างถูกต้อง

2.2 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อโปรแกรมทำงานตามวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมจนจบเจนเนอเรชั่นที่หนึ่งแล้ว สตริงคำตอบทั้ง 5 ที่ได้จะเป็นสตริงคำตอบเบื้องต้นหรือประชากรเบื้องต้นในเจนเนอเรชั่นต่อ จนครบเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่กำหนดคือ 20 เจนเนอเรชั่นซึ่งจะได้สตริงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชั่น ซึ่งสามารถแสดงในรูปกราฟที่ ค.2 ซึ่งแสดง ค่าเวลาว่างงานรวม จำนวนสถานี ค่าประสิทธิภาพสายการประกอบ และค่า wv ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละเจนเนอเรชั่น



รูปที่ *ค.2. กราฟแสดงค่าMeasure of performance ต่างๆ ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดเจนเนอเรชั่นที่ 1-20*

พิจารณาจากกราฟรูปที่ ค.2 จะเห็นว่าค่าเวลาว่างงานรวมของสตริงคำตอบซึ่งเป็นค่าวัตถุประสงค์เส้นกราฟมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งคือ 11 นาที นอกจากนี้เมื่อพิจารณาค่าอื่นๆ คือจำนวนสถานีงาน ค่าwv และประสิทธิภาพสายการประกอบมีแนวโน้มลู่เข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดค่าหนึ่งเช่นเดียว จึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถให้คำตอบที่ลู่เข้าหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

2.3 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรมในการหาคำตอบที่เหมาะสมและเป็นไปได้ที่ดีที่สุด

ในการตรวจสอบความถูกต้องในการหาคำตอบที่เหมาะสมและเป็นไปได้ดีที่สุดนั้นเราจะพิจารณาจากคำตอบที่ได้หลังรันโปรแกรมเสร็จ ซึ่งคำตอบที่ได้สำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างขนาด 15 ขั้นงานดังตารางที่ ค.16 และตารางที่ค.17

ตารางที่ค.16 *ผลการจัดสมดุลสายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างขนาด 15 ขั้นงานโดยวิธี GAs*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่าง (นาที)
1	1, 5, 2 , 4	2
2	3, 6, 14, 15	2
3	7, 8, 9, 10, 13, 11, 12	7
		11

ตารางที่ ค.17 *ค่า Measure of Performance ต่างๆ ของปัญหา 15 ขั้นงานที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานีงาน	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ค่า Workload Variance	ค่าประสิทธิภาพสายการประกอบ (%)
3	11	5.5556	98.98

พิจารณาตารางที่ ค.17 ผลการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างที่ได้พบว่าไม่ขัดกับหลักความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานและขั้นงานทุกงานถูกจัดให้กับสถานีทำงานใดสถานีทำงานหนึ่ง และไม่มีขั้นงานใดถูกจัดให้กับหลายสถานี และจำนวนสถานีงานทั้งหมดไม่เกินจำนวนสถานีงานสูงสุดที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมและเป็นไปได้ที่ดีที่สุด

ผลจากการทดสอบโปรแกรมทั้ง 3 ขั้นตอนสามารถสรุปได้ว่าโปรแกรมมีการทำงานที่ถูกต้องทั้งในด้านการดำเนินการตามวิธี GAs ความสามารถในการลู่เข้าหาคำตอบ และการหาคำตอบที่เป็นไปได้ที่เหมาะสมและดีที่สุด

3. การทดสอบความถูกต้องในการเปรียบเทียบคำตอบของวิธี GAs กับวิธีCOMSOAL

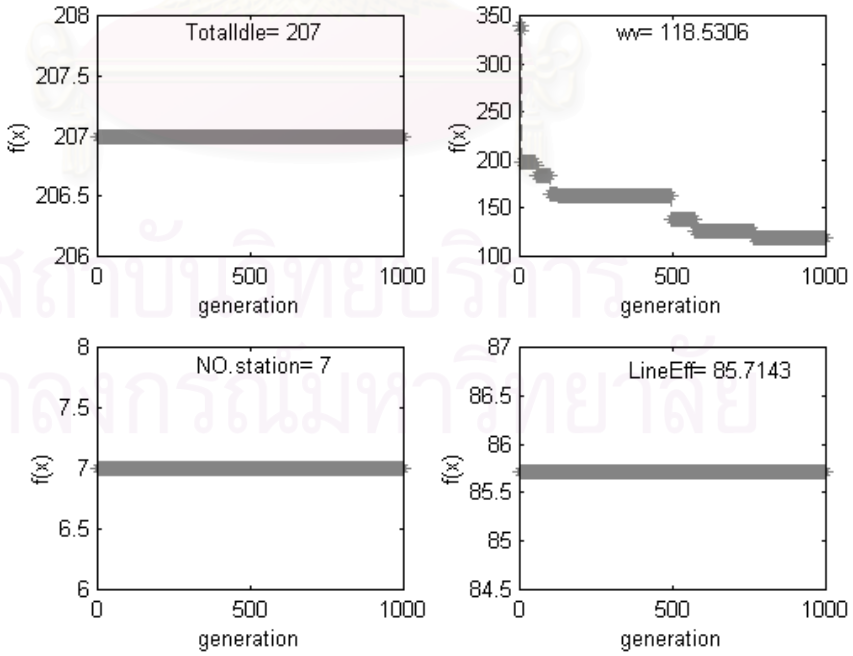
การทดสอบจะกระทำโดยการใช้ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงานโดยการทดลองเปลี่ยนระยะเวลาการทำงานจาก 420 นาทีเป็น 207 นาที

1. การหาคำตอบโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม (GAs)

สำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน โดยกำหนดระยะเวลาในการทำงาน(Period of Time) เท่ากับ 207 นาทีและกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องดังนี้คือ

จำนวนประชากร	10 ตัว
วิธีการครอสโอเวอร์แบบ	PMX
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ	0.9
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่นเท่ากับ	0.3
จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด	1000 เจนเนอเรชั่น

ผลการหาคำตอบโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม แสดงได้ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 1 *ผลการหาคำตอบโดยวิธี GAs ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน*

จากรูปที่ 1 เมื่อพิจารณาจากรูปกราฟจะเห็นว่า GAs มีความสามารถในการหาคำตอบ เนื่องจากสามารถพบคำตอบที่ดีตั้งแต่เจนเนอเรชั่นแรกค่า Measure of Performance ต่างๆมีแนวโน้มเข้าสู่ค่าที่ดีที่สุดอย่างรวดเร็ว

ผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงานโดยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (GAs) แสดงได้ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2

ตารางที่ 1 *ผลการจัดสมดุลสายการประกอบโดยวิธี GAs ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	2, 3	35
2	4, 5, 9, 10	33
3	8, 1, 6, 7	33
4	7, 11, 16	33
5	14, 18, 12	35
6	15,	3
7	13, 17, 19	35
รวม		207

ตารางที่ 2 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงานที่ได้จากวิธี GAs*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	เจนเนอเรชั่นที่พบคำตอบ
7	207	118.53	207	85.71	761

2. การหาคำตอบโดยวิธี COMSOAL

ผลการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงานโดยวิธี COMSOAL แสดงไว้ในตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 3 *ผลการจัดสมดุลสายงานประกอบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาตัวอย่าง ขนาด 19 ขั้นงาน โดยวิธี COMSOAL*

สถานีงานที่	ขั้นงาน	เวลาว่างงาน (นาที)
1	2, 4	15
2	5, 11, 13, 3, 8	3
3	1, 7	5
4	14, 9, 6, 10, 12	7
5	17, 18, 16	33
6	15	3
7	19	141
รวม		207

ตารางที่ 4 *ค่า Measure of Performance ต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน ที่ได้จากวิธี COMSOAL*

จำนวนสถานี	รอบเวลาการทำงาน (นาที)	Workload Variance	เวลาว่างงานรวม (นาที)	ประสิทธิภาพสายการผลิต(%)
7	207	2166.53	207	85.71

3. การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิต

การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการผลิตแบบผลิตภัณฑ์ผสมของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน โดยพิจารณาจากค่า Measure of Performance ของวิธี GAs กับ COMSOAL แสดงได้ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 *แสดงการเปรียบเทียบการหาคำตอบโดยวิธี GAs กับวิธี COMSOALสำหรับปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน*

ค่า Measure of Performance	วิธี GAs	วิธี COMSOAL
จำนวนสถานี	7	7
Workload Variance	118.53	2166.53
เวลาว่างงานรวม (นาที)	207	207
ประสิทธิภาพสายการผลิต (%)	85.71	85.71

จากตารางที่ 5 การเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากวิธี GAs กับ วิธี COMSOAL ของปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน นั้นเมื่อพิจารณาค่า Measure of Performance ต่างๆ จะได้ว่าทั้งสองวิธีให้จำนวนสถานี เวลาว่างงานรวม และประสิทธิภาพสายการผลิตเท่ากัน แต่คำตอบที่ได้จากวิธี GAs นั้นจะมีค่า Workload variance ที่ต่ำกว่าคำตอบจากวิธี COMSOAL ถึง 94.53% ซึ่งได้ผลเช่นเดียวกับปัญหาขนาด 19 ขั้นงานที่มีระยะเวลาทำงานเป็น 420 นาที แม้ระยะเวลาทำงานจะเปลี่ยนแปลงเป็น 207 นาที ดังนั้นจึงสามารถสรุปได้ว่าแม้ระยะเวลาในการทำงานมีการเปลี่ยนแปลงแต่วิธี GAs จะยังสามารถให้คำตอบที่เหมาะสมกว่าวิธี COMSOAL

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ง

ตารางที่ ง.1 ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชั้นงาน

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
1				0.2	2.6667	2.6667	74	265
2			0.8	0.3	2.6667	0	249	187
3				0.4	2.6667	0	5	97
4				0.2	2.6667	10.6667	46	89
5		1	0.9	0.3	10.6667	2.6667	9	78
6				0.4	0	0	84	290
7				0.2	2.6667	0	68	211
8			1.0	0.3	2.6667	0	2	293
9				0.4	0	2.6667	185	133
10				0.2	0	2.6667	40	249
11			0.8	0.3	0	0	244	113
12				0.4	0	0	107	177
13				0.2	2.6667	2.6667	6	179
14		2	0.9	0.3	0	0	23	4
15				0.4	0	0	63	2
16				0.2	0	2.6667	234	149
17			1	0.3	0	0	181	18
18				0.4	2.6667	0	1	6
19			0.8	0.2	2.6667	10.6667	176	31
20				0.3	0	0	110	254
21				0.4	0	2.6667	113	10
22			0.9	0.2	2.6667	0	121	108
23	10	3		0.3	0	2.6667	266	135
24				0.4	0	2.6667	262	66
25			1	0.2	2.6667	2.6667	255	152
26				0.3	2.6667	0	66	63
27				0.4	0	0	44	41
28				0.2	0	0	18	5
29			0.8	0.3	0	0	4	31
30				0.4	0	0	42	15
31				0.2	0	0	15	6
32		4	0.9	0.3	0	0	23	15
33				0.4	0	0	10	6
34				0.2	0	0	3	5
35			1	0.3	0	0	6	5
36				0.4	0	0	8	31
37				0.2	8	0	190	233
38			0.8	0.3	2.6667	0	20	68
39				0.4	0	0	91	109
40				0.2	2.6667	2.6667	235	99
41		5	0.9	0.3	0	0	149	234
42				0.4	2.6667	0	62	123
43				0.2	2.6667	0	159	100
44			1	0.3	0	0	257	81
45				0.4	0	0	247	36

ตารางที่ ง.1 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน (ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
46	15	1	0.8	0.2	0	2.6667	132	15
47				0.3	2.6667	0	103	168
48				0.4	0	0	71	11
49			0.9	0.2	2.6667	0	138	116
50				0.3	0	0	89	44
51				0.4	0	0	59	187
52			1.0	0.2	2.6667	2.6667	59	1
53				0.3	0	2.6667	28	7
54				0.4	2.6667	0	13	137
55		2	0.8	0.2	2.6667	2.6667	12	4
56				0.3	0	0	4	7
57				0.4	0	2.6667	260	8
58			0.9	0.2	2.6667	0	3	123
59				0.3	0	0	117	120
60				0.4	0	0	24	5
61			1	0.2	2.6667	0	11	152
62				0.3	0	0	161	161
63				0.4	0	0	1	21
64		3	0.8	0.2	0	2.6667	78	228
65				0.3	0	0	85	182
66				0.4	2.6667	0	90	123
67			0.9	0.2	0	2.6667	2	27
68				0.3	0	0	5	3
69				0.4	0	0	9	58
70			1.0	0.2	2.6667	10.6667	43	2
71				0.3	2.6667	0	11	173
72				0.4	0	2.6667	294	61
73		4	0.8	0.2	0	0	12	5
74				0.3	0	0	1	5
75				0.4	0	0	7	20
76			0.9	0.2	0	0	20	12
77				0.3	0	0	2	1
78				0.4	0	0	4	1
79			1	0.2	0	0	6	5
80				0.3	0	0	5	6
81				0.4	0	0	19	2
82		5	0.8	0.2	0	2.6667	133	1
83				0.3	0	2.6667	40	130
84				0.4	2.6667	0	52	159
85			0.9	0.2	0	0	141	244
86				0.3	0	0	1	157
87				0.4	0	0	27	159
88			1	0.2	2.6667	0	55	262
89				0.3	0	0	141	64
90				0.4	0	0	122	173

ตารางที่ ง.1 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ขั้นงาน (ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
91	20	1	0.8	0.2	0	0	5	62
92				0.3	0	0	176	3
93				0.4	2.667	0	4	5
94			0.9	0.2	0	0	148	123
95				0.3	0	0	2	105
96				0.4	0	0	28	1
97			1.0	0.2	2.6667	2.667	83	9
98				0.3	0	0	34	27
99				0.4	2.6667	0	66	217
100		2	0.8	0.2	0	0	248	83
101				0.3	0	0	11	124
102				0.4	0	0	38	83
103			0.9	0.2	0	2.6667	33	5
104				0.3	0	2.6667	62	1
105				0.4	0	0	103	8
106			1	0.2	0	0	11	1
107				0.3	0	0	101	2
108				0.4	0	0	12	5
109		3	0.8	0.2	0	0	142	207
110				0.3	2.6667	0	141	15
111				0.4	0	0	2	27
112			0.9	0.2	2.6667	0	207	204
113				0.3	2.6667	0	83	12
114				0.4	0	0	119	185
115			1	0.2	0	0	83	16
116				0.3	0	0	144	90
117				0.4	0	0	15	179
118		4	0.8	0.2	0	0	5	4
119				0.3	0	0	1	6
120				0.4	0	0	14	11
121			0.9	0.2	0	0	1	11
122				0.3	0	0	4	4
123				0.4	0	0	2	1
124			1	0.2	0	0	28	8
125				0.3	0	0	10	9
126				0.4	0	0	23	3
127		5	0.8	0.2	0	2.6667	6	37
128				0.3	0	0	263	4
129				0.4	0	0	223	184
130			0.9	0.2	0	2.6667	1	11
131				0.3	0	2.6667	296	4
132				0.4	0	2.6667	106	30
133			1	0.2	2.6667	0	15	162
134				0.3	0	0	152	289
135				0.4	2.6667	0	15	87

ตารางที่ ง.2 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
1	10	1	0.8	0.2	186.595	156.595	1095	924
2				0.3	169.868	197.868	644	147
3				0.4	215.868	183.868	258	1095
4			0.9	0.2	196.777	176.413	1191	1027
5				0.3	179.686	167.868	1169	937
6				0.4	188.050	168.231	724	1200
7			1.0	0.2	606.889	245.322	891	728
8				0.3	175.686	202.050	1109	639
9				0.4	182.777	171.504	773	810
10		2	0.8	0.2	456.222	158.777	957	1039
11				0.3	166.050	160.413	1081	1055
12				0.4	184.959	159.686	67	886
13			0.9	0.2	161.322	158.777	860	660
14				0.3	164.231	210.595	1090	897
15				0.4	242.413	222.777	446	1084
16			1	0.2	478.556	164.050	924	399
17				0.3	169.140	208.413	292	1098
18				0.4	158.777	169.686	522	1049
19		3	0.8	0.2	236.595	153.140	1127	591
20				0.3	183.140	163.322	765	895
21				0.4	159.686	309.686	1186	911
22			0.9	0.2	185.868	240.959	911	947
23				0.3	174.050	184.231	1079	500
24				0.4	239.322	170.595	213	525
25			1	0.2	201.868	177.322	994	860
26				0.3	192.959	238.777	873	1113
27				0.4	247.322	224.959	1098	666
28		4	0.8	0.2	184.959	192.595	308	1084
29				0.3	181.686	189.686	247	914
30				0.4	201.504	223.688	538	600
31			0.9	0.2	190.413	184.413	1130	1058
32				0.3	163.686	349.140	421	462
33				0.4	201.322	171.868	332	846
34			1	0.2	198.050	276.050	479	865
35				0.3	144.777	172.050	432	728
36				0.4	139.222	170.050	979	555
37		5	0.8	0.2	166.231	262.231	808	334
38				0.3	188.231	162.413	948	803
39				0.4	193.686	180.050	204	864
40			0.9	0.2	202.777	171.504	1090	885
41				0.3	174.231	199.686	1195	671
42				0.4	194.413	166.231	145	834
43			1	0.2	167.868	170.595	976	415
44				0.3	171.504	252.413	429	473
45				0.4	172.777	209.868	688	397

ตารางที่ ง.2 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน(ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
46	15	1	0.8	0.2	162.413	164.050	669	1078
47				0.3	198.413	158.050	126	1018
48				0.4	155.868	168.231	693	166
49			0.9	0.2	158.777	162.595	592	898
50				0.3	153.868	150.959	1029	104
51				0.4	190.777	199.322	493	332
52			1.0	0.2	196.959	188.050	726	218
53				0.3	177.322	153.868	289	1072
54				0.4	184.231	170.050	458	897
55		2	0.8	0.2	164.595	178.777	1136	1197
56				0.3	158.050	234.231	751	631
57				0.4	163.322	160.413	644	202
58			0.9	0.2	150.959	160.959	252	587
59				0.3	150.959	184.413	766	1016
60				0.4	180.595	181.504	210	1178
61			1	0.2	177.322	160.959	1004	706
62				0.3	159.686	158.777	1069	313
63				0.4	170.050	158.777	134	690
64		3	0.8	0.2	220.231	259.868	1081	700
65				0.3	152.959	158.777	652	706
66				0.4	163.222	176.231	1132	866
67			0.9	0.2	346.959	183.140	744	826
68				0.3	147.686	150.959	687	1052
69				0.4	177.868	168.050	1182	632
70			1.0	0.2	163.322	450.889	1174	642
71				0.3	166.050	169.868	1184	597
72				0.4	171.504	170.050	1045	374
73		4	0.8	0.2	219.322	152.413	662	662
74				0.3	176.595	192.413	757	757
75				0.4	138.959	145.504	760	760
76			0.9	0.2	161.504	147.322	716	716
77				0.3	170.777	190.595	189	189
78				0.4	161.140	207.322	1149	1149
79			1	0.2	179.322	86.595	1099	1099
80				0.3	201.686	160.413	363	363
81				0.4	180.959	130.959	578	578
82		5	0.8	0.2	174.777	169.140	716	615
83				0.3	173.140	158.777	189	769
84				0.4	183.868	200.413	771	243
85			0.9	0.2	150.050	163.322	863	1068
86				0.3	167.868	153.140	295	1146
87				0.4	188.050	166.231	381	975
88			1	0.2	188.595	163.322	1049	915
89				0.3	270.595	166.959	729	699
90				0.4	180.231	163.322	614	878

ตารางที่ ง.2 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 49 ขั้นงาน (ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
91	20	1	0.8	0.2	162.595	155.868	924	816
92				0.3	158.777	150.959	204	1136
93				0.4	163.322	159.868	699	727
94			0.9	0.2	204.777	162.595	1019	599
95				0.3	158.777	149.504	733	1128
96				0.4	189.140	175.322	1090	10
97			1.0	0.2	151.686	151.140	1074	1046
98				0.3	153.686	160.959	636	345
99				0.4	171.868	218.959	227	463
100		2	0.8	0.2	151.140	151.686	524	795
101				0.3	156.413	181.686	420	383
102				0.4	177.140	160.959	861	305
103			0.9	0.2	167.868	164.595	961	829
104				0.3	150.050	149.322	975	1129
105				0.4	171.504	176.231	929	1020
106			1	0.2	155.504	159.868	391	986
107				0.3	158.050	160.959	255	1008
108				0.4	144.777	163.322	1123	863
109		3	0.8	0.2	155.322	325.868	1185	1117
110				0.3	163.504	159.686	1105	631
111				0.4	160.413	150.959	923	183
112			0.9	0.2	163.504	151.686	1130	1078
113				0.3	158.231	152.231	1041	1181
114				0.4	170.595	159.686	1103	456
115			1	0.2	158.777	175.140	568	551
116				0.3	159.686	159.686	834	229
117				0.4	188.231	174.413	968	257
118		4	0.8	0.2	160.050	165.868	1125	390
119				0.3	159.504	181.322	1157	1194
120				0.4	193.140	178.231	703	932
121			0.9	0.2	181.504	173.322	1106	707
122				0.3	184.595	153.140	146	330
123				0.4	177.140	206.231	96	120
124			1	0.2	197.504	152.777	879	623
125				0.3	186.777	146.050	197	339
126				0.4	196.413	152.413	1150	527
127		5	0.8	0.2	175.140	164.413	1187	1021
128				0.3	164.050	175.140	946	145
129				0.4	199.868	206.231	889	77
130			0.9	0.2	165.140	166.959	361	364
131				0.3	231.504	162.413	191	333
132				0.4	183.140	228.231	175	946
133			1	0.2	150.959	180.595	589	218
134				0.3	159.686	162.413	1075	553
135				0.4	163.504	180.231	39	135

ตารางที่ ง.3 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
1	10	1	0.8	0.2	191.118	239.379	694	727
2				0.3	194.22	226.743	535	482
3				0.4	234.101	200.339	727	727
4			0.9	0.2	178.754	224.498	578	618
5				0.3	207.663	160.271	526	792
6				0.4	206.015	239.339	484	10
7			1.0	0.2	232.731	220.913	676	380
8				0.3	206.839	196.498	90	622
9				0.4	228.084	199.487	648	318
10		2	0.8	0.2	179.311	270.726	783	671
11				0.3	177.55	182.646	693	775
12				0.4	192.964	189.873	181	386
13			0.9	0.2	188.584	190.243	785	481
14				0.3	170.476	174.856	615	792
15				0.4	232.356	187.669	392	392
16			1	0.2	210.078	224.248	668	777
17				0.3	200.14	216.714	771	484
18				0.4	195.288	184.243	293	169
19		3	0.8	0.2	276.351	246.106	284	530
20				0.3	176.584	219.152	783	350
21				0.4	252.22	225.925	625	663
22			0.9	0.2	246.379	269.089	721	453
23				0.3	235.959	175.294	544	314
24				0.4	263.692	194.459	761	501
25			1	0.2	181.709	215.885	565	693
26				0.3	180.3	229.856	727	719
27				0.4	192.47	270.402	761	202
28		4	0.8	0.2	308.856	254.004	154	500
29				0.3	258.072	233.839	653	250
30				0.4	256.243	269.754	402	792
31			0.9	0.2	202.998	262.231	565	388
32				0.3	182.658	213.243	464	267
33				0.4	250.243	256.118	772	229
34			1	0.2	229.498	243.902	656	531
35				0.3	289.3	156.118	754	530
36				0.4	208.055	242.402	441	425
37		5	0.8	0.2	279.43	179.703	547	667
38				0.3	200.515	176.89	191	668
39				0.4	209.919	276.072	673	101
40			0.9	0.2	193.839	307.822	594	280
41				0.3	246.385	240.89	105	251
42				0.4	272.692	233.158	765	124
43			1	0.2	276.565	195.356	407	714
44				0.3	228.254	229.39	165	767
45				0.4	220.663	216.152	244	364

ตารางที่ ง.3 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน(ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
46	20	1	0.8	0.2	510.768	512.361	412	750
47				0.3	496.169	553.751	354	395
48				0.4	535.732	455.133	447	81
49			0.9	0.2	521.634	501.779	762	520
50				0.3	472.635	509.255	616	549
51				0.4	492.072	569.484	256	212
52			1.0	0.2	406.497	454.842	626	429
53				0.3	487.55	444.813	733	797
54				0.4	481.639	504.065	132	322
55		2	0.8	0.2	393.381	429.958	695	675
56				0.3	391.346	403.642	495	475
57				0.4	480.446	455.839	162	588
58			0.9	0.2	477.965	494.681	787	462
59				0.3	477.769	431.312	577	730
60				0.4	533.609	464.291	571	590
61			1	0.2	390.03	435.645	706	696
62				0.3	422.203	499.925	701	794
63				0.4	505.256	539.855	409	274
64		3	0.8	0.2	538.017	564.564	720	725
65				0.3	549.088	428.973	351	670
66				0.4	476.578	432.994	108	783
67			0.9	0.2	493.399	630.6	707	776
68				0.3	531.727	575.093	461	335
69				0.4	503.273	539.596	591	344
70			1.0	0.2	436.119	438.707	406	797
71				0.3	436.537	454.27	703	559
72				0.4	546.054	564.459	713	727
73		4	0.8	0.2	498.187	620.781	505	230
74				0.3	517.845	576.744	89	584
75				0.4	579.388	632.372	66	596
76			0.9	0.2	616.619	660.265	673	239
77				0.3	516.153	645.787	575	246
78				0.4	630.588	551.786	229	690
79			1	0.2	573.111	627.497	756	785
80				0.3	606.439	602.192	718	661
81				0.4	550.375	559.432	616	334
82		5	0.8	0.2	396.837	415.412	723	706
83				0.3	595.106	547.349	164	475
84				0.4	532.892	554.804	787	687
85			0.9	0.2	402.105	402.606	246	583
86				0.3	520.888	538.828	208	295
87				0.4	582.908	482.328	713	266
88			1	0.2	544.603	493.802	773	772
89				0.3	503.768	551.866	72	574
90				0.4	584.252	585.958	37	472

ตารางที่ ง.3 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 114 ขั้นงาน(ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
91	30	1	0.8	0.2	574.243	652.332	617	311
92				0.3	412.944	399.178	565	595
93				0.4	453.687	482.923	756	428
94			0.9	0.2	567.944	504.199	511	743
95				0.3	438.784	500.855	475	648
96				0.4	516.559	439.698	560	631
97			1.0	0.2	425.458	644.891	640	748
98				0.3	388.559	433.638	451	584
99				0.4	478.777	463.675	526	521
100		2	0.8	0.2	403.684	393.788	625	692
101				0.3	394.286	414.894	750	667
102				0.4	422.388	531.169	657	104
103			0.9	0.2	416.439	393.41	688	790
104				0.3	386.714	375.503	697	800
105				0.4	506.151	457.977	654	122
106			1	0.2	450.29	434.019	556	737
107				0.3	394.395	398.77	487	209
108				0.4	490.766	484.306	141	292
109		3	0.8	0.2	450.307	468.48	595	785
110				0.3	459.018	422.632	125	525
111				0.4	529.338	447.731	176	399
112			0.9	0.2	451.995	549.625	752	588
113				0.3	395.428	442.126	664	541
114				0.4	450.525	490.061	621	178
115			1	0.2	578.992	457.845	678	525
116				0.3	491.149	418.949	786	741
117				0.4	452.072	563.806	592	796
118		4	0.8	0.2	520.772	570.536	199	719
119				0.3	594.901	557.201	123	420
120				0.4	577.138	586.244	648	31
121			0.9	0.2	549.892	650.839	381	761
122				0.3	512.232	654.092	489	383
123				0.4	503.276	605.203	278	709
124			1	0.2	581.24	649.61	382	150
125				0.3	498.759	603.073	744	517
126				0.4	571.489	537.479	762	692
127		5	0.8	0.2	413.983	403.75	303	773
128				0.3	450.056	576.628	482	144
129				0.4	520.229	562.188	148	602
130			0.9	0.2	382.861	449.991	717	683
131				0.3	556.713	426.033	205	342
132				0.4	623.132	461.455	424	552
133			1	0.2	460.737	503.271	409	756
134				0.3	519.176	600.163	315	129
135				0.4	558.264	557.313	621	499

ตารางที่ ง.4 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
1	10	1	0.8	0.2	191.118	239.379	694	727
2				0.3	194.22	226.743	535	482
3				0.4	234.101	200.339	727	727
4			0.9	0.2	178.754	224.498	578	618
5				0.3	207.663	160.271	526	792
6				0.4	206.015	239.339	484	10
7			1.0	0.2	232.731	220.913	676	380
8				0.3	206.839	196.498	90	622
9				0.4	228.084	199.487	648	318
10		2	0.8	0.2	179.311	270.726	783	671
11				0.3	177.55	182.646	693	775
12				0.4	192.964	189.873	181	386
13			0.9	0.2	188.584	190.243	785	481
14				0.3	170.476	174.856	615	792
15				0.4	232.356	187.669	392	392
16			1	0.2	210.078	224.248	668	777
17				0.3	200.14	216.714	771	484
18				0.4	195.288	184.243	293	169
19		3	0.8	0.2	276.351	246.106	284	530
20				0.3	176.584	219.152	783	350
21				0.4	252.22	225.925	625	663
22			0.9	0.2	246.379	269.089	721	453
23				0.3	235.959	175.294	544	314
24				0.4	263.692	194.459	761	501
25			1	0.2	181.709	215.885	565	693
26				0.3	180.3	229.856	727	719
27				0.4	192.47	270.402	761	202
28		4	0.8	0.2	308.856	254.004	154	500
29				0.3	258.072	233.839	653	250
30				0.4	256.243	269.754	402	792
31			0.9	0.2	202.998	262.231	565	388
32				0.3	182.658	213.243	464	267
33				0.4	250.243	256.118	772	229
34			1	0.2	229.498	243.902	656	531
35				0.3	289.3	156.118	754	530
36				0.4	208.055	242.402	441	425
37		5	0.8	0.2	279.43	179.703	547	667
38				0.3	200.515	176.89	191	668
39				0.4	209.919	276.072	673	101
40			0.9	0.2	193.839	307.822	594	280
41				0.3	246.385	240.89	105	251
42				0.4	272.692	233.158	765	124
43			1	0.2	276.565	195.356	407	714
44				0.3	228.254	229.39	165	767
45				0.4	220.663	216.152	244	364

ตารางที่ ง.4 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
46	20	1	0.8	0.2	151.959	157.186	454	655
47				0.3	166.703	142.788	427	790
48				0.4	213.447	156.72	217	464
49			0.9	0.2	206.072	182.743	619	666
50				0.3	155.686	169.612	800	570
51				0.4	196.072	196.254	561	173
52			1.0	0.2	172.459	236.675	46	632
53				0.3	163.214	195.106	437	344
54				0.4	183.856	184.459	361	602
55		2	0.8	0.2	171.669	212.351	634	741
56				0.3	213.192	188.925	611	369
57				0.4	231.084	223.959	746	592
58			0.9	0.2	199.748	156.8	627	707
59				0.3	158.248	172.231	512	302
60				0.4	230.442	175.726	645	517
61			1	0.2	167.987	174.788	781	592
62				0.3	213.095	178.186	534	778
63				0.4	238.481	215.05	724	428
64		3	0.8	0.2	222.379	183.913	790	530
65				0.3	155.192	182.584	299	755
66				0.4	199.697	203.55	650	543
67			0.9	0.2	228.322	190.436	614	527
68				0.3	227.385	186.862	575	263
69				0.4	211.584	228.788	171	761
70			1.0	0.2	201.089	234.868	738	670
71				0.3	156.265	219.464	672	800
72				0.4	192.538	203.112	344	773
73		4	0.8	0.2	226.612	218.294	776	252
74				0.3	229.135	221.385	616	477
75				0.4	220.265	220.998	755	340
76			0.9	0.2	267.964	204.533	758	376
77				0.3	238.635	255.487	684	375
78				0.4	217.22	269.447	377	642
79			1	0.2	222.288	221.612	475	567
80				0.3	204.896	224.913	254	771
81				0.4	222.078	232.817	346	109
82		5	0.8	0.2	142.356	175.425	790	590
83				0.3	168.351	220.981	727	132
84				0.4	244.993	223.453	77	572
85			0.9	0.2	210.152	185.243	592	495
86				0.3	212.976	197.993	303	738
87				0.4	238.089	239.112	74	88
88			1	0.2	194.93	146.038	203	683
89				0.3	193.3	187.294	627	93
90				0.4	266.601	214.158	266	727

ตารางที่ ง.4 *ผลที่ได้จากการทดลองใช้ GAs หาคำตอบของปัญหาตัวอย่างขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)*

NO.	p_size	crosstype	Pc	Pm	wv		NO.gen	
					Rep.1	Rep.2	Rep.1	Rep.2
91	30	1	0.8	0.2	177.726	187.544	331	535
92				0.3	192.561	215.351	740	755
93				0.4	194.453	193.68	662	108
94			0.9	0.2	175.283	187.93	238	596
95				0.3	178.311	169.527	784	348
96				0.4	180.072	214.76	788	174
97			1.0	0.2	208.822	188.919	768	625
98				0.3	156.044	192.26	791	326
99				0.4	202.408	170.26	382	607
100		2	0.8	0.2	212.43	212.43	572	572
101				0.3	145.413	145.413	257	257
102				0.4	208.42	207.578	635	731
103			0.9	0.2	147.004	169.589	724	786
104				0.3	175.447	181.885	338	167
105				0.4	169.993	206.998	348	360
106			1	0.2	157.373	174.726	349	636
107				0.3	168.873	168.873	241	241
108				0.4	205.856	203.419	97	579
109		3	0.8	0.2	183.896	183.834	758	66
110				0.3	194.731	162.913	795	631
111				0.4	215.22	193.481	644	753
112			0.9	0.2	211.726	199.765	374	767
113				0.3	198.493	168.561	786	748
114				0.4	207.765	211.896	104	789
115			1	0.2	177.055	165.481	651	187
116				0.3	263.067	245.845	581	490
117				0.4	229.919	187.152	775	235
118		4	0.8	0.2	231.231	181.334	325	523
119				0.3	229.714	237.027	425	285
120				0.4	241.118	225.856	118	302
121			0.9	0.2	156.783	222.663	678	246
122				0.3	235.464	252.231	469	656
123				0.4	248.822	249.981	174	234
124			1	0.2	203.68	249.981	715	238
125				0.3	248.601	221.697	433	583
126				0.4	193.595	223.101	252	756
127		5	0.8	0.2	169.01	147.231	345	791
128				0.3	194.629	259.106	97	746
129				0.4	228.106	241.703	260	674
130			0.9	0.2	160.135	147.305	538	793
131				0.3	225.3	229.76	225	524
132				0.4	227.515	238.033	365	263
133			1	0.2	177.504	210.379	152	245
134				0.3	219.067	225.976	260	528
135				0.4	243.044	245.612	221	327

ภาคผนวก จ

Duncan's Multiple Range Test

ปัญหาขนาด 19 ขั้นงาน

Response = Workload Variance

จำนวนประชากร

Population Size	N	Subset*	
		1	2
20	90	0.444457	
15	90	0.770379	
10	90		1.244456
Sig.		0.158	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2.397.

Alpha = .05.

วิธีการครอสโอเวอร์

Crossover Type	N	Subset*		
		1	2	3
OX	54	0		
PMX	54		0.5926	
PBX	54		0.888898	0.888898
CX	54			1.23458
MOX	54			1.382741
Sig.		1	0.32	0.118

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2.397.

Alpha = .05.

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Pm	N	Subset*	
		1	2
0.4	90	0.444453	
0.3	90	0.533339	
0.2	90		1.481499
Sig.		0.7	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2.397.

Alpha = .05.

จำนวนประชากร กับ ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์

Population Size * PC	N	Subset*		
		1	2	3
pop15pc0.9	30	0.267		
pop20pc0.8	30	0.267		
pop20pc0.1	30	0.444	0.444	
pop20pc0.9	30	0.622	0.622	
pop10pc1.0	30	0.800	0.800	0.800
pop15pc0.8	30	0.889	0.889	0.889
pop15pc0.1	30	1.156	1.156	1.156
pop10pc0.8	30		1.333	1.333
pop10pc0.9	30			1.600
Sig.		0.054	0.050	0.074

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2.397.

Alpha = .05.

ปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน

Response = Workload Variance

จำนวนประชากร

Population Size	N	Subset*	
		1	2
20	90	170.601	
15	90	177.015	
10	90		202.138
Sig.		0.377	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2369.594..

Alpha = .05.

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

PM	N	Subset*	
		1	2
0.3	90	174.827	
0.4	90	181.371	181.371
0.2	90		193.557
Sig.		0.367	0.093

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2369.594..

Alpha = .05.

สำนักวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน

Response = Workload Variance

จำนวนประชากร

Population Size	N	Subset*		
		1	2	3
30	90	493.303		
20	90		511.992	
10	90			536.468
Sig.		1.000	1.000	1.000

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2536.158

Alpha = .05.

วิธีการครอสโอเวอร์

Crossover Type	N	Subset*		
		1	2	3
PMX	54	455.482		
MOX	54		507.846	
PBX	54		508.061	
CX	54		509.517	
OX	54			588.699
Sig.		1.000	0.872	1.000

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2536.158

Alpha = .05.

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Pm	N	Subset*	
		1	2
0.3	90	495.122	
0.2	90		520.066
0.4	90		526.574
Sig.		1.000	0.386

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2536.158

Alpha = .05.

จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pop* Pm)

POP_PM	N	Subset*				
		1	2	3	4	5
pop30pm0.3	30	470.562				
pop20pm0.2	30		496.092			
pop30pm0.2	30		498.514			
pop10pm0.3	30		505.170	505.170		
pop20pm0.3	30		509.634	509.634		
pop30pm0.4	30		510.834	510.834		
pop20pm0.4	30			530.249	530.249	
pop10pm0.4	30				538.641	
pop10pm0.2	30					565.592
Sig.		1.000	0.322	0.078	0.519	1.000

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 2536.158

Alpha = .05.

ปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน

Response = Workload Variance

จำนวนประชากร

Population Size	N	Subset*	
		1	2
30	90	201.00806	
20	90	202.32509	
10	90		221.2002
Sig.		0.735	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 679.653

Alpha = .05.

วิธีการครอสโอเวอร์

Crossover Type	N	Subset*		
		1	2	3
PMX	54	192.59037		
MOX	54	192.66507		
CX	54		208.901111	
PBX	54		215.454722	
OX	54			231.27763
Sig.		0.988	0.191	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 679.653

Alpha = .05.

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Pm	N	Subset*	
		1	2
0.3	90	200.82342	
0.2	90	204.8125	
0.4	90		218.897422
Sig.		0.305	1

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 679.653

Alpha = .05.

จำนวนประชากรกับความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น (Pop* Pm)

POP*PM	N	Subset*				
		1	2	3	4	5
pop30pm0.2	30	185.959				
pop20pm0.3	30	192.822	192.822			
pop20pm0.2	30	197.802	197.802			
pop30pm0.3	30		203.405	203.405		
pop10pm0.3	30		206.244	206.244		
pop30pm0.4	30			213.661	213.661	
pop20pm0.4	30			216.352	216.352	
pop10pm0.4	30				226.680	226.680
pop10pm0.2	30					230.677
Sig.		0.096	0.068	0.079	0.067	0.553

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 679.653

Alpha = .05.

วิธีการครอสโอเวอร์ * ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

Crossovertype*Pm	N	Subset						
		1	2	3	4	5	6	7
PMX*pm0.3	18	178.707						
MOX*pm0.3	18	182.744	182.744					
PMX*pm0.2	18	193.736	193.736	193.736				
PBX*pm0.2	18	194.357	194.357	194.357				
MOX9pm0.2	18	195.595	195.595	195.595	195.595			
CX*pm0.3	18		198.806	198.806	198.806	198.806		
MOX*pm0.4	18		199.656	199.656	199.656	199.656		
PMX*pm0.4	18			205.328	205.328	205.328		
CX*pm0.2	18			212.127	212.127	212.127	212.127	
PBX*pm0.3	18				214.281	214.281	214.281	
CX*pm0.4	18					215.771	215.771	
OX*pm0.2	18						228.248	228.248
OX*pm0.3	18						229.579	229.579
OX*pm0.4	18							236.006
PBX*pm0.4	18							237.726
Sig.		0.083	0.089	0.068	0.059	0.088	0.073	0.327

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 679.653

Alpha = .05.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Response = No.generation

วิธีการครอสโอเวอร์ * ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น

CROSSTYPE*Pm	N	Subset*	
		1	2
PMX*pm0.3	12	383.92	
MOX*pm0.2	12	513.75	513.75
MOX*pm0.3	12		592.67
PMX*pm0.2	12		643.42
Sig.		0.085	0.102

* Means for groups in homogeneous subsets are displayed.

Mean Square(Error) = 31402.563

Alpha = .05.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.2 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
15	MOX	0.8	0.3	178.23	572
			0.4	162.05	430
			Total	170.14	501
		0.9	0.3	152.41	567
			0.4	195.05	413
			Total	173.73	490
		1	0.3	165.60	681
			0.4	177.14	678
			Total	171.37	679
		Total	0.3	165.41	606
			0.4	178.08	507
			Total	171.75	556
	PMX	0.8	0.3	196.14	691
			0.4	161.87	423
			Total	179.00	557
		0.9	0.3	167.69	891
			0.4	181.05	694
			Total	174.37	793
		1	0.3	159.23	691
			0.4	164.41	412
			Total	161.82	552
		Total	0.3	174.35	758
			0.4	169.11	510
			Total	171.73	634
	CX	0.8	0.3	155.87	679
			0.4	169.73	999
			Total	162.80	839
		0.9	0.3	149.32	870
			0.4	172.96	907
			Total	161.14	888
		1	0.3	167.96	891
			0.4	170.78	710
			Total	169.37	800
		Total	0.3	157.72	813
			0.4	171.15	872
			Total	164.44	842

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
15	OX	0.8	0.3	184.50	757
			0.4	142.23	760
			Total	163.37	759
		0.9	0.3	180.69	189
			0.4	184.23	1149
			Total	182.46	669
		1	0.3	181.05	363
			0.4	155.96	578
			Total	168.50	471
		Total	0.3	182.08	436
			0.4	160.81	829
			Total	171.44	633
	PBX	0.8	0.3	165.96	479
			0.4	192.14	507
			Total	179.05	493
		0.9	0.3	160.50	721
			0.4	177.14	678
			Total	168.82	699
		1	0.3	218.78	714
			0.4	171.78	746
			Total	195.28	730
		Total	0.3	181.75	638
			0.4	180.35	644
			Total	181.05	641
	Total	0.8	0.3	176.14	636
			0.4	165.60	624
			Total	170.87	630
		0.9	0.3	162.12	647
			0.4	182.09	768
			Total	172.10	708
		1	0.3	178.52	668
			0.4	168.01	625
			Total	173.27	646
		Total	0.3	172.26	650
			0.4	171.90	672
			Total	172.08	661

ตารางที่ ฉ.2 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน(ต่อ

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
20	MOX	0.8	0.3	154.87	670
			0.4	161.60	713
			Total	158.23	692
		0.9	0.3	154.14	931
			0.4	182.23	550
			Total	168.19	740
		1	0.3	157.32	491
			0.4	195.41	345
			Total	176.37	418
		Total	0.3	155.44	697
			0.4	179.75	536
			Total	167.60	617
	PMX	0.8	0.3	169.05	402
			0.4	169.05	583
			Total	169.05	492
		0.9	0.3	149.69	1052
			0.4	173.87	975
			Total	161.78	1013
		1	0.3	159.50	632
			0.4	154.05	993
			Total	156.78	812
		Total	0.3	159.41	695
			0.4	165.66	850
			Total	162.53	773
	CX	0.8	0.3	161.60	868
			0.4	155.69	553
			Total	158.64	711
		0.9	0.3	155.23	1111
			0.4	165.14	780
			Total	160.19	945
		1	0.3	159.69	532
			0.4	181.32	613
			Total	170.50	572
		Total	0.3	158.84	837
			0.4	167.38	648
			Total	163.11	743

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
20	OX	0.8	0.3	170.41	1176
			0.4	185.69	818
			Total	178.05	997
		0.9	0.3	168.87	238
			0.4	191.69	108
			Total	180.28	173
		1	0.3	166.41	268
			0.4	174.41	839
			Total	170.41	553
		Total	0.3	168.56	561
			0.4	183.93	588
			Total	176.25	574
	PBX	0.8	0.3	169.60	546
			0.4	203.05	483
			Total	186.32	514
		0.9	0.3	196.96	262
			0.4	205.69	561
			Total	201.32	411
		1	0.3	161.05	814
			0.4	171.87	87
			Total	166.46	451
		Total	0.3	175.87	541
			0.4	193.53	377
			Total	184.70	459
	Total	0.8	0.3	165.10	732
			0.4	175.01	630
			Total	170.06	681
		0.9	0.3	164.98	719
			0.4	183.72	595
			Total	174.35	657
		1	0.3	160.80	547
			0.4	175.41	575
			Total	168.10	561
		Total	0.3	163.63	666
			0.4	178.05	600
			Total	170.84	633

ตารางที่ ฉ.2 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบของปัญหาขนาด 49 ขั้นงาน(ต่อ

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
Total	MOX	0.8	0.3	166.55	621
			0.4	161.82	571
			Total	164.19	596
		0.9	0.3	153.28	749
			0.4	188.64	481
			Total	170.96	615
		1	0.3	161.46	586
			0.4	186.28	511
			Total	173.87	548
		Total	0.3	160.43	652
			0.4	178.91	521
			Total	169.67	586
	PMX	0.8	0.3	182.60	546
			0.4	165.46	503
			Total	174.03	525
		0.9	0.3	158.69	972
			0.4	177.46	834
			Total	168.07	903
		1	0.3	159.37	661
			0.4	159.23	703
			Total	159.30	682
		Total	0.3	166.88	726
			0.4	167.38	680
			Total	167.13	703
	CX	0.8	0.3	158.73	774
			0.4	162.71	776
			Total	160.72	775
		0.9	0.3	152.28	990
			0.4	169.05	843
			Total	160.66	917
		1	0.3	163.82	711
			0.4	176.05	661
			Total	169.94	686
		Total	0.3	158.28	825
			0.4	169.27	760
			Total	163.77	793

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
Total	OX	0.8	0.3	177.46	966
			0.4	163.96	789
			Total	170.71	878
		0.9	0.3	174.78	214
			0.4	187.96	629
			Total	181.37	421
		1	0.3	173.73	316
			0.4	165.19	708
			Total	169.46	512
		Total	0.3	175.32	498
			0.4	172.37	709
			Total	173.84	603
	PBX	0.8	0.3	167.78	512
			0.4	197.60	495
			Total	182.69	504
		0.9	0.3	178.73	491
			0.4	191.41	619
			Total	185.07	555
		1	0.3	189.91	764
			0.4	171.82	417
			Total	180.87	590
		Total	0.3	178.81	589
			0.4	186.94	510
			Total	182.88	550
	Total	0.8	0.3	170.62	684
			0.4	170.31	627
			Total	170.47	655
		0.9	0.3	163.55	683
			0.4	182.90	681
			Total	173.23	682
		1	0.3	169.66	607
			0.4	171.71	600
			Total	170.69	604
		Total	0.3	167.94	658
			0.4	174.98	636
			Total	171.46	647

ตารางที่ ฉ.3 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบ
ของปัญหาขนาด 114 ขั้นงาน

parameter		Mean	
Pop	PC	wv	no.gen
30	0.8	404.59	709
	0.9	381.11	749
	1	396.58	348
	Total	394.09	602
Total	0.8	404.59	709
	0.9	381.11	749
	1	396.58	348
	Total	394.09	602

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ฉ.4 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบของปัญหาขนาด 194 ขั้นงา

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
20	MOX	0.8	0.2	154.57	555
			0.3	154.75	609
			Total	154.66	582
		0.9	0.2	194.41	643
			0.3	162.65	685
			Total	178.53	664
		1	0.2	204.57	339
			0.3	179.16	391
			Total	191.86	365
		Total	0.2	184.52	512
			0.3	165.52	561
			Total	175.02	537
	PMX	0.8	0.2	192.01	688
			0.3	201.06	490
			Total	196.53	589
		0.9	0.2	211.85	667
			0.3	157.52	407
			Total	184.69	537
		1	0.2	171.39	687
			0.3	195.64	656
			Total	183.51	671
		Total	0.2	191.75	680
			0.3	184.74	518
			Total	188.25	599
	Total	0.8	0.2	173.29	621
			0.3	177.90	549
			Total	175.60	585
		0.9	0.2	203.13	655
			0.3	160.09	546
			Total	181.61	600
		1	0.2	187.98	513
			0.3	187.40	523
			Total	187.69	518
		Total	0.2	188.13	596
			0.3	175.13	540
			Total	181.63	568

parameter				Me
Pop	C_type	PC	PM	wv
30	MOX	0.8	0.2	182.64
			0.3	203.96
			Total	193.30
		0.9	0.2	181.61
			0.3	173.92
			Total	177.76
		1	0.2	198.87
			0.3	174.15
			Total	186.51
		Total	0.2	187.70
			0.3	184.01
			Total	185.86
	PMX	0.8	0.2	212.43
			0.3	145.41
			Total	178.92
		0.9	0.2	158.30
			0.3	178.67
			Total	168.48
		1	0.2	166.05
			0.3	168.87
			Total	167.46
		Total	0.2	178.93
			0.3	164.32
			Total	171.62
	Total	0.8	0.2	197.53
			0.3	174.68
			Total	186.11
		0.9	0.2	169.95
			0.3	176.29
			Total	173.12
		1	0.2	182.46
			0.3	171.51
			Total	176.99
		Total	0.2	183.31
			0.3	174.16
			Total	178.74

ตารางที่ ฉ.4 ค่าเฉลี่ยของ wv และลำดับที่ของเจนเนอเรชั่นที่พบตอบ

ของปัญหาขนาด 194 ขั้นงาน(ต่อ)

parameter				Mean	
Pop	C_type	PC	PM	wv	no.gen
Total	MOX	0.8	0.2	168.60	494
			0.3	179.35	678
			Total	173.98	586
		0.9	0.2	188.01	530
			0.3	168.28	626
			Total	178.15	578
		1	0.2	201.72	518
			0.3	176.66	475
			Total	189.19	496
		Total	0.2	186.11	514
			0.3	174.76	593
			Total	180.44	553
	PMX	0.8	0.2	202.22	630
			0.3	173.24	374
			Total	187.73	502
		0.9	0.2	185.08	711
			0.3	168.10	330
			Total	176.59	520
		1	0.2	168.72	590
			0.3	182.26	449
			Total	175.49	519
		Total	0.2	185.34	643
			0.3	174.53	384
			Total	179.93	514
	Total	0.8	0.2	185.41	562
			0.3	176.29	526
			Total	180.85	544
		0.9	0.2	186.54	620
			0.3	168.19	478
			Total	177.37	549
		1	0.2	185.22	554
			0.3	179.46	462
			Total	182.34	508
		Total	0.2	185.72	579
			0.3	174.65	488
			Total	181.63	568

น

ean
no.gen
433
748
590
417
566
492
697
559
628
516
624
570
572
257
415
755
253
504
493
241
367
607
250
428
503
502
502
586
409
498
595
400
497
561
437
499

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ช

โปรแกรม MMALB

โปรแกรม MMALB ที่สร้างขึ้นเป็นโปรแกรมจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม โดยเขียนบนโปรแกรมประยุกต์ MATLAB 5.3.1

1. การใช้งานโปรแกรม

ขั้นตอนการใช้โปรแกรมประกอบด้วย

1.1 การเตรียมการใช้โปรแกรม โดยการติดตั้งโปรแกรม MATLAB 5.3.1 ลงในเครื่องคอมพิวเตอร์ที่มีหน่วยความจำ 32 MB ขึ้นไป

1.2 จากนั้น Copy File MMALB ลงใน Sub directory ที่สร้างขึ้น

1.3 ในการ Run Program จะเปิดโปรแกรม MATLAB แล้ว Run จาก Directory MMALB ที่สร้างขึ้น

2. ส่วนประกอบของโปรแกรม

Main Program (MMALB.m) เป็นโปรแกรมที่สั่งให้ดำเนินการหาคำตอบของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งประกอบด้วยส่วนประกอบหลัก ๆ คือ

2.1 *Input Data* (inputdata.m) เป็นโปรแกรมสำหรับป้อนข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นในการจัดสมดุล ซึ่งได้แก่

- จำนวนขั้นงาน
- เวลาทำงานของแต่ละขั้นงาน
- ขั้นงานที่ต้องทำก่อนหน้า
- ระยะเวลาทำงาน
- จำนวนสถานีงานที่ยอมเผื่อให้

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.2 *Parameter Setting* (parameter.m) เป็นโปรแกรมสำหรับกำหนดค่าพารามิเตอร์ของเจนเนติกอัลกอริทึมที่ใช้ในการแก้ปัญหาประกอบด้วย

- วัตถุประสงค์ที่ต้องการในการจัดสมดุลประกอบด้วย

1. Minimize number of workstation
2. Minimize total idle time of line
3. Minimize workload variance
4. Maximize line efficiency

- จำนวนประชากร
- วิธีการครอสโอเวอร์
- ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์
- ความน่าจะเป็นในการมิวเตชั่น
- จำนวนเจนเนอเรชั่นสูงสุด

2.3 *GAs* (GAs.m)เป็นโปรแกรมสำหรับการหาคำตอบการจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม ซึ่งภายในโปรแกรมจะประกอบโปรแกรมย่อยต่างๆ ที่เป็นส่วนประกอบของอัลกอริทึมที่ใช้ โปรแกรมจะรันจนกระทั่งถึงเจนเนอเรชั่นสูงสุดที่กำหนดไว้

2.4 *Output* (Output.m) เป็นโปรแกรมในการแสดงคำตอบที่ได้ โดยแสดงผลในหน้าจอของโปรแกรม MATLAB

2.5 *Report* (Report.m) เป็นโปรแกรมที่แสดงผลที่ได้จากการรันเก็บไว้ในไฟล์เพื่อเรียกดูภายหลัง

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้ทำการวิจัย

นางสาวจงกล เอี่ยมมิ เกิดเมื่อวันที่ 14 มกราคม พ.ศ. 2521 ที่อำเภอลาดหลุมแก้ว จังหวัดปทุมธานี สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี เมื่อปีพ.ศ. 2542 และได้เข้าศึกษาต่อในระดับบัณฑิตศึกษา สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในปีเดียวกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย