

การจัดสมุดแบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบหลายคนผลิตภัณฑ์ผสม



บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the University Graduate School.

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2558
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL MULTI-MANNED ASSEMBLY
LINES



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

กฤษณ์ ประเสริฐ : การจัดสมดุลแบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบหลายคน
ผลิตภัณท์ผสม (MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL
MULTI-MANNED ASSEMBLY LINES) อ.ที่ปริกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.ปารเมศ ชูติมา
, 244 หน้า.

สายการประกอบแบบหลายคนใช้กันมากในสายการประกอบผลิตภัณท์ขนาดใหญ่ เช่น
รถบรรทุก ซึ่งในสายการประกอบนี้จะมีการทำงานทั้งสี่ด้านของชิ้นงาน ปัญหาการจัดสมดุลสายการ
ประกอบแบบหลายคน เป็นปัญหา NP-Hard ซึ่งยากต่อการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมเมื่อขนาดปัญหา
ใหญ่ขึ้น

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization
with Coincidence Expand: COIN-E) เป็นฮิวริสติกที่ได้รับแนวคิดมาจากการหาค่าที่เหมาะสมแบบ
วิธีการบรรจบเดิม โดยใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการคัดเลือกคำตอบ แต่
วิธีการบรรจบแบบขยายจะเพิ่มตารางความน่าจะเป็นร่วมขึ้นอีก 2 ตาราง ซึ่งได้จากการหาผลเฉลย
ของวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์มาสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยทำการนำผลเฉลยของ
วัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีแต่ละวัตถุประสงค์มาปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมในการคัดเลือก
คำตอบที่ดีและได้เพิ่มการค้นหาเฉพาะที่เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีและมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น โดยมี
วัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลจำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ที่จะถูกทำให้เหมาะสมที่สุดไปพร้อม ๆ กัน
ได้แก่ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ความสมดุลของภาระงานระหว่างสถานี
งานสูงที่สุด และความสัมพันธ์ของงานสูงที่สุด พร้อมกันนี้ได้ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของ COIN-
E กับอัลกอริทึมอื่นๆ ที่เป็นที่ยอมรับจำนวน 3 อัลกอริทึม ได้แก่ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบการ
กระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูก
ครอบงำ II (NSGA-II) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO)

ผลจากการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า COIN-E มีสมรรถนะในการแก้ปัญหาการจัด
สมดุลประเภทนี้สูงกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ ทั้งในด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบพาเรโต
การกระจายตัวของคำตอบ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ และจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ
แต่เวลาที่ใช้ในการคำนวณคำตอบ พบว่า BBO ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเร็วกว่า NSGA-II COIN-E
และ DPSO ตามลำดับ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปริกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5670116621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: MULTI-OBJECTIVE BALANCING / MIXED-MODEL MULTI-MANNED ASSEMBLY LINES / COMBINATORIAL OPTIMIZATION WITH COINCIDENCE EXPAND

KRIT PRASERT: MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL MULTI-MANNED ASSEMBLY LINES. ADVISOR: PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 244 pp.

Multi-manned assembly lines are typically found in the production of large-sized products. Multi-manned assembly lines use four sides of workstation. Multi-manned assembly line Balancing Problems is classified in NP-Hard class; therefore it is difficult to obtain an optimal solution when the problem size increases.

Combinatorial Optimization with Coincidence Expand (COIN-E) is heuristic inspired by Combinatorial optimization. Combinatorial optimization heuristic use only single matrix join probability but Combinatorial Optimization with Coincidence Expand will consists of two matrix join probability. Solution of matrix join probability established by select good and not good answer to update the matrix join probability in next generation. And using Local Search to improve answer. Four objectives are optimized simultaneously in balancing; i.e. minimize number of worker, minimize number of stations, maximize balance of workload between workstations, and maximize work relatedness. The performance of COIN-E is compared with other three well-known algorithms, namely Biogeography-based Optimization (BBO), Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II), and Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO)

The results from experiments clearly show that COIN-E has better performances than all other algorithms in terms of convergence to the Pareto optimal set, spread of solutions, ratio of non-dominated solutions and number of non-dominated solution but in term of computation time to solution, BBO has better performance than NSGA-II COIN-E and DPSO respectively.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้มอบความรู้และคำแนะนำตลอดการทำวิทยานิพนธ์ ขอขอบคุณ คุณปวีศ เอกพิทักษ์ธรรม สำหรับความช่วยเหลือในการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ดังที่ปรากฏในวิทยานิพนธ์ รวมทั้งขอขอบคุณผู้ที่มีส่วนเกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้เอ่ยนาม



สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฐ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	5
1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน	5
1.4 ขอบเขตของงานวิจัย	5
1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป.....	8
2.1.1 ประเภทของสายการประกอบ พิจารณาตามจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ที่ผลิต.....	8
2.1.2 ประเภทของสายการประกอบพิจารณาตามรูปร่างของสายการประกอบ.....	9
2.2 ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์.....	10
2.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization)	13
2.4 การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น	15
2.5 สมมติฐานในการจัดสมดุลสายการประกอบ	17
2.6 การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด.....	17
2.6.1 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง	17

2.6.2 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้	18
2.6.3 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำ	18
2.6.3.1 Ratio of non-dominated solutions (self-comparison)	19
2.6.3.2 Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison).....	19
2.6.4 การวัดสมรรถนะของจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำ.....	19
2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	20
บทที่ 3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย.....	22
3.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย	22
3.2 การค้นหาเฉพาะที่	23
3.2.1 ปัจจัยสำคัญในการค้นหาเฉพาะที่	23
3.2.2 หลักการยอมรับคำตอบที่ดี	23
3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิต	27
3.4 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์	29
3.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)	30
3.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น.....	32
3.4.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	38
3.4.4 การกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธี Non-Dominated Sorting.....	38
3.4.5 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	39
3.4.6 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่และการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	44
3.4.7 การปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมแบบ COIN.....	46
3.4.8 การปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 3	47
3.4.9 การปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 4	48

3.4.10 การค้นหาเฉพาะที่หลังผ่านกระบวนการ COIN-E.....	48
3.4.11 การประเมินค่าวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่และการคัดเลือกสดริงคำตอบ ...	54
3.4.12 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงาน.....	55
3.5 การทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	56
3.5.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1.....	71
3.5.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2.....	72
3.5.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.3.....	75
3.5.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1.....	79
3.5.5 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2.....	83
3.5.6 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.3.....	88
3.5.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1.....	92
3.5.8 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2.....	95
3.5.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.3.....	98
3.5.10 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1	102
3.5.11 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2	105
3.5.12 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.3	109
3.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	113
บทที่ 4 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II.....	116
4.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ.....	116
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิต.....	118
4.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์	119
4.3.1 การสร้างสดริงคำตอบเบื้องต้น.....	119

4.3.2 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	121
4.3.3 การคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	122
4.3.3.1 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง	122
4.3.3.2 วิธีการวงล้อมรูเล็ด.....	122
4.3.3.3 ขั้นตอนการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Tournament Selection	123
4.3.4 การครอสโอเวอร์	124
4.3.4.1 การจับคู่สตริงคำตอบ	124
4.3.4.2 การแลกเปลี่ยนส่วนคำตอบ.....	126
4.3.5 การมิวเตชัน.....	127
4.3.6 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด.....	129
บทที่ 5 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์.....	132
5.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์	132
5.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ BBO ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิต	134
5.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์	135
5.3.1 สร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น	135
5.3.2 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	136
5.3.3 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์แก่สตริงคำตอบ	137
5.3.4 ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดสปีชีส์เคาท์และอัตราการอพยพ	137
5.3.5 หลักการอพยพ	139
บทที่ 6 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง.....	150
6.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค ไม่ต่อเนื่อง	150
6.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSSO ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิต.....	152

6.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์	153
6.3.1 สร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น	153
6.3.2 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	154
6.3.3 กำหนดค่าความแข็งแรงและระยะห่างความหนาแน่นแก่ละสตริงคำตอบ	155
6.3.4 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด.....	156
6.3.5 การปรับปรุงตาราง	156
6.3.5.1 การปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค.....	158
6.3.5.2 การปรับปรุงค่าตารางตำแหน่งของอนุภาค.....	159
6.3.6 การสร้างสตริงคำตอบสำหรับการใช้งานในรอบถัดไป	160
6.3.7 การทำงานในรอบถัดไป	161
6.3.8 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	161
6.3.9 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด.....	163
6.3.10 การปรับปรุงตารางในรอบที่ 2.....	163
6.3.10.1 การปรับปรุงตารางค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค	163
6.3.10.2 การปรับปรุงตารางค่าตำแหน่งอนุภาค	164
6.3.11 การสร้างสตริงคำตอบสำหรับการใช้งานในรอบที่สามถัดไป	165
บทที่ 7 การเปรียบเทียบสมรรถนะอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิต	166
7.1 ปัญหาในการทดลอง	166
7.2 วิธีการทดลอง.....	167
7.3 ค่าพารามิเตอร์.....	168
7.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน.....	169
7.4.1 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 15 หน่วยเวลา.....	169
7.4.2 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 18 หน่วยเวลา.....	171

7.4.3	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 22 หน่วยเวลา.....	173
7.5	ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 35 ชิ้นงาน.....	176
7.5.1	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 50 หน่วยเวลา.....	176
7.5.2	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 60 หน่วยเวลา.....	179
7.5.3	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 70 หน่วยเวลา.....	181
7.6	ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน.....	184
7.6.1	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 30 หน่วยเวลา.....	184
7.6.2	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 36 หน่วยเวลา.....	186
7.6.3	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 42 หน่วยเวลา.....	189
7.7	ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 148 ชิ้นงาน	191
7.7.1	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 500 หน่วยเวลา	191
7.7.2	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 600 หน่วยเวลา	194
7.7.3	เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 700 หน่วยเวลา	197
7.8	การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง	200
บทที่ 8	บทสรุปและข้อเสนอแนะ	203
8.1	บทสรุปงานวิจัย	203
8.2	ข้อเสนอแนะ	205
	รายการอ้างอิง	206
	ภาคผนวก.....	209
	ภาคผนวก ก ข้อมูลพื้นฐานของปัญหาที่ใช้ในการทดลองอัลกอริทึม	210
	ภาคผนวก ข ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ.....	235
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	244

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1.1	สายการประกอบกรณีศึกษาที่จะใช้ในการแก้ปัญหาจัดสมดุล.....	6
ตารางที่ 3.1	หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)	24
ตารางที่ 3.2	เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์ชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน	31
ตารางที่ 3.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)	32
ตารางที่ 3.4	ค่าสิทธิในการเลือกชั้นงานขนาด 7 ชั้นงาน	32
ตารางที่ 3.5	ปรับปรุงความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)	33
ตารางที่ 3.6	การคัดเลือกลำดับชั้นงานที่ 1.....	34
ตารางที่ 3.7	การจัดสรรงานลงสถานีงานสำหรับลำดับชั้นงานที่ 1.....	34
ตารางที่ 3.8	ค่าความน่าจะเป็นร่วม	37
ตารางที่ 3.9	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	38
ตารางที่ 3.10	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรง	38
ตารางที่ 3.11	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	39
ตารางที่ 3.12	การสร้างวงล้อสุ่มของปัญหา 7 ชั้นงาน.....	39
ตารางที่ 3.13	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	40
ตารางที่ 3.14	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	41
ตารางที่ 3.15	ค่าสิทธิของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	42
ตารางที่ 3.16	ลำดับชั้นงานในการทำงานหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	43
ตารางที่ 3.17	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่.....	43
ตารางที่ 3.18	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่.....	44
ตารางที่ 3.19	สตริงคำตอบจากการคัดเลือก	44
ตารางที่ 3.20	สตริงคำตอบหลังจากการคัดเลือกสำหรับวิธีการบรรจบแบบขยาย	45

ตารางที่ 3.21	ค่าสิทธิการเลือกชั้นงานในการทำงานสำหรับวิธีการบรรจุแบบขยาย	45
ตารางที่ 3.22	ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงแบบ COIN	47
ตารางที่ 3.23	ตารางความน่าจะเป็นร่วมของวัตถุประสงค์ที่ 3 หลังการปรับปรุง.....	47
ตารางที่ 3.24	ตารางความน่าจะเป็นร่วมของวัตถุประสงค์ที่ 4 หลังการปรับปรุง.....	48
ตารางที่ 3.25	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบภายหลังกระบวนการแบบ COIN-E	49
ตารางที่ 3.26	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	49
ตารางที่ 3.27	การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 7 ชั้นงาน.....	50
ตารางที่ 3.28	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	51
ตารางที่ 3.29	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	51
ตารางที่ 3.30	ค่าสิทธิของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	53
ตารางที่ 3.31	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่.....	53
ตารางที่ 3.32	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่.....	54
ตารางที่ 3.33	สตริงคำตอบจากการคัดเลือก	54
ตารางที่ 3.34	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า.....	55
ตารางที่ 3.35	ค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน.....	55
ตารางที่ 3.36	ค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	58
ตารางที่ 3.37	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.1.....	59
ตารางที่ 3.38	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.2.....	60
ตารางที่ 3.39	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.3.....	61
ตารางที่ 3.40	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.1.....	62
ตารางที่ 3.41	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.2.....	63
ตารางที่ 3.42	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.3.....	64
ตารางที่ 3.43	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.1.....	65
ตารางที่ 3.44	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.2.....	66

ตารางที่ 3.45	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.3.....	67
ตารางที่ 3.46	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.1.....	68
ตารางที่ 3.47	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.2.....	69
ตารางที่ 3.48	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.3.....	70
ตารางที่ 3.49	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1.....	72
ตารางที่ 3.50	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2.....	75
ตารางที่ 3.51	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.3.....	79
ตารางที่ 3.52	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1.....	83
ตารางที่ 3.53	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2.....	87
ตารางที่ 3.54	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.3.....	91
ตารางที่ 3.55	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1.....	94
ตารางที่ 3.56	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2.....	98
ตารางที่ 3.57	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.3.....	102
ตารางที่ 3.58	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1.....	105
ตารางที่ 3.59	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2.....	109
ตารางที่ 3.60	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.3.....	113
ตารางที่ 3.61	การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน COIN-E และ LS.....	115
ตารางที่ 4.1	สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชิ้นงาน	120
ตารางที่ 4.1	สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชิ้นงาน	120
ตารางที่ 4.2	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	121
ตารางที่ 4.3	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรง	121
ตารางที่ 4.4	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง.....	122
ตารางที่ 4.5	การสร้างวงล้อรูเล็ต 7 สตริงคำตอบ.....	123
ตารางที่ 4.6	การคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Binary Tournament Selection.....	124

ตารางที่ 4.7 การเลือกสตริงคำตอบจากการทำครอสโอเวอร์ ri.....	125
ตารางที่ 4.8 การเลือกสตริงคำตอบจากการทำมิวเตชัน.....	128
ตารางที่ 4.9 สตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชัน.....	128
ตารางที่ 4.10 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูก.....	129
ตารางที่ 4.11 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	130
ตารางที่ 4.12 ค่าDummy Fitness และ Crowding Distance.....	131
ตารางที่ 5.1 ตารางค่าสิทธิในการเลือกงาน 7 สตริงคำตอบ	136
ตารางที่ 5.2 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่า Crowding Distance	136
ตารางที่ 5.3 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์แก่สตริงคำตอบ.....	137
ตารางที่ 5.4 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์และค่าการอพยพ.....	138
ตารางที่ 5.5 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 3 ..	140
ตารางที่ 5.6 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 2 ..	141
ตารางที่ 5.7 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 1 ..	142
ตารางที่ 5.8 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 3.....	142
ตารางที่ 5.9 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 2.....	143
ตารางที่ 5.10 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 1.....	143
ตารางที่ 5.11 สตริงคำตอบชั่วคราวหลังการอพยพ	144
ตารางที่ 5.12 คำนวณค่าประกอบการใช้งานในกระบวนการมิวเตชัน	145
ตารางที่ 5.13 ค่าสุ่ม $r3$ เพื่อเลือกค่าสตริงคำตอบชั่วคราวในการทำมิวเตชัน.....	145
ตารางที่ 5.14 การเลือกบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวเพื่อทำการมิวเตชัน.....	146
ตารางที่ 5.15 การมิวเตชันในสตริงคำตอบชั่วคราว	146
ตารางที่ 5.16 จัดค่าอันดับของเซตสตริงคำตอบทั้งหมด	147
ตารางที่ 5.17 ผลการจัดอันดับค่าสตริงคำตอบทั้งหมดในกระบวนการรอบที่ 1.....	148
ตารางที่ 5.18 ค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาที่ผ่านมา (Elitist).....	148

ตารางที่ 5.19 เซตสตรึงคำตอบเริ่มต้น Y ในกระบวนการรอบที่ 2.....	149
ตารางที่ 6.1 ตารางค่าสิทธิในการเลือกงาน 6 สตรึงคำตอบ	154
ตารางที่ 6.2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์	154
ตารางที่ 6.3 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1	155
ตารางที่ 6.4 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 2	155
ตารางที่ 6.5 สตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1 และ ฝูงที่ 2.....	156
ตารางที่ 6.6 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดในงานประชากรทั้งหมด	156
ตารางที่ 6.7 ค่าสิทธิของชั้นงานที่ดีที่สุดในงานประชากรทั้งหมด	156
ตารางที่ 6.8 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1	157
ตารางที่ 6.9 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2	157
ตารางที่ 6.10 ค่าสุ่ม r_1 และ r_2	158
ตารางที่ 6.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝูงที่ 1.....	158
ตารางที่ 6.12 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝูงที่ 2.....	159
ตารางที่ 6.13 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1	159
ตารางที่ 6.14 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2.....	159
ตารางที่ 6.15 Sigmoid ฝูงที่ 1	160
ตารางที่ 6.16 Sigmoid ฝูงที่ 2	160
ตารางที่ 6.17 ค่าสตรึงคำตอบเริ่มต้นของฝูงที่ 1 และ 2	161
ตารางที่ 6.18 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรอบการทำงานที่ 2	161
ตารางที่ 6.19 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1	162
ตารางที่ 6.20 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 2.....	162
ตารางที่ 6.21 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1 และ 2	162
ตารางที่ 6.22 คัดเลือกค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดในงานประชากร	162
ตารางที่ 6.23 รวมค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดในการทำงานรอบที่ 2.....	163

ตารางที่ 6.24 ค่าสุ่ม r_1 และ r_2 ในรอบที่ 2	163
ตารางที่ 6.25 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคของฝูงที่ 1 (รอบที่ 2).....	163
ตารางที่ 6.26 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคของฝูงที่ 2 (รอบที่ 2).....	164
ตารางที่ 6.27 ตารางตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1 (รอบที่ 2)	164
ตารางที่ 6.28 ตารางตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2 (รอบที่ 2)	164
ตารางที่ 6.29 ตาราง Sigmoid ฝูงที่ 1 (รอบที่ 2)	165
ตารางที่ 6.30 ตาราง Sigmoid ฝูงที่ 2 (รอบที่ 2)	165
ตารางที่ 7.1 เซตปัญหาในการทดลอง	167
ตารางที่ 7.2 ค่าพารามิเตอร์ในแต่ละอัลกอริทึม.....	168
ตารางที่ 7.3 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา.....	169
ตารางที่ 7.4 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา.....	170
ตารางที่ 7.5 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา.....	170
ตารางที่ 7.6 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา.....	171
ตารางที่ 7.7 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา.....	172
ตารางที่ 7.8 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 18 หน่วยเวลา	173
ตารางที่ 7.9 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา.....	174
ตารางที่ 7.10 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา.....	175

ตารางที่ 7.11 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 22 หน่วยเวลา.....	176
ตารางที่ 7.12 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา.....	177
ตารางที่ 7.13 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา.....	178
ตารางที่ 7.14 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 50 หน่วยเวลา.....	178
ตารางที่ 7.15 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา.....	179
ตารางที่ 7.16 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา.....	180
ตารางที่ 7.17 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 60 หน่วยเวลา.....	181
ตารางที่ 7.18 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 70 หน่วยเวลา.....	182
ตารางที่ 7.19 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 70 หน่วยเวลา.....	183
ตารางที่ 7.20 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 70 หน่วยเวลา.....	183
ตารางที่ 7.21 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา.....	184
ตารางที่ 7.22 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา.....	185
ตารางที่ 7.23 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 30 หน่วยเวลา.....	186

ตารางที่ 7.24 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา.....	187
ตารางที่ 7.25 True Pareto-optimal Solution ของปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา.....	188
ตารางที่ 7.26 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 36 หน่วยเวลา.....	188
ตารางที่ 7.27 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 42 หน่วยเวลา.....	189
ตารางที่ 7.28 True Pareto-optimal Solution ของปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา.....	190
ตารางที่ 7.29 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหามาตรา 75 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 42 หน่วยเวลา.....	191
ตารางที่ 7.30 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา.....	192
ตารางที่ 7.31 True Pareto-optimal Solution ของปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 500 หน่วยเวลา	193
ตารางที่ 7.32 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 500 หน่วยเวลา	194
ตารางที่ 7.33 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา.....	195
ตารางที่ 7.34 True Pareto-optimal Solution ของปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 600 หน่วยเวลา	196
ตารางที่ 7.35 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 600 หน่วยเวลา	197
ตารางที่ 7.36 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่างๆ จากการแก้ปัญหามาตรา 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 700 หน่วยเวลา	197

ตารางที่ 7.37 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 700 หน่วยเวลา.....	199
ตารางที่ 7.38 ค่าขีดัสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการ ผลิต 700 หน่วยเวลา.....	199
ตารางที่ 7.39 สรุปค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง	202
ตารางที่ ก.1 ข้อมูลพื้นฐานของปัญหาที่ใช้ในการทดลองอัลกอริทึม.....	210
ตารางที่ ก.2 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน.....	210
ตารางที่ ก.3 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน.....	212
ตารางที่ ก.4 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน.....	213
ตารางที่ ก.5 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน.....	215
ตารางที่ ก.6 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน.....	216
ตารางที่ ก.7 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน.....	220
ตารางที่ ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน.....	223
ตารางที่ ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	229
ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงและกลุ่มคำตอบที่ได้.....	235
ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงและกลุ่มคำตอบที่ได้.....	235
ตารางที่ ข.2 ระยะเวลาระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ 1.....	237
ตารางที่ ข.3 ระยะเวลาระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ที่ 2.....	237
ตารางที่ ข.4 ระยะเวลาระหว่างแต่ละคำตอบจากการรวมกันของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์	238
ตารางที่ ข.5 ระยะเวลาระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน	239
ตารางที่ ข.6 ผลต่างระยะเวลาของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันและค่าเฉลี่ยของระยะเวลา	239
ตารางที่ ข.7 การเปรียบเทียบจำนวนกลุ่มคำตอบที่ได้เทียบกับจำนวนกลุ่มคำตอบที่แท้จริง	241
ตารางที่ ข.8 จำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ	242

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 2.1 สายการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว	8
รูปที่ 2.2 สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม	9
รูปที่ 2.3 สายการประกอบหลายผลิตภัณฑ์	9
รูปที่ 2.4 Pareto Optimal Solution	12
รูปที่ 2.5 วิธีการจัดอันดับของ Goldberg.....	15
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบบรรจุแบบขยาย	26
รูปที่ 3.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวมของปัญหาตัวอย่างขนาด 7 ชั้นงาน	30
รูปที่ 3.3 สายการประกอบแบบหลายคนงาน 7 ชั้นงาน	35
รูปที่ 3.4 วงล้อรูเลตของปัญหา 7 ชั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	40
รูปที่ 3.5 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1	41
รูปที่ 3.6 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2	41
รูปที่ 3.7 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3	42
รูปที่ 3.8 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4	42
รูปที่ 3.9 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 7	42
รูปที่ 3.10 วงล้อรูเลตของปัญหา 7 ชั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ภายหลังกระบวนการแบบ COIN-E	50
รูปที่ 3.11 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1	51
รูปที่ 3.12 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2	52
รูปที่ 3.13 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3	52
รูปที่ 3.14 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4	52
รูปที่ 3.15 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 6	52

รูปที่ 3.61 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	108
รูปที่ 3.62 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	108
รูปที่ 3.63 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัว แปรตอบสนอง	109
รูปที่ 3.64 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง ..	110
รูปที่ 3.65 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	111
รูปที่ 3.66 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	112
รูปที่ 3.67 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	113
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ	117
รูปที่ 4.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ NSGA-II	119
รูปที่ 4.3 สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชั้นงานสำหรับ NSGA-II	120
รูปที่ 4.4 วงล้อรูเล็ต 7 สตริงคำตอบ	123
รูปที่ 4.5 กำหนดน้ำหนักแก่สตริงคำตอบรุ่นพ่อและแม่คู่ที่ 1.....	126
รูปที่ 4.6 การสลับค่าน้ำหนักและเปลี่ยนค่าตามน้ำหนักภายในสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1.....	126
รูปที่ 4.7 การมิวเตชันของสตริงคำตอบที่ 4.....	128
รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์	133
รูปที่ 5.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ BBO.....	135
รูปที่ 5.3 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกสตริงคำตอบในการอพยพออก.....	139
รูปที่ 5.4 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน	145
รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง	151

รูปที่ 6.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ DPSO	153
รูปที่ 7.1 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 15 หน่วยเวลา	169
รูปที่ 7.2 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 18 หน่วยเวลา	172
รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 22 หน่วยเวลา	175
รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 50 หน่วยเวลา	177
รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 60 หน่วยเวลา	180
รูปที่ 7.6 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 70 หน่วยเวลา	182
รูปที่ 7.7 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 30 หน่วยเวลา	185
รูปที่ 7.8 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 36 หน่วยเวลา	187
รูปที่ 7.9 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลา การผลิต 42 หน่วยเวลา	190
รูปที่ 7.10 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบ เวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา.....	193
รูปที่ 7.11 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบ เวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา.....	196
รูปที่ 7.12 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบ เวลาการผลิต 700 หน่วยเวลา.....	198

บทที่ 1

บทนำ

สายการประกอบ (Assembly Line) (Scholl, 1995) เป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow-Shop Production System) ซึ่งในอดีตระบบนี้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อตอบสนองการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณมาก (Mass Production) (Becker และ Scholl, 2006) โดยมีวัตถุประสงค์ในการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานโดยการเพิ่มสัดส่วน (Ratio) ระหว่างปริมาณงานที่ทำในช่วงเวลาหนึ่ง (Throughput) กับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น (Required Costs) โดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วยส่วนสำคัญ 2 ส่วน คือ หน่วยการผลิตหรือสถานีงาน (Work Station) และชิ้นงาน (Task) ที่นำมาจัดลงสถานีงานข้างต้น ซึ่งในแต่ละสายการประกอบ สถานีงานต่าง ๆ จะถูกเชื่อมต่อกันด้วยระบบขนย้ายชิ้นงาน เช่น ระบบสายพาน เพื่อทำหน้าที่เคลื่อนย้ายชิ้นงานจากสถานีงานแรก จนกระทั่งได้ผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่จุดสิ้นสุดของสายการประกอบ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในอดีตที่ผ่านมาสายการประกอบจะมีลักษณะการวางในรูปแบบเส้นตรงเพื่อให้ง่ายต่อการควบคุมการไหลของชิ้นงาน แต่สายการประกอบแบบดั้งเดิมนี้อาจมีข้อด้อยที่เกิดขึ้นหลายประการ ดังนี้ มีความยืดหยุ่นต่ำ (Low Flexibility), ความสูญเสียที่เกิดจากการจัดสมดุล (High Balance Loss), คุณภาพต่ำ (Poor Quality), สภาพแวดล้อมการทำงานที่ไม่เหมาะสม (Poor Working Environment) (Süer, 1994), งานในกระบวนการผลิตมีปริมาณสูง (High Work-In-Process), ต้นทุนด้านวัสดุสูง (High Cost of Material Handling) ด้วยเหตุนี้ จึงได้มีการพัฒนาการจังหวสายการประกอบรูปแบบอื่น ๆ ซึ่งมีจุดประสงค์ในการใช้งานที่แตกต่างกันออกไป อาทิเช่น สายการประกอบรูปตัวยู หรือ U-Shaped Line (Miltenburg และ Wijngaard, 1994), สายการประกอบแบบสองด้าน หรือ Two-Sided Line (พันรวี, 2009), สถานีงานแบบขนาน หรือ Parallel Workstations (McMullen และ Frazier, 1998), สายการประกอบแบบขนาน หรือ Parallel Lines และสายการประกอบแบบหลายคนงาน หรือ Multi-Manned Assembly Lines (Roshani และคณะ, 2013)

สายการประกอบแบบหลายคนงาน (Multi-Manned Assembly Lines) ได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อบรรลู่ข้อด้อยของสายการผลิตแบบดั้งเดิมที่กล่าวมาข้างต้น และมีจุดมุ่งหมายหลักเพื่อลดความยาวของสายการประกอบดั้งเดิม ในขณะที่ยังคงไว้ซึ่งประสิทธิภาพที่ดีที่สุด สายการประกอบแบบ

หลายคนจะมีลักษณะการทำงานในรูปแบบที่แต่ละสถานงาน จะประกอบไปด้วยพนักงานมากกว่า 1 คน ปฏิบัติงานในช่วงเวลาเดียวกัน บนผลิตภัณฑ์เดียวกัน ซึ่งพนักงานแต่ละคนจะปฏิบัติชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป และพนักงานแต่ละคนจะไม่มีภารกิจว่าทำงานของกันและกันบนสายการประกอบนั้น ๆ (ซึ่งเกิดเป็นข้อแตกต่างจากสายการประกอบแบบขนานคือพนักงานปฏิบัติงานงานเดียวกัน แต่คนละผลิตภัณฑ์) ซึ่งสายการประกอบประเภทนี้มีความเหมาะสมกับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ (Large size) และต้องการผลิตในปริมาณสูง (High Volume) เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์ เป็นต้น

หากมองในมุมมองของผู้บริโภคพบว่า ปัจจุบันมีการแข่งขันด้านอุตสาหกรรมยานยนต์ที่สูง เนื่องจากความต้องการของผู้บริโภคมีความหลากหลายและมีการเปลี่ยนแปลงที่รวดเร็วต่อตัวผลิตภัณฑ์ จึงทำให้สายการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single-Model Assembly Lines) ไม่สามารถตอบสนองได้อย่างเหมาะสม จึงทำให้มีการพัฒนาจนเกิดสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed-Model Assembly Lines) (Bukchin และคณะ, 2002) ซึ่งเป็นสายการประกอบที่มีการจัดสมดุลการผลิตผลิตภัณฑ์ในแต่ละรุ่น (Model) ที่แตกต่างกันบนสายการประกอบเดียวกัน ซึ่งส่วนใหญ่ผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่นจะมีพื้นฐานการประกอบ, วัตถุดิบ และชิ้นส่วนที่เหมือนกัน (Common Base Product) แต่จะแตกต่างกันที่รายละเอียดปลีกย่อยในแต่ละรุ่นตามความต้องการของผู้บริโภค (Customizing by the de-selection of optional feature) ทั้งนี้ นับว่ามีความน่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง หากจะทำให้สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีข้อดีมากขึ้นไปอีก

ในบรรดาปัญหาต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดการสายการประกอบแบบหลายคนงาน การจัดสมดุลสายการประกอบ (Assembly Line Balancing: ALB) (Boysen และคณะ, 2007) ถือเป็นปัญหาการตัดสินใจที่สำคัญในการวางแผนการผลิตระยะกลาง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดสรรภาระงานให้กับแต่ละสถานงานในปริมาณที่เท่า ๆ กัน พร้อมกับทำให้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของระบบมีค่าที่เหมาะสมที่สุดโดยไม่ขัดต่อข้อจำกัดที่กำหนดขึ้นมา เช่น ความสัมพันธ์ก่อนหลังของชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต เป็นต้น โดยการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานนั้นมีความซับซ้อนมากกว่าการจัดสมดุลแบบดั้งเดิมด้วยการพิจารณาถึงความสัมพันธ์ระหว่างสายการประกอบเหล่านั้น โดยโอกาสในการเพิ่มประสิทธิภาพของทั้งระบบจะเกิดขึ้นหากระหว่างการจัดสมดุลมีสถานงานของสายการประกอบที่อยู่ติดกันสามารถถูกรวมเป็นสถานงานเดียว ซึ่งทำให้ยอดรวมสถานงานทั้งหมดมีจำนวนน้อยลง อันเป็นเป้าหมายหลักของการจัดสมดุลในงานวิจัยส่วนใหญ่เพราะจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในด้านสถานที่

งานวิจัยส่วนใหญ่มักจะตั้งสมมติฐานในการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานเอาไว้ว่าพนักงานที่ปฏิบัติงานในแต่ละสถานงานมีทักษะการทำงานที่หลากหลาย สามารถรับผิดชอบชิ้นงานที่แตกต่างกันไปโดยไม่ก่อให้เกิดความแตกต่างในด้านสมรรถนะ แต่ในความเป็นจริงแล้ว

พนักงานย่อมมีทักษะหลักของตนเองที่สามารถทำได้ดีที่สุด และมีทักษะรองซึ่งอาจมีมากกว่าหนึ่งทักษะที่มีความถนัดอยู่ในระดับพอทำได้เท่านั้น ด้วยเหตุนี้จึงสามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับสายการประกอบได้ด้วยการพยายามจัดสรรงานต่าง ๆ ที่มีความเกี่ยวเนื่องกันให้อยู่สถานีนงานเดียวกัน โดยเป็นงานที่อาศัยทักษะที่เกี่ยวข้องเพียงทักษะเดียวหรือเพียงไม่กี่ทักษะ และมอบหมายให้พนักงานที่มีทักษะหลักตรงกับงานในสถานีนงานนั้นเป็นผู้รับผิดชอบ อันเป็นการส่งเสริมแนวคิดในการเลือกใช้คนให้ถูกกับงานนั่นเอง นอกจากนี้ยังควรทำให้ภาระงานในแต่ละสถานีนงานมีปริมาณเท่า ๆ กัน เพื่อให้เกิดความเท่าเทียมกันระหว่างพนักงานแต่ละคนอีกด้วย

จากความสำคัญทั้งหมดดังกล่าวข้างต้น การวิจัยครั้งนี้จะศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงาน (Mixed-Model Multi-manned Assembly) โดยมีวัตถุประสงค์จำนวน 4 วัตถุประสงค์ เรียงลำดับตามความสำคัญจากมากไปน้อย ดังนี้

1. วัตถุประสงค์อันดับหนึ่ง : จำนวนพนักงาน (Worker) น้อยที่สุด
2. วัตถุประสงค์อันดับสอง : จำนวนสถานีนงาน (Station) น้อยที่สุด
3. วัตถุประสงค์อันดับสาม : ประกอบไปด้วยสองวัตถุประสงค์ย่อยที่จะหาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปพร้อม ๆ กัน ได้แก่
 - 3.1 ผลต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีนงานมากที่สุด
 - 3.2 ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในแต่ละสถานีนงานมากที่สุด

ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก (NP-Hard Problem) (Capacho และ Pastor, 2008) ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานซึ่งจัดเป็นรูปแบบปัญหาทั่วไป (Generalized Problem) จึงเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยากเป็นอย่างน้อยด้วยเช่นกัน โดยต้องใช้เวลานานมากในการแก้ปัญหาและเป็นการยากหรืออาจจะเป็นไปไม่ได้เลยที่จะได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น จึงได้มีการพัฒนาวิธีฮิวริสติก (Heuristic) หลาย ๆ วิธีมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ซึ่งทำให้สามารถหาคำตอบที่ค่อนข้างดีที่ยอมรับได้หรือบางครั้งอาจได้คำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้เวลาที่ไม่นานมากนัก ได้แก่ อัลกอริทึมที่มีพื้นฐานมาจากวิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดด้วยระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ที่พัฒนาโดย (Baykasoglu และ Dereli, 2008) ซึ่งมีไว้ใช้สำหรับจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์เดียว เพื่อให้มีจำนวนสถานีนงานและเวลาสูญเสียเปล่าในแต่ละสถานีนงานน้อยที่สุด, เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) , การประยุกต์ใช้วิธี branch and bound (Özcan และ คณษะ, 2009), (Kelleg และ Toklu, 2012), การประยุกต์ใช้ Enumerative Algorithm (EA) และวิธี Ant Colony Heuristic (ACH) ภายใต้ข้อจำกัด

การจัดสรรพื้นที่ และข้อจำกัดของตำแหน่ง, การประยุกต์ใช้ Goal Programming และ Fuzzy Goal Programming และยังมีอัลกอริทึมที่ใช้ในการศึกษาวิจัยชิ้นนี้ ดังนี้

Combinatorial Optimization with Coincidence Expand : COIN-E (สถาพร, 2014) มีแนวคิดคือจากเดิมวิธีการของ COIN จะใช้ตารางความน่าจะเป็นเพียงตารางเดียวในการเลือกเดินเพื่อนำไปสู่คำตอบที่เหมาะสม แต่ใน COIN-E จะมีตารางความน่าจะเป็นเพิ่มเข้ามาอีก 2 ตาราง ที่ได้จากการหาคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์มาสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยนำคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีมาทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุดในรอบนั้นจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แต่ถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่ามากที่สุดในรอบนั้นจะทำการลดค่าความน่าจะเป็นลง เพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้ก็จะมีกระจายตัวของคำตอบมากกว่าวิธีการ COIN

Discrete Particle Swarm Optimization : DPSO (पालิตา, 2010) เป็นวิธีการหาคำตอบเริ่มต้นคล้ายกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม คือการสุ่มในการหาคำตอบของประชากรเริ่มต้น โดยให้ตัวแทนคำตอบจะเป็นอนุภาค (Particle) โดยใช้หลักการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปยังทิศทางและจุดหมายต่าง ๆ และสามารถจดจำคำตอบที่ดีที่สุดที่สามารถค้นหาได้ โดยอนุภาคทั้งหมดนั้นจะถูกแบ่งออกเป็นกลุ่มย่อย ๆ เรียกว่าฝูง (Swarm) และค่าของตำแหน่งคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงนั้นจะถูกเรียกว่า ค่าคำตอบที่เหมาะสมเฉพาะที่ (Local Best Solution : LBest) และค่าของตำแหน่งคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดนั้นจะถูกเรียกว่า ค่าคำตอบที่เหมาะสมแบบครอบคลุมทั้งหมด (Global Best Solution : GBest)

Genetic Algorithms: (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm-II; NSGA-II) (Kim และคณะ, 2000) เป็นวิธีค้นหาคำตอบโดยการอาศัยหลักการของกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics) ว่าด้วยทฤษฎีการถ่ายทอดคุณลักษณะทางพันธุกรรมไปสู่ลูกหลาน โดยการทำการเปรียบเทียบคุณลักษณะของสตริงคำตอบ (Character) กับยีนส์ (Gene) หลังผ่านกระบวนการถ่ายทอดคุณลักษณะทางพันธุกรรมต่าง ๆ แล้วจะทำให้เกิดคำตอบใหม่ ๆ ที่มีความเหมาะสมที่สุด หรือมีค่าใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

Biogeography-Based Optimization: BBO มีแนวคิดมาจากการเลียนแบบการอพยพย้ายถิ่นของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ที่อยู่อาศัย ซึ่งการอพยพนั้นจากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งจะทำให้เกิดสปีชีส์ใหม่ขึ้นหรืออาจทำให้สปีชีส์นั้นสูญพันธุ์ได้ เปรียบได้กับการปรับปรุงคำตอบของปัญหาด้วยการแลกเปลี่ยนส่วนของคำตอบที่ดีแก่กัน เพื่อให้เกิดคำตอบที่ดีขึ้น

จากการทบทวนงานวิจัยข้างต้นพบว่างานวิจัยในครั้งนี้ได้ทำการศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบ ในสามประเด็นที่สำคัญ ได้แก่ การเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม, การพิจารณาปัญหา

ภายใต้หลายวัตถุประสงค์ และการคำนึงถึงความกดดันในแต่ละงานที่ไม่เท่ากันของพนักงาน หลากหลายทักษะ

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงาน (Mixed-Model Multi-manned Assembly Line) ภายใต้ผลกระทบการเรียนรู้ที่มีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

1.3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 2) ศึกษาวิธีการใช้โปรแกรม C++
- 3) สร้างอัลกอริทึมสำหรับแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนผลิตภัณฑ์ผสม
- 4) ทำการทดลองการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ และทำการประเมินผลสมรรถนะอัลกอริทึม
- 5) วิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง
- 6) จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.4 ขอบเขตของงานวิจัย

การจัดสมดุลสายงานประกอบแบบหลายคนงาน (Multi-manned Assembly Line) มีจำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ เรียงตามลำดับความสำคัญ ดังนี้

- 1) วัตถุประสงค์อันดับหนึ่ง : จำนวนพนักงานน้อยที่สุด
- 2) วัตถุประสงค์อันดับสอง : จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
- 3) วัตถุประสงค์อันดับสาม : ประกอบไปด้วยสองวัตถุประสงค์ย่อยซึ่งจะพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดไปพร้อม ๆ กัน ได้แก่ ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานมากที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในแต่ละสถานีงานมากที่สุด

การกำหนดสมมติฐานในการจัดสมดุลสายการประกอบ จะประกอบไปด้วยดังนี้

- 1) ทราบลำดับชั้นงานของทุกผลิตภัณฑ์และเวลาที่ใช้ในแต่ละชั้นงาน
- 2) ทราบรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ของแต่ละสายการประกอบ
- 3) ไม่พิจารณาระยะเวลาในการเดินของพนักงาน
- 4) มีพนักงานรับผิดชอบอย่างน้อยจำนวนหนึ่งคนต่อหนึ่งสถานีงาน
- 5) แต่ละชั้นงานแบ่งแยกไม่ได้ และต้องถูกจัดสรรลงสถานีงานใดสถานีงานหนึ่ง
- 6) การกำหนดชั้นงานลงสถานีงาน ต้องไม่ละเมิดความสัมพันธ์ก่อนหลังของชั้นงานต่าง ๆ
- 7) ผลรวมเวลาชั้นงานที่บรรจุอยู่ในแต่ละสถานีงาน ต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิตของสายการประกอบแบบหลายคนงาน (รอบเวลาการผลิตร่วมของทุกสายการประกอบย่อย)

การทดลองในงานวิจัยชิ้นนี้ใช้วิธีแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบด้วยโปรแกรม C++

- 1) Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E
- 2) Genetic Algorithms: GAs (NSGA-II)
- 3) Biogeography-Based Optimization: BBO
- 4) Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO

ตารางที่ 1.1 สายการประกอบกรณีศึกษาที่จะใช้ในการแก้ปัญหาจัดสมดุล

ปัญหา	ที่มาของCPD	จำนวนชั้นงาน	รุ่นผลิตภัณฑ์	รอบเวลาการผลิต
1	Roszieg	25	2	15, 18, 22
2	Gunther	35	2	50, 60, 70
3	WeeMag	75	2	30, 36, 42
4	Barthold	148	2	500, 600, 700

1.5 ประโยชน์คาดว่าจะได้รับ

1. ทำให้การแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานมีความยุ่งยากน้อยลงและลดระยะเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

2. สามารถนำวิธีการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานที่ได้จากการวิจัยไปประยุกต์ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพการดำเนินงานสายการประกอบในอุตสาหกรรมจริง
3. สามารถนำผลการวิจัยที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนเป็นแนวทางในการพัฒนาวิธีการจัดสมดุลวิธีอื่น ๆ ต่อไปในอนาคต



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สายการประกอบ (Assembly Line) เป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow-Oriented Production System) ประเภทหนึ่ง โดยภายในระบบประกอบไปด้วยสถานีงานต่าง ๆ ที่ถูกเชื่อมต่อกันไว้ด้วยสายพานหรือระบบขนย้ายวัสดุที่มีความคล้ายคลึงระบบอื่น ๆ ซึ่งคอยทำหน้าที่เคลื่อนย้ายชิ้นงานที่ถูกประกอบจากสถานีงานหนึ่งไปยังอีกสถานีงานหนึ่งด้วยความเร็วคงที่ โดยในแต่ละสถานีงานนั้นจะทำหน้าที่ประกอบชิ้นส่วน, ส่วนประกอบ หรือชิ้นงานระหว่างผลิตเข้าด้วยกันตามคู่มืองานของสถานีงานนั้น ๆ จนกระทั่งได้ออกมาเป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปที่จุดสิ้นสุดของสายการประกอบ

2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป

สายการประกอบสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายลักษณะ โดยอาจพิจารณาจากจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ที่ผลิต, เวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานในแต่ละสถานีงาน หรือรูปร่างของสายการประกอบ (Boysen และคณะ, 2008) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1 ประเภทของสายการประกอบ พิจารณาตามจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ที่ผลิต

หากพิจารณาสายการประกอบตามจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต สามารถแบ่งออกได้เป็น 3 ประเภท ดังนี้

1. สายการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Model Assembly Line) คือ สายการประกอบที่ทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 สายการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว

2. สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Mode Assembly Line) คือสายการประกอบที่ทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกันและสามารถถูกผลิตในสาย

การประกอบเดียวกันได้จำนวน 2 ชนิดขึ้นไป โดยผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะเข้าสู่สายการประกอบโดยไม่มีการจัดลำดับงาน (Sequencing) ที่แน่นอน และสายการประกอบสามารถทำการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดสลับไปมาได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับตั้งเครื่องจักร ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

3. สายการประกอบหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line) คือสายการประกอบที่มีลักษณะเดียวกันกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม แต่ในการดำเนินงานจำเป็นต้องทำการปรับตั้งเครื่องจักรทุกครั้งเมื่อมีการเปลี่ยนชนิดผลิตภัณฑ์ และการจัดลำดับงานมักมีลักษณะเป็นชุด (Batch) ตามชนิดผลิตภัณฑ์ ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 สายการประกอบหลายผลิตภัณฑ์

2.1.2 ประเภทของสายการประกอบพิจารณาตามรูปร่างของสายการประกอบ

สายการประกอบสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามรูปร่างของสายการประกอบได้ 6 ประเภท (Betancourt, 2007) ดังนี้

- 1) สายการประกอบแบบเส้นตรง (Straight Line or Serial Assembly Line) คือสายการประกอบที่ชิ้นงานจะถูกประกอบผ่านทางสถานีงานต่าง ๆ ที่ถูกจัดวางต่อเนื่องกันในแนวเส้นตรง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะไหลในทิศทางเป็นเส้นตรงตั้งแต่สถานีงานแรกไปจนครบสถานีงาน โดยไม่มีการย้อนกลับไปยังสถานีงานก่อนหน้า
- 2) สายการประกอบแบบสองด้าน (Two-Sided Assembly Lines) เป็นสายการประกอบที่มีลักษณะสายการประกอบเป็นเส้นตรง โดยมีสถานีงานอยู่ในทาง

ด้านซ้ายและทางด้านขวา โดยสายการประกอบนี้ถูกออกแบบมาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ เช่น รถยนต์

- 3) สายการประกอบแบบขนาน (Parallel Assembly Lines) เกิดจากสายการประกอบแบบเส้นตรงจำนวนสองเส้นถูกจัดวางในแนวขนานกัน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้เมื่อสายการประกอบเส้นตรงที่มีอยู่เดิมเพียงเส้นเดียวมีกำลังการผลิตที่ไม่เพียงพอ โดยแต่ละสายการประกอบอาจทำหน้าที่ผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวกันหรือผลิตภัณฑ์ที่มีความคล้ายคลึงกัน ภายใต้รอบเวลาการผลิตที่เท่ากันหรือไม่เท่ากันก็ได้
- 4) สายการประกอบรูปตัวยู (U-Shaped Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่มีการจัดวางคล้ายตัวอักษรยู (U) จุดเริ่มต้นกับจุดสิ้นสุดของสายการประกอบจะอยู่ในบริเวณใกล้เคียงกัน โดยในรอบเวลาการผลิตหนึ่ง ๆ แต่ละสถานีงานอาจรับผิดชอบประกอบชิ้นงานมากกว่าหนึ่งชิ้นในบริเวณที่แตกต่างกันก็ได้
- 5) สายการประกอบแบบวงกลมหรือแบบปิด (Circle/Closed Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่บรรดาสถานีงานถูกจัดวางรอบ ๆ ระบบสายพานลำเลียงรูปวงกลม (หรือกลไกอื่น ๆ ที่มีความคล้ายคลึง)
- 6) สายการประกอบแบบหลายคนงาน (Multi-manned Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่มักใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตที่มีผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่จะประกอบไปด้วยพนักงานมากกว่า 1 คน ปฏิบัติงานในช่วงเวลาเดียวกันบนผลิตภัณฑ์เดียวกัน แต่พนักงานแต่ละคนจะปฏิบัติชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป และพนักงานแต่ละคนจะไม่มีภารกิจการทำงานร่วมกันและกันบนสายการประกอบนั้น ๆ ขวา โดยสายการประกอบนี้ถูกออกแบบมาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ เช่น รถบรรทุก

2.2 ฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์

วิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้คือ วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) โดยค่าที่สำคัญที่จะต้องมีการกำหนดคือ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับกลุ่มคำตอบที่ได้โดยใช้การจัดลำดับคำตอบแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) คำตอบที่อยู่ใน Pareto Optimal Set หรือ Pareto Optimal Front จะเป็นกลุ่มคำตอบ

ที่ดีที่สุด โดยที่กลุ่มคำตอบที่อยู่ในนี้จะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่ากลุ่มคำตอบใดเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีกว่ากันหรือที่เรียกว่า Non-dominated Solution จากกลุ่มของคำตอบอื่น โดยในการพิจารณาว่ากลุ่มคำตอบที่เหมาะสมนั้นควรจะมีความสมบัติที่ต้องคำนึงดังนี้

1. กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีการลู่เข้ากลุ่มคำตอบที่แท้จริงหรือควรเป็นสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่แท้จริง
2. กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีคำตอบที่หลากหลาย
3. กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีคำตอบที่ตรงกับกับปลายสุดของกลุ่มคำตอบในส่วนพื้นที่ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาได้
4. จำนวนกลุ่มคำตอบที่ดีที่ไม่ถูกรอรับที่อัลกอริทึมสามารถทำการค้นหาได้

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาไปพร้อมกันทั้งหมด ดังสมการที่ 2.1

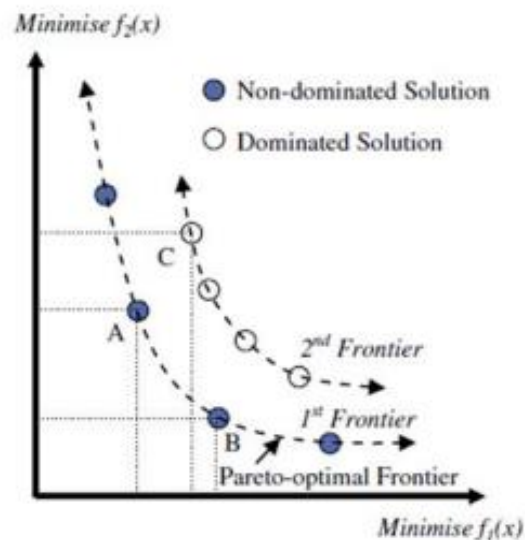
$$\text{Minimize: } \{f_1(\bar{x}), f_2(\bar{x}), \dots, f_k(\bar{x})\} \quad (2.1)$$

โดย \bar{x} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรในการตัดสินใจ

$f_k(\bar{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละเรื่อง

ถ้าเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ x ให้คำตอบที่ดีกว่าเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ y แล้วจะได้ว่า $f_i(x) \leq f_i(y)$ สำหรับทุกค่า $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ และ $f_i(x) < f_i(y)$ มีอย่างน้อย 1 ค่าของ $i \in \{1, 2, \dots, k\}$

จากรูปที่ 2.4 เป็นการพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ฟังก์ชันโดยจุดแต่ละจุดจะแทนกลุ่มคำตอบที่ทำได้ โดยจะเห็นว่าจุดของ A และ B จะเป็นจุดของกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Frontier) โดยที่ A กับ B จะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่า จุดใดเป็นจุดที่ให้คำตอบได้ดีกว่ากันเรียกว่า Non-dominated set แต่สามารถบ่งบอกได้ว่าจุด A และ B เป็นจุดของคำตอบที่ดีกว่าจุด C



รูปที่ 2.4 Pareto Optimal Solution (पालิตา, 2553)

วัตถุประสงค์ที่ถูกลำเสนอในงานวิจัยนี้ อันได้แก่กลุ่มที่เกี่ยวข้องกับประสิทธิภาพของสายการประกอบ และกลุ่มที่เกี่ยวข้องกับปริมาณภาระงานในแต่ละสถานีงาน จะถูกนำมาใช้ในการวิจัยครั้งนี้ จำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ โดยการประเมินผลแต่ละวัตถุประสงค์จะเกิดขึ้นอย่างเป็นลำดับขั้นตอน นั่นคือ หาค่าที่เหมาะสมที่สุดของวัตถุประสงค์อันดับหนึ่งเป็นลำดับแรกก่อน ต่อด้วยวัตถุประสงค์อันดับสองและวัตถุประสงค์อันดับสามซึ่งเป็นสองวัตถุประสงค์ที่มีความขัดแย้งกัน โดยวัตถุประสงค์ทั้งหมดมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

วัตถุประสงค์อันดับหนึ่งซึ่งมีความสำคัญมากที่สุดคือ จำนวนพนักงานมีปริมาณน้อยที่สุด (Number of Worker: N_W) หมายถึงจำนวนพนักงานที่ใช้ในระบบการผลิตน้อยที่สุดดังสมการที่ 2.2 กล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ค่าจ้างพนักงานซึ่งมีค่าสูงกว่าค่าใช้จ่ายในการเพิ่มพื้นที่อย่างมีนัยสำคัญ จะถูกทำให้มีค่าต่ำที่สุดนั่นเอง

$$\text{Minimize : } N_W \quad (2.2)$$

วัตถุประสงค์อันดับสองซึ่งมีความสำคัญรองลงมาคือ จำนวนสถานีงานมีปริมาณน้อยที่สุด (Number of Station : N_S) ซึ่งหมายถึงการทำให้สายการประกอบที่ได้มีขนาดสั้นที่สุด หรือทำให้มีการสูญเสียพื้นที่ใช้สอยน้อยที่สุดนั่นเอง ดังสมการที่ 2.3

$$\text{Minimize : } N_S \quad (2.3)$$

วัตถุประสงค์อันดับที่สามคือ จัดสมดุลปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงาน และทำให้งานภายในแต่ละสถานีงานมีความเกี่ยวเนื่องกันมากที่สุด ซึ่งวัตถุประสงค์ย่อยทั้งสองนี้มีความขัดแย้งซึ่งกันและกัน กล่าวคือ การพยายามที่จะทำให้ปริมาณภาระงานในแต่ละสถานีมีค่าเท่า ๆ กัน อาจต้องยอมให้ความเกี่ยวเนื่องของบรรดางานที่อยู่ในแต่ละสถานีงานนั้นลดลงไป และในทางตรงกันข้าม การ

พยายามทำให้งานต่าง ๆ ในสถานีนงานมีความเกี่ยวเนื่องกัน อาจส่งผลให้ปริมาณภาระงานระหว่างแต่ละสถานีนงานนั้นไม่สมดุลเท่าที่ควร

สำหรับวัตถุประสงค์ในการทำให้ปริมาณภาระงานระหว่างสถานีนงานเกิดการสมดุลกัน (Balancing Workload Between Workstation : B_b) มากที่สุดแสดงดังสมการที่ 2.4 ซึ่งทั้งนี้ B_b จะมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1 โดยค่า B_b ยิ่งมีค่าต่ำจะยิ่งแสดงให้เห็นว่าการกระจายภาระงานระหว่างสถานีนงานมีความสมดุลมากที่สุด กำหนดให้ N_w คือ จำนวนพนักงาน, S_{kb} คือ เวลาว่างงานบนสถานีนงานที่ k ด้าน b และ WIT คือ ผลรวมเวลาว่างของสายการผลิต

$$\text{Minimize } B_b = \frac{N_w}{N_w - 1} \sum_{k=1}^{N_w} \sum_{b=L}^F \left(\frac{S_{kb}}{WIT} - \frac{1}{n} \right)^2 \quad (2.4)$$

และสำหรับวัตถุประสงค์สุดท้าย คือการทำให้บรรดางานภายในสถานีนงานต่าง ๆ มีความเกี่ยวเนื่องกันมากที่สุด โดยผู้ปฏิบัติงานจะมีความพึงพอใจหากงานที่ได้รับมอบหมายนั้นถูกจัดสรรอย่างชัดเจนและอาศัยทักษะที่เกี่ยวข้องกันเพียงทักษะเดียวในการทำงานแต่ละครั้ง และถึงแม้ว่าผู้ปฏิบัติงานจะได้รับการอบรมให้มีทักษะที่หลากหลายก็ตาม แต่ย่อมมีทักษะงานหลักที่สามารถทำได้ดีกว่าทักษะรอง ดังนั้น หากจัดเอากลุ่มชิ้นงานที่มีความเกี่ยวเนื่องกันบรรจุลงในสถานีนงาน และให้รับผิดชอบโดยผู้ปฏิบัติงานที่มีทักษะความถนัดหลักสอดคล้องกับชิ้นงานเหล่านั้น ย่อมทำให้สายการประกอบมีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพมาก ชิ้นงานที่เกี่ยวข้องกันโดยตรงควรถูกกำหนดลงในสถานีนงานเดียวกันให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้ ทั้งนี้ SN_j คือ จำนวนข่ายงานที่เกี่ยวข้องกันในสถานีนงาน j ทั้งนี้ ค่า IWR ยิ่งมีค่ามาก ความเกี่ยวเนื่องของงานก็จะยิ่งสูง อย่างไรก็ตาม การเปรียบเทียบค่า IWR ระหว่างผลการจัดสมดุลหลาย ๆ รูปแบบที่มีจำนวนสถานีนงานไม่เท่ากันอาจไม่สื่อความหมายใด ๆ เนื่องจากค่า IWR จะมีแนวโน้มสูงขึ้นตามจำนวนของสถานีนงาน ดังนั้น จึงดัดแปลงวัตถุประสงค์ให้อยู่ในรูปของการทำให้ Modified Index of Work Relatedness (MIWR) ให้มีค่าน้อยที่สุด ดังสมการที่ 2.5

$$\text{Minimise } MIWR = N_w - \frac{N_w}{\sum_{j=1}^{N_w} SN_j} \quad (2.5)$$

2.3 การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization)

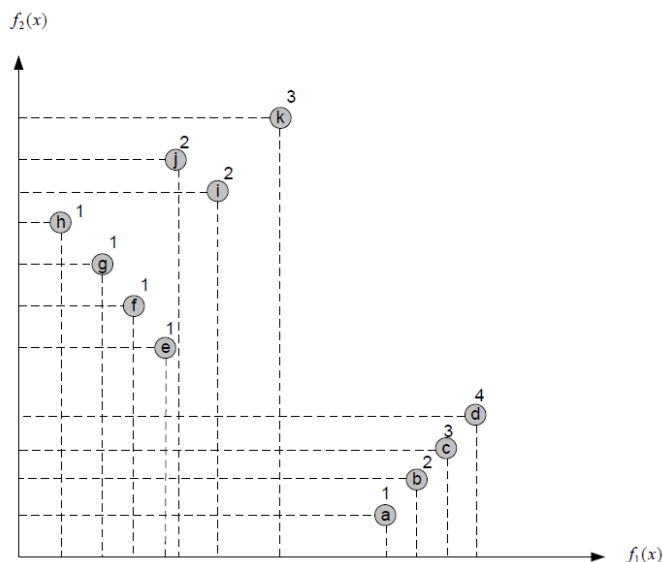
การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) คือกระบวนการหาค่าตอบที่ดีที่สุดของปัญหา โดยคำตอบนั้นจะต้องไม่ละเมิดต่อข้อจำกัดหรือเงื่อนไขที่มีอยู่ ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Optimization Problem) โดยในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะประกอบไปด้วยเวกเตอร์ตัวแปรตัดสินใจ (Vector of Decision Variables), ข้อจำกัด (Constraints) และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Functions)

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือเกณฑ์ที่เป็นตัวกำหนดว่าเป้าหมายในการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดจะเป็นไปในลักษณะใด โดยส่วนใหญ่แล้วจะมีเป้าหมายเพื่อหาค่าที่มากที่สุด (Maximization) หรือน้อยที่สุด (Minimization) การแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือการหาเซตของคำตอบภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region) ที่ทำให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทุกฟังก์ชันที่กำหนดมีค่าที่ดีที่สุดพร้อม ๆ กันไป ซึ่งเป้าหมายของเหล่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์อาจเป็นรูปแบบที่ทุกฟังก์ชันต้องการค่าน้อยที่สุดหรือมากที่สุด โดยรูปแบบของปัญหาในการวิจัยครั้งนี้เป็นรูปแบบที่มีเป้าหมายให้ทุก ๆ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มีค่าน้อยที่สุด

เนื่องจากปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นเป็นปัญหาแบบ NP-Hard ที่การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั้นเป็นไปได้ยากมาก หรืออาจไม่สามารถหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้เลย จึงทำให้เกิดอัลกอริทึมต่าง ๆ ขึ้นมาเพื่อมีเป้าหมายที่จะหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือมีค่าที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งปกติแล้วการประมาณคำตอบที่ดีจะเกี่ยวข้องกับสองกระบวนการ ได้แก่ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับคำตอบและการกระจายประชากรคำตอบ (Population Diversify) เพื่อให้ในท้ายที่สุดจะได้คำตอบที่ดีซึ่งมีลักษณะของขอบเขตใกล้เคียงกับขอบเขตของกลุ่มคำตอบที่แท้จริงและควรเป็นเซตย่อยของกลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบมีการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ไม่เกาะอยู่บนบริเวณใดบริเวณหนึ่งควรจับสเปกตรัมของขอบเขตกลุ่มคำตอบที่แท้จริงทั้งหมดได้ กล่าวคือ สามารถสืบค้นถึงคำตอบที่อยู่ปลายสุดของกลุ่มคำตอบในพื้นที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมดได้

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) นั้นมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดอันดับคำตอบที่ดีที่สุดในกลุ่มคำตอบที่กำลังพิจารณา โดยวิธีการกำหนดค่าความแข็งแรงนั้นมีอยู่ด้วยกันหลายวิธี เช่น วิธีการโกลโปรแกรมมิ่ง (Goal Programming Approach), วิธีการประเมินผลเวกเตอร์ (Vector Evaluation Approach), วิธีการรวมถ่วงน้ำหนัก (Weighted Sum Approach) และรวมไปถึงวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-Based Approach) โดยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดนี้สามารถแบ่งออกได้ในหลายแนวทาง อาทิเช่น วิธีการการจัดอันดับของ Goldberg (หรือมีอีกชื่อ Non-Dominated Sorting), วิธีการจัดอันดับของ Fonseca และ Fleming, วิธีการจัดอันดับแบบ Accumulate Ranking Density Strategy (AARS) และวิธีการจัดอันดับแบบ Strength of Dominators ซึ่งในการวิจัยครั้งนี้จะใช้วิธีการจัดลำดับของ Goldberg ในการกำหนดค่าความแข็งแรงของประชากรคำตอบ โดยรูปที่ 2.5 แสดงตัวอย่างการพล็อตกราฟเพื่อจัดลำดับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาที่มีสองวัตถุประสงค์ซึ่งต้องการค่าน้อยที่สุดทั้งคู่ แกน x และ y แสดงค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่หนึ่ง $f_1(x)$ และสอง $f_2(x)$ ของแต่ละคำตอบตามลำดับ จะเห็นได้ว่าค่าคำตอบ a, e, f, g และ h ต่างก็เป็นคำตอบที่ไม่ได้ถูกรอรับงำด้วยคำตอบใด จึงถูกกำหนดให้มีอันดับที่หนึ่ง จากนั้นจะตัดกลุ่มคำตอบที่ถูกจัดอันดับแล้วออกไปก่อน

และจัดอันดับคำตอบถัดไปที่ไม่ถูกรอบงำจากคำตอบใดเลยให้เป็นอันดับที่สอง ซึ่งก็คือคำตอบ b, i และ j นั้นเอง และจะทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนจัดอันดับครบทุกคำตอบ



รูปที่ 2.5 วิธีการจัดอันดับของ Goldberg (Goldberg, 1989)

ขณะที่กระบวนการที่สองที่จะใช้กับกลุ่มคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดนั้นคือ การกระจายประชากรคำตอบนั้น มีวัตถุประสงค์เพื่อให้ประชากรคำตอบมีการกระจายตัวอยู่บนขอบเขตกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดแบบสม่ำเสมอ ไม่เกาะกลุ่มกันอยู่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง ซึ่งกระบวนการนี้จัดว่าเป็นการแบ่งปันค่าความแข็งแรง (Fitness Sharing) เพื่อลดทอนค่าความแข็งแรงของสมาชิกคำตอบที่มีความแข็งแรงเท่ากันที่อยู่เกาะกันเป็นกลุ่ม โดยวิธีที่ใช้ในการลดทอนค่าความแข็งแรงนั้นคือวิธี Crowding Distance ซึ่งเป็นวิธีที่จะใช้สำหรับการวิจัยในครั้งนี้

2.4 การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น

ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์นั้นนอกจากต้องการให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว ยังต้องการให้คำตอบที่ได้มีความหลากหลาย หรือมีการกระจายตัวบน Front ในกราฟค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์อย่างสม่ำเสมอโดยที่ไม่เกาะกลุ่มกันอยู่ที่บริเวณใดบริเวณหนึ่งโดยเฉพาะอีกด้วย วิธีการสร้างความหลากหลายให้กับประชากรคำตอบนั้นทำได้โดยการลดทอนความแข็งแรงของบรรดาคำตอบบน Front เดียวกันที่เกาะกลุ่มกันอยู่ให้น้อยลง เพื่อลดบทบาทของคำตอบเหล่านั้นที่มีต่อกระบวนการแก้ปัญหา เช่น ลดโอกาสที่จะถูกเลือกไปเป็นประชากร

คำตอบพ่อแม่ในแต่ละรอบของกระบวนการแก้ปัญหาหรือถูกเลือกไปเป็นดำเนินการอื่นๆ ระหว่างการค้นหาคำตอบ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แม้คำตอบใดๆ ก็ตามจะถูกลดทอนความแข็งแรงให้ต่ำกว่าคำตอบอื่นๆ บน Front เดียวกัน แต่ถือว่าคำตอบนั้นยังคงมีความแข็งแรง (คุณภาพ) สูงกว่าคำตอบอื่นๆ ที่อยู่บน Front ที่แย่กว่า

วิธีการที่นำมาใช้ในการสร้างความหลากหลายให้กับคำตอบในงานวิจัยนี้มีชื่อว่าวิธีการวัดระยะความหนาแน่น (Crowding Distance Approach) (Dep et al., 2002) เป็นวิธีการที่มีความสามารถในการทำให้คำตอบที่ดีที่สุดบน Pareto-optimal Front มีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอมากขึ้น วิธีการนี้มีไว้ใช้ในการชี้วัดว่าแต่ละคำตอบนั้นตั้งอยู่บนตำแหน่งที่มีความหนาแน่นของคำตอบเพียงใดเมื่อพิจารณาเฉพาะในกลุ่มของคำตอบบน Front เดียวกัน คำตอบที่มีค่า Crowding Distance สูงแสดงว่าอยู่ในตำแหน่งที่มีการกระจายตัวของคำตอบดี ในทางตรงกันข้าม คำตอบที่มีค่า Crowding Distance ต่ำแสดงว่าอยู่ในตำแหน่งที่มีการเกาะกลุ่มของคำตอบสูง การคำนวณค่า Crowding Distance ของคำตอบใดๆ ก็ตามจะมีความเกี่ยวข้องกับบรรดาคำตอบที่อยู่ Front เดียวกันเท่านั้น โดยมีขั้นตอนในการคำนวณดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ l คือจำนวนคำตอบทั้งหมดบน Front ที่กำลังพิจารณา $x_{[i,k]}$ คือคำตอบ x ใดๆ บน Front นั้น ซึ่งเป็นคำตอบลำดับที่ i เมื่อเรียงตามค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k จากน้อยไปมาก โดย $i = \{1, \dots, l\}$, $i = \{1, \dots, l\}$ และ $k = \{1, \dots, K\}$ และกำหนดให้ $cd_k(x_{[i,k]})$ คือค่า Crowding Distance ในแนวค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบ $x_{[i,k]}$ เมื่อพิจารณาในแนวค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ใดๆ คำตอบลำดับที่ 1 (มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด) และลำดับสุดท้ายหรือลำดับที่ l (มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด) จะถูกกำหนดให้มีค่า Crowding Distance เท่ากับอนันต์เสมอ หรือเขียนเป็นสัญลักษณ์ได้ว่า $cd_k(x_{[1,k]}) = \infty$ และ $cd_k(x_{[l,k]}) = \infty$ ทั้งนี้ เนื่องจากคำตอบทั้งสองเป็นคำตอบที่กำหนดขอบเขตของ Front ซึ่งจะต้องถูกนำไปใช้ในกระบวนการค้นหาคำตอบอยู่เสมอ จึงต้องไม่ถูกลดทอนความแข็งแรงออกไป ส่วนค่า Crowding Distance ของคำตอบอื่นๆ สามารถคำนวณได้จากสมการนี้

$$cd_k(x_{[i,k]}) = \frac{f_k(x_{[i+1,k]}) - f_k(x_{[i-1,k]})}{f_k^{max} - f_k^{min}} \quad (2.6)$$

เมื่อ $f_k(x_{[i+1,k]})$ และ $f_k(x_{[i-1,k]})$ คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ของคำตอบ $x_{[i+1,k]}$ และ $x_{[i-1,k]}$ ตามลำดับ

f_k^{max} และ f_k^{min} คือค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ k ที่มากที่สุดและน้อยที่สุดของกลุ่มคำตอบบน Front ตามลำดับ

ขั้นตอนที่ 2 ค่า Crowding Distance ของคำตอบ x หรือ $cd(x)$ สามารถคำนวณได้จากการรวมเอาค่า Crowding Distance ในทุกแนวค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ k ของคำตอบ x เองเข้าไว้ด้วยกัน หรือเขียนเป็นสมการได้ว่า

$$cd(x) = \sum_{k=1}^K cd_k(x_{[i,k]}) \quad (2.7)$$

2.5 สมมติฐานในการจัดสมดุลสายการประกอบ

การวิจัยครั้งนี้จะทำการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบขนานภายใต้หลายวัตถุประสงค์ โดยมีสมมติฐานดังนี้

1. แต่ละชั้นงานจะถูกกำหนดลงในสถานีนงานได้เพียงสถานีนงานเดียวเท่านั้น
2. เวลาร่วมที่ใช้สำหรับชั้นงาน (Common Task Time) ทั้งหมดที่ถูกกำหนดลงในสถานีนงานหนึ่ง ๆ ต้องไม่เกินรอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ที่กำหนดให้
3. ใช้แผนผังแสดงลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังร่วม (Combined Precedence Diagram: CPD) ในการจัดสมดุล ซึ่งสังเคราะห์มาจากแผนผังแสดงลำดับความสัมพันธ์เดิมของผลิตภัณฑ์ที่เกี่ยวข้องทุกรุ่น
4. การกำหนดชั้นงานลงสถานีนงาน ต้องไม่ละเมิดความสัมพันธ์ก่อนหลังของชั้นงานต่าง ๆ

2.6 การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

การวัดคุณภาพของกลุ่มคำตอบที่ได้จากการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์นั้น จะมีเป้าหมายที่สำคัญคือ กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal) จำต้องมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal) หรือมีการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบอย่างสม่ำเสมอ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จำเป็นต้องใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้งสิ้น 6 ตัวชี้วัด เพื่อเป็นการบ่งบอกถึงคุณภาพของคำตอบที่ได้จากแต่ละอัลกอริทึม ดังต่อไปนี้

2.6.1 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto

Optimal Solution) กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหรือกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Solution) โดยมีการสุตรคำนวณดังนี้

$$\text{Convergence} = \frac{1}{|S^*|} \sum_{y \in S^*} \min\{d_{xy} \mid x \in S_j\} \quad (2.8)$$

กำหนดให้ $d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}}\right)^2}$

S_j คือ เซตคำตอบในการเปรียบเทียบ

S^* คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$|S^*|$ คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

d_{xy} คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับ y คำตอบที่แท้จริง

f_i^{\max} & f_i^{\min} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด

$f_i(x)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่หาได้

$f_i(y)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่แท้จริง

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง นั่นคือ อัลกอริทึมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่ดีกว่า

2.6.2 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการวัดการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีการสุตรคำนวณดังนี้

$$\text{Spread} = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} |d_i - \bar{d}|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \quad (2.9)$$

กำหนดให้ d_f & d_l คือ ระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน

\bar{d} คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i

d_i คือ ระยะห่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อ $i =$

$1, 2, \dots, N - 1$

N คือ จำนวนคำตอบที่หาได้

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้นั้นมีการกระจายสม่ำเสมอ

2.6.3 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-Dominated Solution) นี้ไว้ใช้แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้โดยอัลกอริทึมที่

พิจารณานั้นมีจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำจากคำตอบที่อัลกอริทึมอื่น ๆ หามาได้ทั้งหมดคิดเป็นอัตราส่วนเท่าใด โดยแบ่งค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนเป็น 2 ค่าชี้วัดสมรรถนะดังต่อไปนี้

2.6.3.1 Ratio of non-dominated solutions (self-comparison)

การเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (First Pareto frontier solution) ที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Approximated True Pareto optimum) ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีในตัวเอง (Own first Pareto frontier solutions) โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$R_{NDS1} = \frac{|A_j - \{x \in A_j \mid \exists y \in A: y < x\}|}{|A_j|} \quad (2.10)$$

2.6.3.2 Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison)

การเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$R_{NDS2} = \frac{|A_j - \{x \in A_j \mid \exists y \in A: y < x\}|}{|A|} \quad (2.11)$$

กำหนดให้ A_j คือ กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึม j หามาได้ทั้งหมด เมื่อ $j = 1, 2, \dots, j$

A คือ เซตที่รวมเอาเซตคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหามาได้ของทุกอัลกอริทึมเข้าไว้ด้วยกัน

$$\text{ซึ่ง } A = A_1 \cup A_2 \dots \cup A_j$$

x คือ คำตอบที่หาได้

y คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$y < x$ คือ คำตอบ x แย่กว่าคำตอบ y

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้นั้นมีคำตอบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

2.6.4 การวัดสมรรถนะของจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ

จำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (The number of non-dominated solution) คือ จำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดของตัวเอง (First Pareto frontier obtained)

2.7 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบจะมีอยู่เป็นจำนวนมาก แต่โดยส่วนใหญ่มักจะมุ่งเน้นไปที่สายการประกอบเดี่ยว ซึ่งทำหน้าที่ผลิตสินค้าเพียงชนิดเดียวหรือสินค้าชนิดที่มีหลายรุ่นปะปนกันไปนั้น แต่ในลักษณะตรงกันข้ามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคน (Multi-manned Assembly Line) ซึ่งเป็นหนึ่งในปัญหารูปแบบหนึ่งเพื่อใช้ในการศึกษาความเป็นไปได้ในการ ซึ่งการจะศึกษาการจัดสมดุลสายการประกอบนั้นจะมีจำนวนข้อมูลงานวิจัยค่อนข้างจำกัด ทางผู้ทำงานวิจัยจึงได้ทำการศึกษางานวิจัยและได้รวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับสายการประกอบจากผลงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ตลอดจนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้อัลกอริทึมจากผู้ทำงานวิจัยที่ได้ศึกษาการจัดสมดุลสายการผลิตที่ศึกษาเกี่ยวกับสายการผลิตแบบผสมและมีค่าวัตถุประสงค์ที่หลากหลายเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยต่อไป ดังที่จะแสดงในลำดับต่อไปนี้

(Fattahi และคณะ, 2011) ทำการศึกษาการผลิตของสายการประกอบที่มีผลิตภัณฑ์ขนาดใหญ่ (อุตสาหกรรมยานยนต์) ซึ่งบ่อยครั้งที่การจัดสมดุลสายการประกอบจำเป็นต้องเป็นแบบสถานีงานแบบหลายคน (Multi-manned Assembly Line) เพราะว่าพนักงานจะต้องปฏิบัติงานที่แตกต่างกันไปอย่างพร้อม ๆ กันตามแต่ละผลิตภัณฑ์ที่เข้ามา งานวิจัยชิ้นนี้จึงเป็นการนำเสนอรูปแบบ (Model) มีประกอบด้วยหัวข้อวัตถุประสงค์ดังนี้ 1. ต้องการจำนวนพนักงานน้อยที่สุด 2. ต้องการมีจำนวนสถานีงานแบบหลายคน (Multi-manned Station) น้อยที่สุด ซึ่งรูปแบบปัญหาเหล่านี้เป็นที่รู้จักกันดีว่าเป็นแบบ NP-HARD ทางผู้วิจัยจึงได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติก โดยใช้ Ant Algorithm และนำไปเปรียบเทียบกับรูปแบบการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบอื่น ๆ ต่อไป

(Konak, 2006) ศึกษาการหาคำตอบที่มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Multiple Objective) โดยได้มีการนำเอาอัลกอริทึมที่มีชื่อว่า เจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องนี้ โดยได้มีผู้นำเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้กับอัลกอริทึมต่างๆ มากมาย เช่น Vector Evaluated GA (VEGA), Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA) (Fonseca และ Fleming, 1993), Niched Pareto Genetic Algorithm (NPGA), Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) และ Fast Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) เป็นต้น โดยจากผลการวิจัยปรากฏว่าเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพมากกว่าในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ได้

(Simon, 2008) ได้มีการนำเสนออัลกอริทึมใหม่ที่มีชื่อว่าวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography Based Optimization: BBO) โดยใช้แนวคิดการย้ายถิ่นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีความต้องการที่จะอยู่อาศัยในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้าพื้นที่ที่อยู่

นั้นมีความหนาแน่น สิ่งมีชีวิตจะเริ่มทำการย้ายที่อยู่อาศัยไปสู่ที่อื่นที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่า และพัฒนาที่อยู่ใหม่ให้มีความอุดมสมบูรณ์เพิ่มขึ้น โดยวิธีการหาค่าความเหมาะสมแบบการกระจายของ สิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์นี้ได้มีการเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาด้วยอัลกอริทึมอื่น ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ หลายตัว

(นพพล, 2008) ได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสาย การประกอบแบบตัวยู โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรและความผันแปรของ ภาระงานในระบบการผลิตน้อยที่สุด ผลจากงานวิจัยพบว่า COIN จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อได้มีการ รวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์บน สายการประกอบลักษณะตัวยูได้มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ จากงานวิจัยที่กล่าวมา พบว่า COIN มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว เนื่องจากมีการจดจำลักษณะตำแหน่งของ คู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันและมีการจดจำลักษณะตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ที่ดีและไม่ดี

(วันวิสา, 2012) ได้ศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านโดยมีเรื่อง ของผลกระทบจากการเรียนรู้เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์โดยพิจารณาไปพร้อมกันได้แก่ ความแปรผันของการผลิตน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่ เสร็จน้อยที่สุด และเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด โดยนำอัลกอริทึมที่มีการยอมรับว่ามี ประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาประเภทนี้มาเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพได้แก่ BBO, NSGA-II, DPSO, PSONK และ BBO Adaptive โดยผลการวิจัยพบว่าวิธี BBO Adaptive มีประสิทธิภาพในการ แก้ปัญหามากกว่าวิธีการอื่น ๆ

(Liao และคณะ, 2007) ได้ทำการใช้อัลกอริทึม Particle Swarm Optimization (PSO) ใน การสร้างตารางการผลิตแบบไหลเลื่อน โดยอาศัยอนุภาค (Particle) และทิศทางในการเคลื่อนที่ (Velocity) เพื่อไปหาคำตอบ โดยมาทำการเปรียบเทียบกับ CPSO และ GA จากผลลัพธ์สรุปได้ว่า วิธีการแบบ PSO ให้คำตอบที่ดีกว่า นอกจากนั้นนำมาทำการประยุกต์ใช้ร่วมกับการค้นหาแบบ เฉพาะที่ (PSO-LS) และได้เปรียบเทียบกับ Ant-Colony Algorithm (ACO) ซึ่งพบว่า PSO-LS ยังคง ให้คำตอบที่ดีกว่าเช่นกัน

บทที่ 3

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย

วิธีการแบบบรรจบแบบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) มีแนวคิดหลักคือการศึกษาค่าความน่าจะเป็นของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (No Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันเพื่อนำมากำหนดทิศทางการหาค่าตอบสุดท้าย โดยทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นขึ้นมาแล้วทำการสุ่มเลือกเพื่อมาสร้างประชากรเริ่มต้น โดยจะมีการปรับปรุงความน่าจะเป็นตลอดเวลาในกระบวนการแต่ละรอบ โดยปรับปรุงคำตอบทั้งดีและไม่ดี ซึ่งเมื่อได้คำตอบที่ดีจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกเพิ่มขึ้น เพื่อจะได้นำไปใช้ในการสุ่มเพิ่มขึ้นในรอบถัดไป แต่ถ้าคำตอบที่ไม่ดีจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกลดลง เพื่อจะได้นำไปใช้ในการสุ่มน้อยลงในรอบถัดไป

3.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย

ในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดของ COIN มาทำการประยุกต์ในการหาค่าตอบที่เหมาะสมโดยจากวิธีการเดิมนั้นจะใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการเลือกเพื่อนำสู่คำตอบที่เหมาะสม แต่วิธีการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E) จะมีตารางความน่าจะเป็นร่วมเพิ่มขึ้นมาอีกสามตาราง ซึ่งได้มาจากการหาค่าตอบของแต่ละวัตถุประสงค์เพื่อมาทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยทำการนำคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีมาทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าน้อยสุดในรอบนั้นจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แต่ถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่ามากสุดในรอบนั้นจะทำการลดค่าความน่าจะเป็นลง เพื่อที่จะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้ก็จะมีกระจายตัวของคำตอบมากกว่าวิธีการแบบ COIN แบบเดิม ซึ่งวิธีการแบบ COIN-E นั้นจะเริ่มจากการสร้างตารางความน่าจะเป็นมาทั้งหมด 3 ตาราง

1. ตารางวิธีการแบบบรรจบ (COIN)
2. ตารางจากวัตถุประสงค์สาม
3. ตารางจากวัตถุประสงค์สี่

โดยแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบ จากการแบ่งสัดส่วนในการสุ่มของแต่ละตารางเป็น 80:10:10 โดยจะทำการทดสอบเพื่อให้ได้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

3.2 การค้นหาเฉพาะที่

การค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) หรือ Hill Climbing เป็นวิธีการที่ช่วยในการปรับปรุงคำตอบ หรือช่วยในการค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าเดิม โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งขึ้นมาเพื่อทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง การค้นหาเฉพาะที่มีจุดประสงค์เพื่อทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ และปรับปรุงคำตอบให้มีค่าที่ดียิ่งขึ้น โดยมีแนวคิดจากการลองผิดลองถูก (Trial and Error) การค้นหาเฉพาะที่จะทำการค้นหาไปเรื่อยๆ จนครบจำนวนครั้งในการวนซ้ำหรือคำตอบที่ได้ไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นได้อีก โดยการค้นหาเฉพาะที่ในงานวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธี Pairwise Interchange (PI) เป็นวิธีการแลกเปลี่ยนตำแหน่งสองตำแหน่ง ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบในการค้นหาเฉพาะที่ทั้งหมด $\binom{n}{2}$ ตัวอย่างเช่น มีเส้นทางการเดินทางเป็น A-B-C-D พนักงานขายจะมีเส้นทางทั้งหมด $\binom{4}{2}$ เท่ากับ 6 เส้นทาง คือ B-A-C-D, C-B-A-D, D-B-C-A, A-C-B-D, A-D-C-B และ A-B-D-C โดยทำการพิจารณาเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด เป็นต้น

3.2.1 ปัจจัยสำคัญในการค้นหาเฉพาะที่

1. ความถี่ในการค้นหาเฉพาะที่ (G) เป็นรอบจำนวนครั้งที่ในการค้นหาเฉพาะที่ แต่จะส่งผลต่อเวลาที่ใช้ในการคำนวณ
2. จำนวนคำตอบในการค้นหาเฉพาะที่ ซึ่งเป็นค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดขึ้นมาจากค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) โดยคำตอบที่ทำการเลือกมานั้นต้องเป็นคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงน้อยที่สุด
3. จำนวนการทำซ้ำในแต่ละรอบ ขึ้นอยู่กับจำนวนครั้งที่กำหนด (T) ซึ่งถ้าการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถทำการปรับปรุงคำตอบที่ดีขึ้นได้ใน k ครั้งติดต่อกัน จะทำการหยุดกระบวนการค้นหาเฉพาะที่
4. ลักษณะการค้นหาเฉพาะที่ คือ
 - (1) การค้นหาแบบปรับปรุงครั้งแรก
 - (2) การค้นหาแบบปรับปรุงที่ดีที่สุด

3.2.2 หลักการยอมรับคำตอบที่ดี

หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria) เป็นกฎในการตัดสินใจเลือกคำตอบที่ได้หลังจากการค้นหาเฉพาะที่ โดยงานวิจัยนี้ได้ใช้ 4 กฎ ในการตัดสินใจเลือกกว่ายอมรับคำตอบที่ได้จากก่อนหรือหลังการค้นหาเฉพาะที่ โดยมีกฎการยอมรับว่าคำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่ให้คำตอบที่ดีขึ้น

ตารางที่ 3.1 หลักการยอมรับ (Acceptance Criteria)

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

เมื่อ S เป็นคำตอบที่ได้ก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่
 S' เป็นคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่
 f_i^{max} เป็นค่ามากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i เมื่อ $i = 1, 2$
 f_i^{min} เป็นค่าน้อยที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i เมื่อ $i = 1, 2$

จากตารางที่ 3.1 สามารถสรุปได้ดังต่อไปนี้

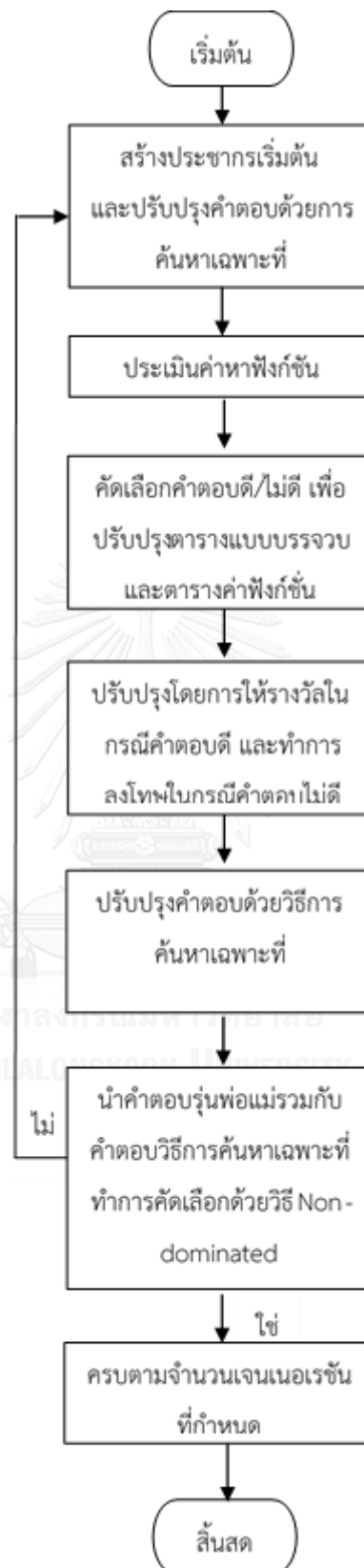
กฎการยอมรับที่ 1 หมายความว่า คำตอบที่ได้ภายหลังจากการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 น้อยกว่าคำตอบเดิม นั่นคือ คำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 2 หมายความว่า คำตอบที่ได้ภายหลังจากการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 น้อยกว่าคำตอบเดิม นั่นคือ คำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 3 จะทำการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์พร้อมกัน 2 วัตถุประสงค์ นั่นคือ คำตอบที่ได้ภายหลังจากการค้นหาเฉพาะที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และ 2 น้อยกว่าคำตอบเดิม จัดได้ว่าคำตอบที่ได้หลังการค้นหาเฉพาะที่ เด่นกว่าคำตอบก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่

กฎการยอมรับที่ 4 ใช้ในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ไม่สามารถสรุปได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีกว่า จึงทำการคณน้ำหนักกับผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 ทั้งก่อนและหลังการค้นหาเฉพาะที่ และรวมกับผลต่างของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ของทั้งก่อนและหลังการค้นหาเฉพาะที่ คณด้วยค่าน้ำหนักที่เหลือ ซึ่งจะทำการยอมรับคำตอบหลังการค้นหาเฉพาะที่ต่อเมื่อผลการคณรวมที่ได้มีค่าน้อยกว่าศูนย์





รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบบรรจบแบบขยาย

3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิต

ขั้นตอนของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนที่นำเสนอในงานวิจัยเป็นดังนี้

1. ทำการสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นโดยพิจารณาที่จำนวนความยาวของชิ้นงานเท่ากับขนาด $m \times m$ โดยที่ m นั้นจะเท่ากับจำนวนความยาวของชิ้นงานในแต่ละปัญหา
2. ทำการเลือกลำดับของการผลิต จากการสุ่มจากตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดของประชากร (Population Size) ที่กำหนด ซึ่งรอบแรกนั้นจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น
3. ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการสร้างคำตอบเบื้องต้นด้วยการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ PLS
4. นำค่าสตรึงคำตอบที่ผ่านกระบวนการค้นหาเฉพาะที่มาทำการประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ
 - (1) จำนวนพนักงานงานน้อยที่สุด
 - (2) จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
 - (3) ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานมากที่สุด
 - (4) ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานมากที่สุด
5. การคัดเลือกคำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี ซึ่งในกรณีตารางค่าความน่าจะเป็นตารางที่ 1 คือตารางวิธีการ COIN จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยถ้าคำตอบที่ดีค่า Fitness จะมีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าเป็นคำตอบที่ไม่ดีนั้นค่า Fitness จะมีค่ามากที่สุด ส่วนตารางที่ 2 และตารางที่ 3 จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น
6. ทำการปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยทำการให้รางวัล (Reward) ในกรณีที่ เป็นคำตอบที่ดี และทำการลงโทษ (Punish) ในกรณีที่ เป็นคำตอบที่ไม่ดี โดยจะทำการปรับปรุงตารางทั้งหมดสี่ตาราง คือ
 - (1) ตารางวิธีการแบบบรรจบ

(2) ตารางวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีนานมากที่สุด

(3) ตารางวัตถุประสงค์ที่ 4 คือ ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีนานมากที่สุด

7. โดยทำการแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบเป็น จากตารางแบบบรรจุบ เป็นร้อยละ 80 ของประชากรทั้งหมด และทำการสุ่มจากตารางคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์เป็นร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด เพื่อจะนำไปใช้ในการสุ่มเลือกรอบถัดไป
8. ทำการปรับปรุงคำตอบหลังการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแบบ COIN-E ด้วยการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) โดยมีค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่เท่ากับ PLS
9. ทำการรวมประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่หลังผ่านกระบวนการ COIN-E และประชากรคำตอบรุ่นลูกที่ได้รับการปรับปรุงคำตอบจากการค้นหาเฉพาะที่ แล้วทำการคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วทำการเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดไว้จนครบจำนวนของคำตอบที่กำหนด ซึ่งประชากรคำตอบนั้นจะกลายเป็นประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันถัดไป
10. กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่สอง จนกระทั่งครบจำนวนรอบที่กำหนด

จะพบว่าขั้นตอนการดำเนินการวิธีการบรรจบบแบบขยาย (COIN-E) มีความคล้ายคลึงกับวิธีการแบบบรรจบบ (COIN) แต่จะมีความแตกต่างกันในเรื่องของการเพิ่มตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นร่วมเพื่อใช้ในการสุ่มประชากรในรอบต่อ ๆ ไป ซึ่งจะพบว่าวิธีการบรรจบบแบบขยายจะทำให้ได้กลุ่มคำตอบที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น อันเนื่องมาจากการป้องกันการผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นของวิธีการแบบบรรจบบ เนื่องจากการจดจำลักษณะตำแหน่งของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่อยู่ตำแหน่งติดกันที่อาจจะทำให้เกิดข้อผิดพลาดจากการสุ่มตั้งแต่รอบแรกจนทำให้การเลือกลำดับในรอบถัดไปจะทำให้ทิศทางของคำตอบที่ผิดพลาด และไม่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเนื่องจากในแต่ละรอบจะมีการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งถ้าเลือกทางเดินผิดจะทำให้การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นที่ผิดไปเรื่อย ๆ ซึ่งการนำวิธีการบรรจบบมาทำการพัฒนาและประยุกต์เป็นวิธีการบรรจบบแบบขยายโดยทำการสร้างตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมมาทั้งหมดสามตารางในข้างต้น เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

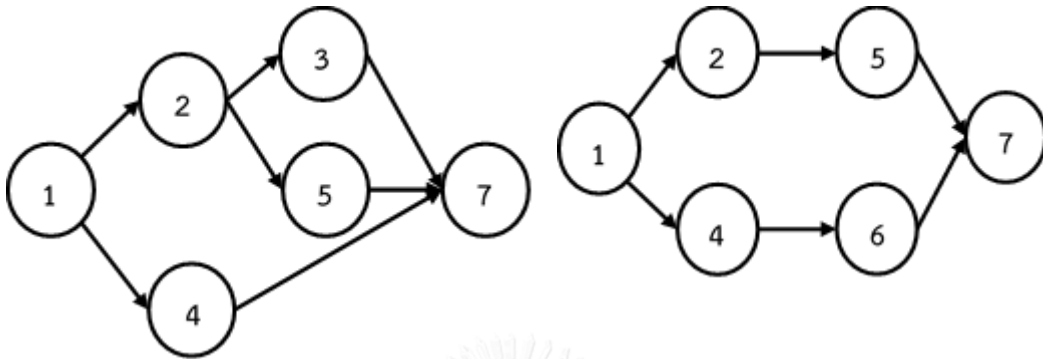
3.4 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์

ตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคน จะมีการนำข้อมูลต่าง ๆ เข้ามาได้แก่ วัตถุประสงค์จำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีน้อยที่สุด ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีนานมากที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีนานมากที่สุด รอบเวลาดำเนินการผลิต (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน (Precedence Diagram) ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธีแบบบรรจบบ มีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนประชากรเบื้องต้น 7 ตัว
2. ค่าการให้รางวัล (Reward) และค่าการลงโทษ (Punish) มีค่า 0.1
3. ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าเท่ากับ 10 และ 10 ตามลำดับ

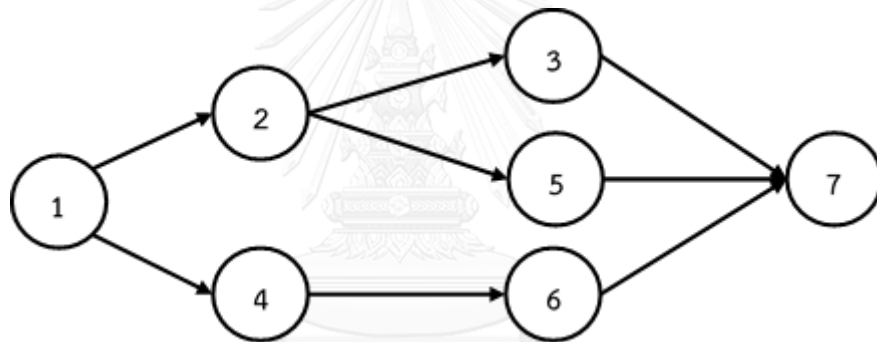
3.4.1 การเตรียมข้อมูล (Data Input)

3.4.1.1 การสร้างความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram)

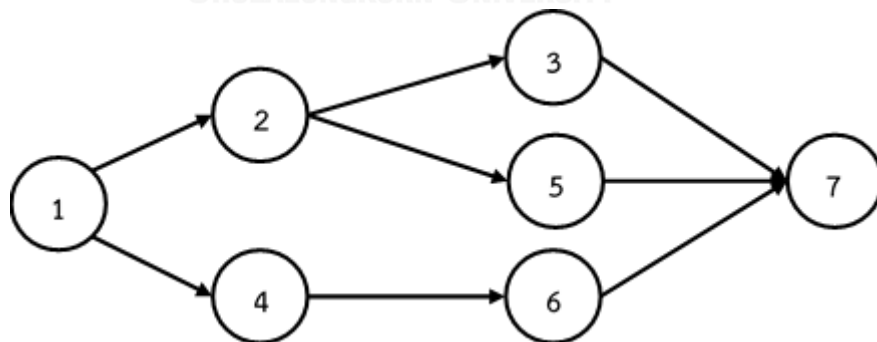


แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ A

แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B และ C

รูปที่ 3.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวมของปัญหาตัวอย่างขนาด 7 ชั้นงาน

3.4.1.2 การหาเวลาทำงานเฉลี่ยในแต่ละชั้นงาน

การกำหนดจำนวนชนิดรถบรรทุก 3 รุ่น ได้แก่ A, B และ C มีจำนวน MPS คือ 2:3:3 แสดงว่าในการจัดสมดุลการผลิตจะต้องมีรถบรรทุก A จำนวน 2 คัน รถบรรทุก B จำนวน 3 คันและรถบรรทุก C จำนวน 3 คัน เข้าไปในสายการประกอบ

ตารางที่ 3.2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการผลิตภัณฑ์ชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน

Task	Side	Model						Mean
		A		B		C		
		MPS	Time	MPS	Time	MPS	Time	
1	B	2	1	3	1	3	1	1
2	L	2	5	3	6	3	4	5
3	R	2	2	3	0	3	2	2
4	F	2	8	3	8	3	8	8
5	E	2	3	3	3	3	3	3
6	E	2	0	3	6	3	6	6
7	E	2	5	3	5	3	5	5

3.4.1.3 การสร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงาน (Precedence Matrix)

การสร้างเมตริกซ์ความสัมพันธ์ก่อนหลังของงานจะช่วยให้ทราบว่างานใดต้องทำก่อนหรือหลังงานใด หรือบอกให้ทราบว่างานนั้นๆมีงานใดก่อนหน้า หรืองานที่ต้องทำตามหลังอีกกี่งาน ลักษณะของตารางจะเป็นเมตริกซ์ ขนาด $m \times m$ โดย m หมายถึงจำนวนชั้นงานทั้งหมด หมายเลขของแถว (Row) หมายถึง งานที่ทำก่อน และหมายเลขของคอลัมน์ (Column) หมายถึง งานที่ต้องทำหลัง ซึ่งต้องรอให้งานที่ต้องทำก่อนหน้าเสร็จลงเสียก่อน ตำแหน่งแถวและคอลัมน์ที่ 1 ถึง m จะประกอบไปด้วยตัวเลข 0 และ 1 โดยที่ 0 หมายถึงงานที่ไม่มีความสัมพันธ์ก่อนและหลังระหว่างกัน ส่วน 1 หมายถึง งานที่มีความสัมพันธ์ก่อนหลังระหว่างกัน

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

FROM/TO	1	2	3	4	5	6	7
1	0	1	0	1	0	0	0
2	0	0	1	0	1	0	0
3	0	0	0	0	0	0	1
4	0	0	0	0	0	1	0
5	0	0	0	0	0	0	1
6	0	0	0	0	0	0	1
7	0	0	0	0	0	0	0

3.4.2 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

สร้างสตริงคำตอบเท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้น (Popsiz = 7) โดยสตริงคำตอบนั้นคือ สตริงคำตอบของค่าสิทธิในการเลือกชั้นงาน (String Priority) โดยวิธีการสุ่มสลับที่ในการสร้างสตริงคำตอบของค่าสิทธิในการเลือกชั้นงานนั้นจะกล่าวถึงในบทที่ 4

ตารางที่ 3.4 ค่าสิทธิในการเลือกชั้นงานขนาด 7 ชั้นงาน

String No.	String Priority						
1	2	3	7	6	5	4	1
2	5	7	6	1	4	3	2
3	3	6	7	5	4	2	1
4	2	1	3	5	7	4	6
5	7	5	2	6	3	4	1
6	7	5	4	3	2	1	6
7	4	7	1	3	5	2	6

เมื่อทำการสร้างสตริงคำตอบของค่าสิทธิในการเลือกชั้นงานเรียบร้อยแล้วนั้น จึงทำการถอดรหัส สตริงคำตอบ ซึ่งมีขั้นตอนวิธีการสร้างสตริงคำตอบของลำดับชั้นงานดังนี้

- พิจารณาว่าชั้นงานใดที่สามารถเลือกลงในตำแหน่งแรกได้ก่อน โดยดูจากตารางความสัมพันธ์ของชั้นงาน โดยหาผลรวมในแต่ละคอลัมน์ โดยถ้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าชั้นงานนั้นสามารถ

ถูกเลือกลงในตำแหน่งของชั้นงานได้โดยไม่ผิดข้อจำกัดของความสัมพันธ์ของงาน ซึ่งในที่นี้จะเห็นว่าผลรวมของคอลัมน์ที่ 1 เท่ากับ 0

- ถ้ามีมากกว่า 2 งานที่สามารถเลือกกลงในตำแหน่งของชั้นงานได้ ให้ทำการเลือกค่าสิทธิของชั้นงานนั้นที่มากกว่าลงไปก่อน
- งานที่ได้ถูกเลือกกลงในลำดับของชั้นงานแล้วให้ทำการตัดทิ้ง ให้ทำการเปลี่ยนค่าตัวเลขในแถวของตารางความสัมพันธ์ของชั้นงาน เป็น 0 ทั้งหมด และเปลี่ยนค่าตัวเลขในคอลัมน์ของงานนั้นเป็น 1 ทั้งหมด ดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 ปรับปรุงความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงาน (Precedence Matrix)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	1	0	1	0	1	0	0
3	1	0	0	0	0	0	1
4	1	0	0	0	0	1	0
5	1	0	0	0	0	0	1
6	1	0	0	0	0	0	1
7	1	0	0	0	0	0	0

- ทำการคำนวณผลรวมแต่ละคอลัมน์ใหม่อีกครั้ง และทำซ้ำวิธีการเดิมจนกระทั่งงานทุกงานถูกกำหนดลงในลำดับชั้นงาน (Task Sequence) จนเสร็จสิ้น และได้สตริงคำตอบที่ 1 เพื่อนำไปจัดลงในสถานีงานต่อไป

เมื่อทำซ้ำวิธีการที่กล่าวมาข้างต้น จนครบตามจำนวนประชากรที่กำหนดไว้ จะได้ลำดับชั้นงานทั้ง 7 ตัว ดังต่อไปนี้

Task Sequence 1 = [1 4 6 2 3 5 7]

Task Sequence 2 = [1 2 3 5 4 6 7]

Task Sequence 3 = [1 2 3 4 6 5 7]

Task Sequence 4 = [1 4 6 2 5 3 7]

Task Sequence 5 = [1 4 2 6 5 3 7]

Task Sequence 6 = [1 2 3 4 5 6 7]

Task Sequence 7 = [1 2 5 4 6 3 7]

ตารางที่ 3.6 การคัดเลือกลำดับชั้นงานที่ 1

No.	Task (String Priority)	Selected	Side
1	1(1)	1	B
2	2(3), 4(6)	4	F
3	2(3), 6(4)	6	R
4	2(3)	2	L
5	3(7), 5(5)	3	R
6	5(5)	5	L
7	7(2)	7	L

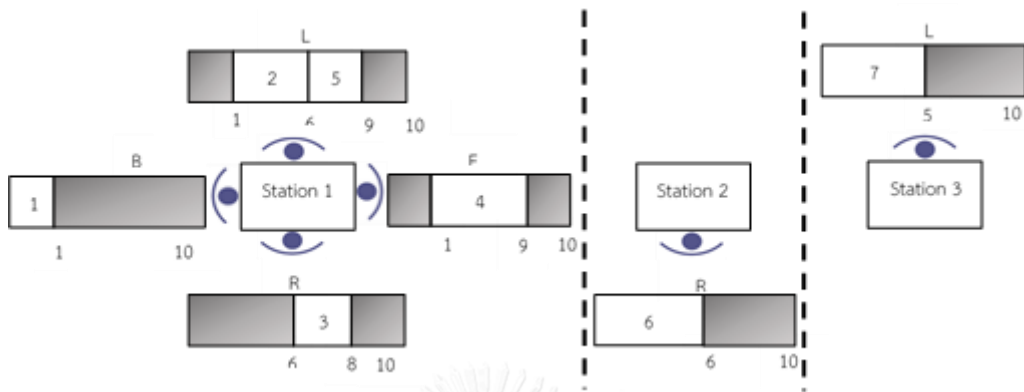
นำรูปแบบลำดับชั้นงานที่ 1 มาทำการจัดลงสถานีงาน เพื่อคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ โดยกำหนดให้รอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 ซึ่งการจัดสรรงานลงในสถานีงานนั้นจะต้องพิจารณาด้านที่งานสามารถทำได้ โดยถ้าด้านของงานนั้นเป็น L จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านซ้าย ถ้าด้านของงานนั้นเป็น R จะจัดลงสถานีงานทางด้านขวา ถ้าด้านของงานนั้นเป็น B จะจัดงานลงสถานีงานทางด้านหลัง ถ้าด้านของงานนั้นเป็น F จะจัดลงสถานีงานทางด้านหน้า และถ้าเป็น E นั้นคืองานนั้นสามารถทำได้ทุกด้าน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ตารางที่ 3.7 การจัดสรรงานลงสถานีงานสำหรับลำดับชั้นงานที่ 1

งาน	งานก่อนหน้า	เวลาชั้นงาน	สถานีงาน	ด้าน
1	-	1	1	B
4	1	8	1	F
6	4	6	2	R
2	1	5	1	L
3	2	2	1	R
5	2	3	1	L
7	3,5,6	5	3	L

จากลำดับชั้นงานที่ 1 (Task Sequence 1) = [1 4 6 2 3 5 7] จะได้จำนวนสถานีงานทั้งหมด 3 สถานีงาน



รูปที่ 3.3 สายการประกอบแบบหลายคนงาน 7 ชั้นงาน

เมื่อได้งานในแต่ละสถานีงานเรียบร้อยแล้ว จะทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้ จะทำการหาค่าวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ดังนี้

กำหนดให้ N_w คือ จำนวนพนักงาน

N_s คือ จำนวนสถานีงาน

SN_j คือ จำนวนการเชื่อมต่อการทำงานในสถานีงาน j

S_{kb} คือ เวลาว่างงานเฉลี่ยบนสถานีงานที่ k ด้าน b

WIT คือ เวลาว่างงานของสายการผลิตแบบถ่วงน้ำหนัก

1. เพื่อให้มีจำนวนพนักงานน้อยที่สุด

$$f_1(X) = \text{Minimize } N_w \quad (3.1)$$

2. เพื่อให้มีจำนวนสถานีงานน้อยที่สุด

$$f_2(X) = \text{Minimize } N_s \quad (3.2)$$

3. เพื่อให้ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานมีค่ามากที่สุด นั่นคือการทำให้ค่า MIWR น้อยที่สุด

$$f_3(X) = \text{Minimize } MIWR = N_w - \frac{N_w}{\sum_{j=1}^{N_w} SN_j} \quad (3.3)$$

4. เพื่อให้ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานมีค่ามากที่สุด นั่นคือการทำให้ B_b น้อยที่สุด

$$f_4(X) = \text{Minimum } B_b = \frac{N_w}{N_w-1} \sum_{k=1}^{N_w} \sum_{b=L}^F \left(\frac{S_{kb}}{WIT} - \frac{1}{N_w} \right)^2 \quad (3.4)$$

สตริงคำตอบที่ 1 จะได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 1 เท่ากับ 6 พนักงาน

$$f_1(X) = \text{Minimize } N_w = 6$$

ค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 เท่ากับ 3 สถานีงาน

$$f_2(X) = \text{Minimize } N_s = 3$$

และได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ ผลต่างของความสัมพันธ์ของงานในสถานีงานโดยวิธีการคำนวณดังนี้

สถานีงานที่ 1 ด้าน L มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 2-5 มีค่าเท่ากับ 1

ด้าน B มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 1 มีค่าเท่ากับ 1

ด้าน R มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 3 มีค่าเท่ากับ 1

ด้าน F มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 4 มีค่าเท่ากับ 1

สถานีงานที่ 2 ด้าน B มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 6 มีค่าเท่ากับ 1

สถานีงานที่ 3 ด้าน F มีช่างงานที่เชื่อมต่อกันในสถานีงาน คือ 4 มีค่าเท่ากับ 1

$$\text{ดังนั้น } f_3(X) = \text{Minimize } MIWR = N_w - \frac{N_w}{\sum_{j=1}^{N_w} SN_j}$$

$$f_3(X) = \text{Minimize } MIWR = 6 - \frac{6}{1+1+1+1+1+1}$$

$$f_3(X) = \text{Minimize } MIWR = 5$$

และได้ค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 คือ ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานีงานโดยวิธีการคำนวณดังนี้

$$\text{ดังนั้น } f_4(X) = \text{Minimize } B_b = \frac{N_w}{N_w-1} \sum_{k=1}^{N_w} \sum_{b=L}^F \left(\frac{S_{kb}}{WIT} - \frac{1}{N_w} \right)^2$$

$$f_4(X) = \text{Minimize } B_b = \frac{6}{6-1} \left[\left(\frac{2}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 + \left(\frac{9}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 + \left(\frac{8}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 + \left(\frac{2}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 + \left(\frac{4}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 + \left(\frac{5}{30} - \frac{1}{6} \right)^2 \right]$$

$$f_4(X) = \text{Minimize } B_b = 0.058667$$

จากลำดับชั้นงานที่ 1 สรุปได้ว่า

1. Task Sequence 1 = [1 4 6 2 3 5 7]
2. มีจำนวนพนักงานทั้งหมด 6 พนักงาน
3. มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 3 สถานีงาน

4. ผลต่างความสัมพันธ์ของงานในสถานียานมีค่าเท่ากับ 5
5. ความแตกต่างของภาระงานระหว่างสถานียานมีค่าเท่ากับ 0.058667

พิจารณาตารางคำตอบแต่ละสตริงคำตอบจะมีความยาวของจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด คือ 7 หน่วย ดังนั้นขนาดของตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมคือ 7×7 โดยกำหนดค่าความน่าจะเป็นในตารางเมตริกซ์แรกเริ่ม โดยเป็นค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้นทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{7-1} = 0.1667$ เมื่อกำหนด m คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 ค่าความน่าจะเป็นร่วม

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
2	0.1667	0	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
3	0.1667	0.1667	0	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667
4	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.1667	0.1667	0.1667
5	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.1667	0.1667
6	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.1667
7	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0

จากตารางที่ 3.8 ค่าความน่าจะเป็นร่วมมีขนาดเท่ากับ $m \times m = 7 \times 7$ โดยที่เส้นทแยงมุมของตารางนั้นมีค่าเท่ากับ 0.000 เพราะไม่มีโอกาสของการถูกสุ่มเลือกชิ้นงานเดิมที่ได้ทำการถูกสุ่มเลือกไปแล้ว เพราะฉะนั้นค่าความน่าจะเป็นในคู่อันดับ (1,1) มีค่าเท่ากับ 0 แต่ค่าที่เหลืออยู่ในแถวนั้นจะมีโอกาสในการสุ่มเลือกหลังจากได้สุ่มเลือกได้ชิ้นงาน โดยการสุ่มเลือกชิ้นงานครั้งต่อมาอาจจะสุ่มได้ชิ้นงานที่ 2, 3, 4, 5, 6, และ 7 ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกชิ้นงานในครั้งแรกในแถวของรหัส 1 เท่ากันหมดในคู่อันดับ (1,2), (1,3), ..., (1,6) ในตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยผลรวมของค่าความน่าจะเป็นในแต่ละแถวเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{7-1} = 0.1667$

3.4.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์ ได้ดังตารางที่ 3.9

ตารางที่ 3.9 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

String	Worker	Station	Relation	Workload
1	6	3	5.0000	0.0587
2	5	3	4.1667	0.1188
3	7	4	6.0000	0.0258
4	6	3	5.1429	0.0267
5	7	4	6.0000	0.0258
6	6	3	5.1429	0.0347
7	5	4	4.2857	0.0438

3.4.4 การกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธี Non-Dominated Sorting

ค่าสตริงคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดที่มีค่า Fitness น้อยสุด แต่ในทางกลับกันถ้าสตริงคำตอบใดให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่แย่ที่สุดจะทำให้ค่า Fitness มากที่สุด

ตารางที่ 3.10 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรง

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
1	6	3	5.0000	0.0587	3	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
3	7	4	6.0000	0.0258	4	2.000
4	6	3	5.1429	0.0267	3	Infinity
5	7	4	6.0000	0.0258	4	2.000
6	6	3	5.1429	0.0347	3	Infinity
7	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity

3.4.5 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

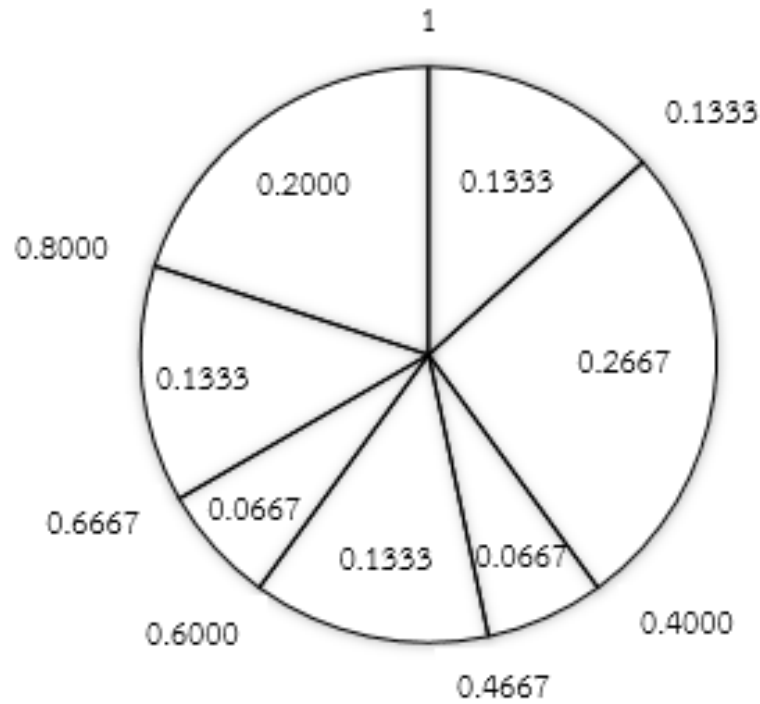
การปรับปรุงคำตอบเบื้องต้นให้ดียิ่งขึ้นก่อนเข้าสู่กระบวนการต่าง ๆ โดยจำนวนคำตอบที่ถูกนำมาคัดเลือกนั้นขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีจำนวนเท่ากับ $\text{Popsize} \times \text{PLS}$ ในงานวิจัยนี้กำหนดให้ $\text{PLS} = 0.8$ ดังนั้นจำนวนคำตอบที่จะถูกนำมาทำการปรับปรุงทั้งหมด $0.8 \times 7 = 5$ ตัว ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบทั้ง 5 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงมากกว่าเข้าสู่ Mating Pool ต่อไป

ตารางที่ 3.11 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

String	Fitness	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	3	2	Infinity
2	1	4	Infinity
3	4	1	2.000
4	3	2	Infinity
5	4	1	2.000
6	3	2	Infinity
7	2	3	Infinity

ตารางที่ 3.12 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหา 7 ชั้นงาน

String	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	2	0.1333	0.1333
2	4	0.2667	0.4000
3	1	0.0667	0.4667
4	2	0.1333	0.6000
5	1	0.0667	0.6667
6	2	0.1333	0.8000
7	3	0.2000	1
รวม	15		



รูปที่ 3.4 วงล้อรูเล็ตของปัญหา 7 ชั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

ตารางที่ 3.13 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fit	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fit	
1	0.4642	0.4667	3	1	0.5386	0.6000	4	2	4
2	0.2564	0.4000	2	4	0.3338	0.4000	2	4	2
3	0.4372	0.4667	3	1	0.6651	0.6667	5	1	3
4	0.0478	0.1333	1	2	0.7343	0.8000	6	2	1
5	0.4587	0.4667	3	1	0.9346	1	7	3	7

ตารางที่ 3.14 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority						
1	2	3	7	6	5	4	1
2	5	7	6	1	4	3	2
3	3	6	7	5	4	2	1
4	2	1	3	5	7	4	6
7	4	7	1	3	5	2	6

นำสตริงคำตอบที่ 1 ที่ถูกคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสลับตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง โดยได้ทำการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 2 และ 5

ก่อนทำ	2	3	7	6	5	4	1
หลังทำ	2	5	7	6	3	4	1

รูปที่ 3.5 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 4

ก่อนทำ	5	7	6	1	4	3	2
หลังทำ	1	7	6	5	4	3	2

รูปที่ 3.6 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสุ่มเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 7

ก่อนทำ	3	6	7	5	4	2	1
หลังทำ	3	6	7	5	4	1	2

รูปที่ 3.7 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 7

ก่อนทำ	2	1	3	5	7	4	6
หลังทำ	6	1	3	5	7	4	2

รูปที่ 3.8 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4

นำสตริงคำตอบที่ 7 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 3 และ 5

ก่อนทำ	4	7	1	3	5	2	6
หลังทำ	4	7	5	3	1	2	6

รูปที่ 3.9 การค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 7

ตารางที่ 3.15 ค่าสิทธิของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority						
1	2	5	7	6	3	4	1
2	1	7	6	5	4	3	2
3	3	6	7	5	4	1	2
4	6	1	3	5	7	4	2
7	4	7	5	3	1	2	6

แปลงค่าสิทธิของสตริงคำตอบเพื่อทำการหาลำดับชั้นงานในการทำงานเพื่อคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ตารางที่ 3.16 ลำดับชั้นงานในการทำงานหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	Task Sequence						
1	1	4	2	3	6	5	7
2	1	2	3	4	5	6	7
3	1	2	3	4	5	6	7
4	1	4	6	2	5	3	7
7	1	2	3	4	6	5	7

ตารางที่ 3.17 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่

String No.	Characteristic	Worker	Station	Relation	Workload
1	Before	6	3	5.0000	0.0587
	After	6	3	5.0000	0.0587
2	Before	5	3	4.1667	0.1188
	After	7	4	6.0000	0.0258
3	Before	7	4	6.0000	0.0258
	After	7	4	6.0000	0.0258
4	Before	6	3	5.1429	0.0267
	After	6	3	5.1429	0.0267
7	Before	5	4	4.2857	0.0438
	After	5	3	4.2857	0.0438

จากตารางที่ 3.17 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับคำตอบที่ได้หลังผ่านกระบวนการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบที่ได้นั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น ดังตารางที่ 3.1

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 2 พบว่า ปฏิเสธกฎการยอมรับทั้ง 4 ข้อ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ค่า หลังจากทำการค้นหาเฉพาะที่ไม่ได้ดีขึ้นจากเดิม และเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบ

ที่ 1 3 4 และ 7 พบว่า ยอมรับกฎข้อที่ 4 ข้อ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ค่า หลังจากทำการค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าคงเดิม

3.4.6 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่และการคัดเลือกสตริงคำตอบ

การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่จะเป็นการนำเอาสตริงคำตอบเริ่มต้นร่วมกับคำตอบหลังผ่านกระบวนการค้นหาเฉพาะที่ เพื่อหาค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นร่วมกัน ดังตารางที่ 3.18

ตารางที่ 3.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
1	6	3	5.0000	0.0587	4	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
3	7	4	6.0000	0.0258	6	2.000
4	6	3	5.1429	0.0267	3	Infinity
5	7	4	6.0000	0.0258	6	2.000
6	6	3	5.1429	0.0347	5	2.000
7	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
8	6	3	5.0000	0.0587	4	Infinity
9	7	4	6.0000	0.0258	6	3.000
10	6	3	5.1429	0.0267	4	Infinity
11	5	3	4.2857	0.0438	1	Infinity

การคัดเลือกสตริงคำตอบจากรุ่นพ่อแม่ โดยนำสตริงคำตอบที่ดีมาเท่ากับจำนวน Popsiz และใช้วิธี Binary Tournament Selection ได้สตริงคำตอบดังตารางที่ 3.19

ตารางที่ 3.19 สตริงคำตอบจากการคัดเลือก

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness
2	5	3	4.1667	0.1188	1

ตารางที่ 3.19 สตริงคำตอบจากการคัดเลือก (ต่อ)

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness
7	5	4	4.2857	0.0438	2
10	6	3	5.1429	0.0267	3
11	5	3	4.2857	0.0438	1
1	6	3	5.0000	0.0587	3
4	6	3	5.1429	0.0267	3
6	6	3	5.1429	0.0347	4

ตารางที่ 3.20 สตริงคำตอบหลังจากการคัดเลือกสำหรับวิธีการบรรจบแบบขยาย

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness
1	5	3	4.1667	0.1188	1
2	5	4	4.2857	0.0438	2
3	6	3	5.1429	0.0267	3
4	5	3	4.2857	0.0438	1
5	6	3	5.0000	0.0587	3
6	6	3	5.1429	0.0267	3
7	6	3	5.1429	0.0347	4

ตารางที่ 3.21 ค่าสิทธิการเลือกชิ้นงานในการทำงานสำหรับวิธีการบรรจบแบบขยาย

String No.	String Priority						
1	5	7	6	1	4	3	2
2	4	7	1	3	5	2	6
3	6	1	3	5	7	4	2
4	4	7	5	3	1	2	6
5	2	3	7	6	5	4	1
6	2	1	3	5	7	4	6
7	7	5	4	3	2	1	6

3.4.7 การปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมแบบ COIN

การปรับปรุงจากตารางแรกนั้นคือ ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยทำการพิจารณาค่า Fitness จากตารางที่ 3.20 จะพบว่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดหรือมีค่า Fitness น้อยที่สุดอยู่ 2 สตริงคำตอบ จึงทำการให้รางวัลหรือทำการเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็น ในทางตรงกันข้ามพบว่าไม่มีสตริงคำตอบที่ไม่ดีหรือค่า Fitness มากที่สุดอยู่ 1 สตริงคำตอบจึงทำการลงโทษหรือทำการลดโอกาสในการสุ่มรอบถัดไป

กรณีสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจะทำการปรับปรุงไปที่ละสตริงคำตอบ โดยจะทำการเริ่มที่สตริงคำตอบที่ 1 ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง คือคู่ลำดับ (5, 7) ในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{7-1} = 0.01667$ (k คือ ค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลที่กำหนดไว้เบื้องต้น) และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5, 7)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5, 1), (5, 2)... (5, 7) โดยลดค่าความน่าจะเป็น $x = \frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(7-1)^2} = 0.00278$ (k คือค่าพารามิเตอร์ในการถูกลงโทษที่กำหนดไว้เบื้องต้น) ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (4, 7) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจนได้ตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ได้การปรับปรุงเสร็จสิ้น

กรณีสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะทำการปรับปรุงไปที่ละสตริงคำตอบ โดยเริ่มที่สตริงคำตอบที่ 7 ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งให้การลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง คือคู่ลำดับ (7, 5) ในตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{7-1} = 0.01667$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (7, 5)) ในแถวเดียวกันคือ (7, 1), (7, 2)... (7, 7) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็น $x = \frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(7-1)^2} = 0.00278$ โดยค่าความน่าจะเป็นในการปรับปรุงต่อจากการปรับปรุงสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ผ่านมาก่อนหน้า ซึ่งทำการพิจารณาแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบสตริงคำตอบที่ไม่ดี เพราะฉะนั้นจะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและการลงโทษคำตอบทั้งดีและไม่ดี ซึ่งได้ผลดังตารางที่ 3.22

ตารางที่ 3.22 ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงแบบ COIN

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0.1806	0.1639	0.1806	0.1639	0.1473	0.1639
2	0.1500	0	0.1667	0.1667	0.1667	0.1834	0.1667
3	0.1806	0.1639	0	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639
4	0.1639	0.1639	0.1639	0	0.1639	0.1639	0.1806
5	0.1639	0.1639	0.1806	0.1473	0	0.1639	0.1806
6	0.1806	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0	0.1639
7	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1806	0

3.4.8 การปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 3

ตารางวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีนานน้อยที่สุด โดยนำค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 มาเรียงลำดับจากค่าน้อยที่สุดไปยั้งค่ามากที่สุด จากตารางที่ 3.20 ได้ดังต่อไปนี้ คือ สตริงคำตอบที่ 1, 2, 4, 5, 3, 6 และ 7 ตามลำดับ จะได้ว่าสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มที่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1 ต่อมาจึงนำสตริงคำตอบนี้ไปทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็น และในทางตรงกันข้ามสตริงคำตอบที่มีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 3, 6 และ 7 จากนั้นจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น โดยการคำนวณค่าการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของกลุ่มคำตอบที่ดี และกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 ได้ดังค่าในตารางที่ 3.23

ตารางที่ 3.23 ตารางความน่าจะเป็นร่วมของวัตถุประสงค์ที่ 3 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0.1723	0.1389	0.1889	0.1723	0.1556	0.1723
2	0.1389	0	0.1723	0.1723	0.1723	0.1723	0.1723
3	0.1723	0.1723	0	0.1723	0.1389	0.1723	0.1723
4	0.1723	0.1556	0.1723	0	0.1723	0.1556	0.1723
5	0.1723	0.1723	0.1723	0.1556	0	0.1723	0.1556
6	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.1667
7	0.1723	0.1723	0.1723	0.1389	0.1556	0.1889	0

3.4.9 การปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 4

ตารางวัตถุประสงค์ที่ 4 คือ ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีน้อยที่สุด โดยนำค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 มาเรียงลำดับจากค่าน้อยที่สุดไปยังค่ามากที่สุด จากตารางที่ 3.20 ได้ดังต่อไปนี้ คือ สตริงคำตอบที่ 3, 6, 7, 2, 4, 5 และ 1 ตามลำดับ จะได้ว่าสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มที่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 3 และ 6 ต่อมาจึงนำสตริงคำตอบนี้ไปทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็น และในทางตรงกันข้ามสตริงคำตอบที่มีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1 จากนั้นจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น โดยการคำนวณค่าการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของกลุ่มคำตอบที่ดีและกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ได้ดังค่าในตารางที่ 3.24

ตารางที่ 3.24 ตารางความน่าจะเป็นร่วมของวัตถุประสงค์ที่ 4 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0.1639	0.1973	0.1473	0.1639	0.1639	0.1639
2	0.1806	0	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639
3	0.1639	0.1473	0	0.1639	0.1973	0.1639	0.1639
4	0.1639	0.1806	0.1473	0	0.1639	0.1806	0.1639
5	0.1639	0.1639	0.1639	0.1639	0	0.1639	0.1806
6	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0.1667	0	0.1667
7	0.1639	0.1639	0.1639	0.1973	0.1639	0.1473	0

3.4.10 การค้นหาเฉพาะที่หลังผ่านกระบวนการ COIN-E

การค้นหาเฉพาะที่ในครั้งนี้เป็นการปรับปรุงคำตอบภายหลังจากกระบวนการ COIN-E เนื่องจากคำตอบที่ได้หลังผ่านกระบวนการที่ผ่านมาข้างต้น อาจทำให้มีการสูญเสียคำตอบที่ดีไป หรือยังไม่สามารถค้นหาคำตอบที่ดีได้ การใช้การค้นหาเฉพาะที่จะช่วยดึงคำตอบที่ดีออกมา โดยจำนวนคำตอบที่จะนำมาปรับปรุง ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) ซึ่งมีจำนวนเท่ากับ $\text{Popsize} \times \text{PLS}$ และใช้วิธีการคัดเลือกคำตอบแบบ Binary Tournament Selection งานวิจัยนี้ได้ใช้รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่หลังผ่านกระบวนการแบบ COIN-E ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) ในที่นี้กำหนดให้ $\text{PLS} = 0.8$ ดังนั้นจำนวนคำตอบที่ถูกทำการค้นหาเฉพาะที่ทั้งหมด $0.8 \times 7 = 5$ ตัว ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ 5 ตัว จากวงล้อรูเล็ต แล้วนำมาเปรียบเทียบกันเพื่อคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness มากกว่าเข้าสู่ Mating Pool

ตารางที่ 3.25 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบภายหลังกระบวนการแบบ COIN-E

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
1	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
2	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
3	6	3	5.1429	0.0267	3	2.000
4	5	3	4.2857	0.0438	1	Infinity
5	6	3	5.0000	0.0587	3	2.000
6	6	3	5.1429	0.0267	3	Infinity
7	6	3	5.1429	0.0347	4	Infinity

การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) เป็นการแปลงค่าจากค่าความแข็งแรง (Fitness) ในลักษณะคู่ตรงกันข้าม ดังตารางที่ 3.36

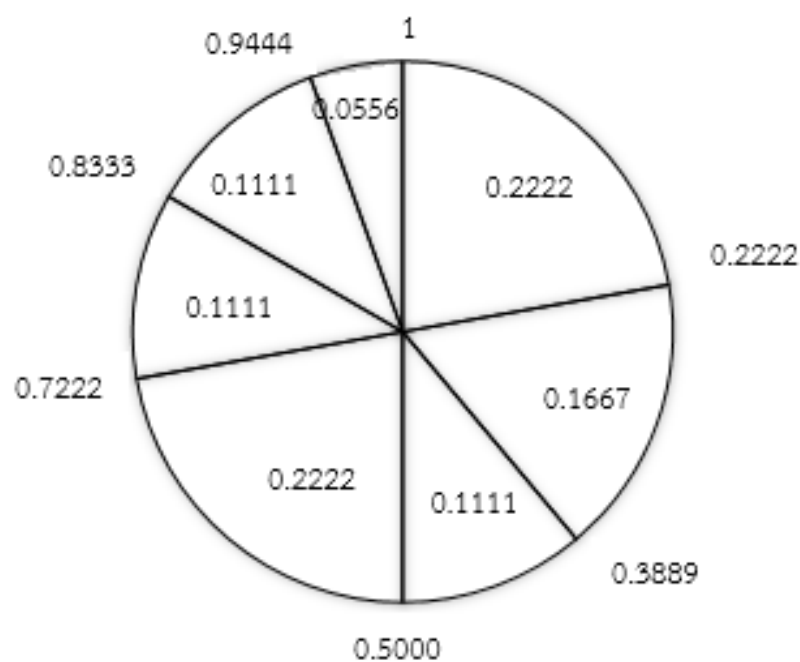
ตารางที่ 3.26 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness)

String	Fitness	แปลง Fitness	Crowding Distance
1	1	4	Infinity
2	2	3	Infinity
3	3	2	Infinity
4	1	4	Infinity
5	3	2	Infinity
6	3	2	Infinity
7	4	1	Infinity

การสร้างวงล้อรูเล็ต เพื่อเป็นการสุ่มเลือกสตริงคำตอบ ซึ่งมาการสร้างค่าความดีและความดีสะสม จากค่าแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง ดังตารางที่ 3.27

ตารางที่ 3.27 การสร้างวงล้อรูเลตของปัญหา 7 ชั้นงาน

String	แปลง Fitness	p_i	q_i
1	4	0.2222	0.2222
2	3	0.1667	0.3889
3	2	0.1111	0.5000
4	4	0.2222	0.7222
5	2	0.1111	0.8333
6	2	0.1111	0.9444
7	1	0.0556	1
รวม	18	1	



รูปที่ 3.10 วงล้อรูเลตของปัญหา 7 ชั้นงานในการค้นหาเฉพาะที่ภายหลังกระบวนการแบบ COIN-E

การคัดเลือกสตริงคำตอบจากวงล้อรูเลต ดังรูปที่ 3.10 เป็นการสุ่มเลข 0 ถึง 1 ถ้าเลขที่สุ่มได้นั้นตกอยู่ช่วงตำแหน่งใด จะคัดเลือกสตริงคำตอบนั้นทันที

ตารางที่ 3.28 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ

No.	Population 1				Population 2				Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Fit	r_2	$r_2 < q_i$	String	Fit	
1	0.5247	0.7222	4	4	0.4016	0.5000	3	2	4
2	0.0159	0.2222	1	4	0.7356	0.8333	5	2	1
3	0.8679	0.9444	6	2	0.4184	0.5000	3	2	6
4	0.9519	1	7	1	0.4020	0.5000	3	2	3
5	0.2923	0.3889	2	3	0.8552	0.9444	6	2	2

ตารางที่ 3.29 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority						
1	5	7	6	1	4	3	2
2	4	7	1	3	5	2	6
3	6	1	3	5	7	4	2
4	4	7	5	3	1	2	6
6	2	1	3	5	7	4	6

นำสตริงคำตอบที่ 1 ที่ถูกคัดเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยทำการสลับตำแหน่งสองตำแหน่งเพื่อทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง โดยได้ทำการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 6 และ 7

ก่อนทำ	5	7	6	1	4	3	2
หลังทำ	5	7	6	1	4	2	3

รูปที่ 3.11 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 1

นำสตริงคำตอบที่ 2 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 2 และ 5

ก่อนทำ	4	7	1	3	5	2	6
หลังทำ	4	5	1	3	7	2	6

รูปที่ 3.12 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 2

นำสตริงคำตอบที่ 3 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 6

ก่อนทำ	6	1	3	5	7	4	2
หลังทำ	4	1	3	5	7	6	2

รูปที่ 3.13 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 3

นำสตริงคำตอบที่ 4 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 1 และ 2

ก่อนทำ	4	7	5	3	1	2	6
หลังทำ	7	4	5	3	1	2	6

รูปที่ 3.14 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 4

นำสตริงคำตอบที่ 6 มาทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) โดยการสลับเลือกตำแหน่งในการค้นหาเฉพาะที่ได้ตำแหน่งที่ 4 และ 7

ก่อนทำ	2	1	3	5	7	4	6
หลังทำ	2	1	3	6	7	4	5

รูปที่ 3.15 การค้นหาเฉพาะที่หลังทำการคัดเลือกด้วยวิธี PI ของสตริงคำตอบที่ 6

ตารางที่ 3.30 ค่าสิทธิของสตริงคำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก

String No.	String Priority						
	1	5	7	6	1	4	2
2	4	5	1	3	7	2	6
3	4	1	3	5	7	6	2
4	7	4	5	3	1	2	6
6	2	1	3	6	7	4	5

ตารางที่ 3.31 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่

String No.	Characteristic	Worker	Station	Relation	Workload
1	Before	5	3	4.1667	0.1188
	After	5	3	4.1667	0.1188
2	Before	5	4	4.2857	0.0438
	After	5	4	4.2857	0.0438
3	Before	6	3	5.1429	0.0267
	After	6	3	5.1429	0.0347
4	Before	5	3	4.2857	0.0438
	After	5	3	4.2857	0.0438
6	Before	6	3	5.1429	0.0267
	After	6	3	5.1429	0.0347

จากตารางที่ 3.31 พบว่าหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี Pairwise Interchange (PI) อาจทำให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เปลี่ยนแปลงไป โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้หลักการยอมรับคำตอบที่ได้หลังทำการค้นหาเฉพาะที่เมื่อคำตอบนั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น ดังตารางที่ 3.1

เมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 3 และ 6 พบว่า ปฏิเสธกฎการยอมรับข้อที่ 2 เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 (ภาระของงาน) หลังจากทำการค้นหาเฉพาะที่มีค่าที่แยลงและเมื่อพิจารณาสตริงคำตอบที่ 1, 2 และ 4 หลังทำการค้นหาเฉพาะที่ พบว่า ยอมรับกฎทั้ง 4 ข้อ เนื่องจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้ค่าคงเดิมเดิม

3.4.11 การประเมินค่าวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่และการคัดเลือกสตริงคำตอบ

การประเมินค่าความแข็งแกร่งร่วมกันระหว่างคำตอบรุ่นพ่อแม่และคำตอบการค้นหาเฉพาะที่

ตารางที่ 3.32 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์หลังการค้นหาเฉพาะที่

String	Worker	Station	Workload	Relation	Fitness	Crowding Distance
1	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
2	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
3	6	3	5.1429	0.0267	3	Infinity
4	5	3	4.2857	0.0438	1	Infinity
5	6	3	5.0000	0.0587	3	Infinity
6	6	3	5.1429	0.0267	3	Infinity
7	6	3	5.1429	0.0347	4	3.000
8	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
9	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
10	5	3	4.2857	0.0438	1	Infinity

การคัดเลือกคำตอบมาเท่ากับจำนวน Pop size และใช้วิธี Binary Tournament Selection ได้สตริงคำตอบดังตารางที่ 3.33

ตารางที่ 3.33 สตริงคำตอบจากการคัดเลือก

String	Worker	Station	Workload	Relation	Fitness
2	5	4	4.2857	0.0438	2
3	6	3	5.1429	0.0267	3
4	5	3	4.2857	0.0438	1
5	6	3	5.0000	0.0587	3
7	6	3	5.1429	0.0347	4
8	5	3	4.1667	0.1188	1
9	5	4	4.2857	0.0438	2

3.4.12 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงาน

การเก็บค่าที่ดีที่สุดจะพิจารณาสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากับ 1 ในแต่ละรอบการทำงานของอัลกอริทึม โดยจะนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับรอบปัจจุบัน แล้วมาทำการเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อทำการเก็บค่าสตริงคำตอบที่ให้ค่า Fitness เท่ากับ 1 จะกลายเป็นกลุ่มของคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น แล้วทำการพิจารณาเช่นนี้ทุก ๆ รอบจนครบตามจำนวนที่ทำการทดลองไว้

ตารางที่ 3.34 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า

String	Worker	Station	Relation	Workload
1	6	3	5.0000	0.0587
2	5	3	4.1667	0.1188
3	6	3	5	0.05867
4	6	3	5.1429	0.0267
5	6	3	5.1429	0.0347

นำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน 7 สตริงคำตอบมารวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า จำนวน 5 สตริงคำตอบ ก็จะได้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ดังตารางที่ 3.35

ตารางที่ 3.35 ค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness
ค่าที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า	6	3	5.0000	0.0587	3
	5	3	4.1667	0.1188	1
	6	3	5.0000	0.05867	3
	6	3	5.1429	0.0267	3
	6	3	5.1429	0.0347	4
ค่าที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน	5	4	4.2857	0.0438	2
	6	3	5.1429	0.0267	3
	5	3	4.2857	0.0438	1
	6	3	5.0000	0.0587	3
	6	3	5.1429	0.0347	4

ตารางที่ 3.35 ค่าฟังก์ชันที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน (ต่อ)

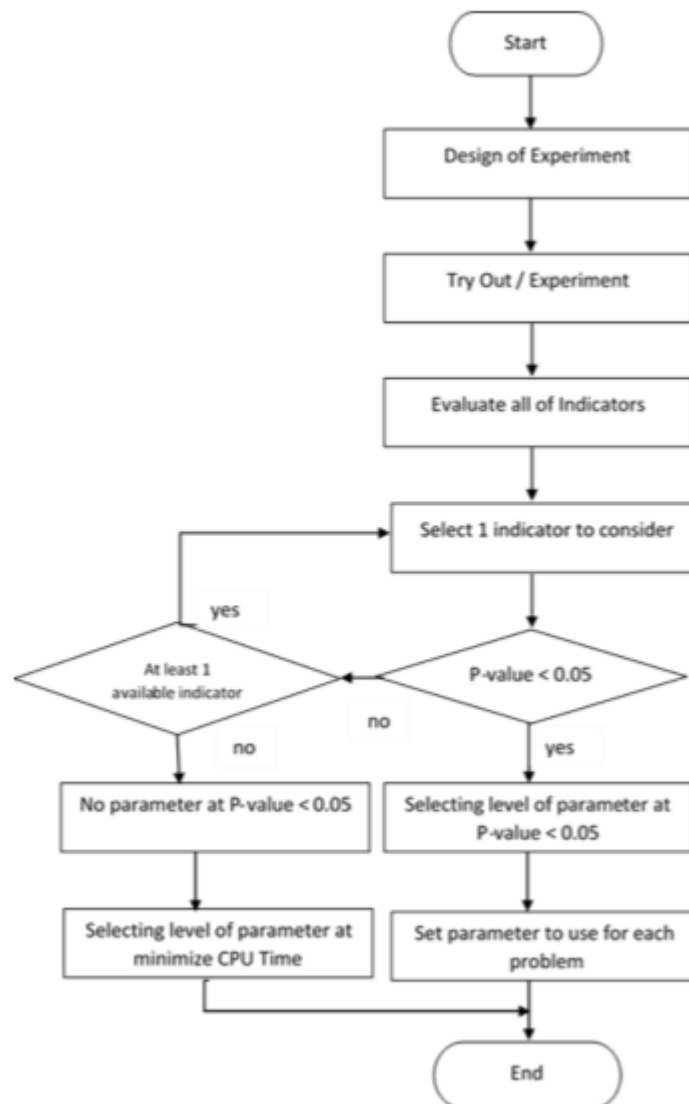
String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness
ค่าที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน	5	3	4.1667	0.1188	1
รอบปัจจุบัน	5	4	4.2857	0.0438	2

จากตารางที่ 3.35 จะพบว่าสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวมีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง เท่ากับ 1 (เมื่อทำการตัดสตริงคำตอบที่ซ้ำ) ดังนั้นจึงนำค่าสตริงคำตอบทั้ง 2 ตัวจัดเก็บไว้ในรอบปัจจุบัน และกลายเป็นสตริงคำตอบรอบก่อนหน้าสำหรับการทดลองถัดไป

รอบถัดไปนั้นจะทำการสุ่มสร้างสตริงคำตอบจากตารางความน่าจะเป็นแบบ COIN ร้อยละ 80 และจากตารางค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสองค่าอีกร้อยละ 10 และทำการทำซ้ำจนครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

3.5 การทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design เนื่องจาก COIN-E เพิ่มสรรณะคำตอบโดยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ จำต้องต้องพิจารณา ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 5 พารามิเตอร์คือ ค่าในการให้รางวัลและลงโทษ (k) จำนวนรอบในการรัน (R) จำนวนประชากรเบื้องต้น (N) จำนวนรอบในการประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่ (G) กำหนดให้ค่าเท่ากับ 10 เพื่อประหยัดเวลาในการคำนวณ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) และจำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) เนื่องจากงานวิจัยได้ผ่านการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E มาแล้วในงานวิจัยก่อนหน้า (นายสถาพร โอบารวิวัฒน์ชัย, 2556) งานวิจัยนี้จึงพิจารณาค่าพารามิเตอร์เฉพาะในส่วน ของพารามิเตอร์ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่เท่านั้น คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) โดยกำหนดระดับของค่าจำนวนรอบในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ออกเป็น 3 ระดับคือ 10 รอบ 20 รอบ และ 30 รอบ สำหรับค่าพารามิเตอร์ความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่กำหนดออกเป็น 3 ระดับ คือ 0.8, 0.9 และ 1.0 ดังตารางที่ 3.36 โดยทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำเพื่อนำไปพิจารณาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของ COIN-E-LS ทั้ง 6 ตัวชี้วัด ดังตารางที่ 3.37 ถึง 3.48 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหา โดยมีวิธีการทดลองดังรูปที่ 3.16



รูปที่ 3.16 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

ขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีขั้นตอนดังนี้

- (1) ออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design
- (2) ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ
- (3) คำนวณค่าตัวชี้วัดสรณะทั้ง 6 ตัวชี้วัดเพื่อใช้เป็นค่าตัวแปรตอบสนอง
- (4) เลือกตัวชี้วัดสมรรถนะที่ละ 1 ตัวเพื่อใช้เป็นตัวแปรตอบสนองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17

(5) สรุปผลจากขั้นตอนที่ 4 โดยมีขั้นตอนการพิจารณาคือ

-หากตัวชี้วัดนั้น ๆ ให้ค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะตัดสินใจยอมรับว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และทำการเลือกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าตัวแปรตอบสนองนั้นน้อยที่สุดเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหานั้น

-หากค่า P-value มีค่ามากกว่า 0.05 จะตัดสินใจปฏิเสธว่าปัจจัยร่วม ระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองและทำการพิจารณาตัวชี้วัดตัวต่อไปเป็นตัวแปรตอบสนอง ทำแบบนี้ไปเรื่อย ๆ จนครบทุกตัวชี้วัด

-หากค่าตัวชี้วัดทุกตัวที่ใช้เป็นตัวแปรตอบสนองให้ค่า P-value มากกว่า 0.05 ทั้งหมดจะใช้เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time) เป็นตัวกำหนดระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยหากที่ระดับค่าพารามิเตอร์ใดใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุดจะกำหนดให้ระดับพารามิเตอร์นั้นเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหานั้น ๆ

(6) กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design เพื่อใช้ในการเลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำ และค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ โดยกำหนดระดับของจำนวนครั้งในการทำซ้ำและค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ออกเป็น 3 ระดับ ดังตารางที่ 3.36 และผลการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำเพื่อนำไปพิจารณาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 6 ตัวชี้วัดดังตารางที่ 3.37 ถึงตารางที่ 3.48 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแก้ปัญหา

ตารางที่ 3.36 ค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Parameter	จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
		20
		30
	ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8
		0.9
		1.0

ตารางที่ 3.37 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.1

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0	n/a**	1	1	1	60.824
10	0.8	0	n/a**	1	1	1	60.782
10	0.9	0	n/a**	1	1	1	66.228
10	0.9	0	n/a**	1	1	1	67.114
10	1	0	n/a**	1	1	1	72.922
10	1	0	n/a**	1	1	1	72.834
20	0.8	0	n/a**	1	1	1	97.467
20	0.8	0	n/a**	1	1	1	97.512
20	0.9	0	n/a**	1	1	1	102.371
20	0.9	0	n/a**	1	1	1	104.284
20	1	0	n/a**	1	1	1	111.853
20	1	0	n/a**	1	1	1	112.118
30	0.8	0	n/a**	1	1	1	160.853
30	0.8	0	n/a**	1	1	1	158.594
30	0.9	0	n/a**	1	1	1	168.932
30	0.9	0	n/a**	1	1	1	170.583
30	1	0	n/a**	1	1	1	183.485
30	1	0	n/a**	1	1	1	181.947

n/a**: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมค้นหาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงคำตอบเดียวจึงไม่สามารถหาค่ากระจายตัวได้

ตารางที่ 3.38 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.2

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0	0.4513	1	1	5	60.60
10	0.8	0	0.5749	1	1	5	58.87
10	0.9	0.03485	0.4463	1	0.75	5	65.341
10	0.9	0	0.4483	1	1	5	66.235
10	1	0.0273	0.5512	1	1	5	74.593
10	1	0.0448	0.5849	0.75	0.6	4	72.933
20	0.8	0.0198	0.4953	0.6	0.6	5	96.685
20	0.8	0.0012	0.4511	1	1	5	96.531
20	0.9	0	0.5502	1	1	5	100.494
20	0.9	0	0.5116	1	1	5	99.739
20	1	0	0.4483	1	1	5	110.593
20	1	0.0024	0.5502	1	1	5	110.586
30	0.8	0.0112	0.4365	1	1	5	162.395
30	0.8	0.0011	0.4958	1	0.5	4	163.137
30	0.9	0.0265	0.4356	1	1	5	171.55
30	0.9	0.0173	0.4483	1	1	5	170.693
30	1	0.0155	0.5688	0.6	0.6	6	185.586
30	1	0.0094	0.5511	1	0.75	5	184.889

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.2083 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0648 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 1.2 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.39 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.3

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0	0.5515	1	1	5	56.260
10	0.8	0	0.4852	0.75	0.6	4	55.875
10	0.9	0.1034	0.5816	1	1	5	61.889
10	0.9	0.0783	0.5321	1	1	5	62.273
10	1	0	0.5555	0.75	0.6	6	70.566
10	1	0	0.5416	1	0.75	5	68.493
20	0.8	0	0.6203	1	0.75	4	95.842
20	0.8	0.0012	0.5442	1	1	5	97.423
20	0.9	0.1011	0.6308	1	0.75	5	105.263
20	0.9	0.0873	0.5662	1	1	5	104.842
20	1	0.0023	0.5565	0.6667	0.5714	6	115.385
20	1	0.0156	0.6667	1	0.6667	5	113.409
30	0.8	0.0175	0.5375	1	0.75	5	162.355
30	0.8	0.0267	0.5415	1	1	5	162.461
30	0.9	0.0495	0.4483	0.6	0.6	5	169.453
30	0.9	0.0533	0.5442	1	0.75	5	168.691
30	1	0.0034	0.6203	1	0.75	6	185.385
30	1	0.0025	0.5688	1	0.75	6	186.157

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.2273 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.1246 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 1.3 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.40 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.1

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.1403	0.5555	1	0.75	3	73.661
10	0.8	0.1419	0.6728	1	0.5	3	72.755
10	0.9	0.1564	0.6158	1	0.5	2	82.44
10	0.9	0.1430	0.6200	1	0.5	2	84.385
10	1	0.1647	0.5474	1	0.75	3	89.934
10	1	0.1488	0.6622	1	1	3	91.483
20	0.8	0.1458	0.6613	0.6667	0.5	2	117.49
20	0.8	0.1611	0.5364	0.5	0.5	3	120.843
20	0.9	0.1596	0.6399	1	0.75	2	128.291
20	0.9	0.1422	0.5224	1	0.5	2	131.835
20	1	0.1520	0.6643	1	1	2	148.644
20	1	0.1481	0.5071	1	0.75	2	147.963
30	0.8	0.1479	0.6775	0.6667	0.5	3	137.493
30	0.8	0.1576	0.5573	1	0.75	3	144.297
30	0.9	0.1657	0.5665	1	0.5	3	158.341
30	0.9	0.1502	0.6876	1	0.75	2	160.843
30	1	0.1436	0.4838	1	1	3	174.356
30	1	0.1462	0.5891	1	0.75	3	175.112

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0764 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0028 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 2.1 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.41 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.2

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.2761	0.6667	1	0.6667	2	70.465
10	0.8	0.3177	0.7349	0.5	0.3333	2	70.366
10	0.9	0.2220	0.5899	0.5	0.5	3	75.744
10	0.9	0.2121	0.6871	0.6667	0.5	3	76.823
10	1	0.2205	0.7327	1	0.75	3	81.447
10	1	0.2224	0.7238	1	0.75	3	80.783
20	0.8	0.3267	0.7151	1	0.75	2	100.349
20	0.8	0.3152	0.6681	1	0.75	2	100.438
20	0.9	0.2429	0.5222	1	1	2	105.274
20	0.9	0.2665	0.6768	1	1	2	106.138
20	1	0.2549	0.7756	0.5	0.3333	3	115.943
20	1	0.2147	0.7060	0.5	0.5	3	116.222
30	0.8	0.2699	0.6657	1	0.6667	2	170.394
30	0.8	0.2713	0.7444	1	0.75	3	172.119
30	0.9	0.2671	0.6047	1	0.5	2	180.349
30	0.9	0.2842	0.6621	1	0.5	2	179.772
30	1	0.2734	0.6514	1	0.75	3	200.563
30	1	0.2553	0.6177	1	0.6667	2	200.211

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0602 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0052 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 2.2 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.42 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.3

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.1076	0.5548	0.6667	0.5	3	66.736
10	0.8	0.1078	0.5988	0.6667	0.5	3	67.255
10	0.9	0.1155	0.5704	0.5	0.5	2	73.482
10	0.9	0.1034	0.5423	0.75	0.6	3	72.831
10	1	0.1126	0.5960	0.5	0.5	2	78.344
10	1	0.1241	0.6140	0.5	0.5	2	78.29
20	0.8	0.1071	0.6247	1	0.6667	3	100.02
20	0.8	0.1181	0.5604	0.6667	0.5	2	97.324
20	0.9	0.1118	0.5793	0.75	0.6	3	106.293
20	0.9	0.1204	0.5954	0.75	0.6	3	105.821
20	1	0.1093	0.5230	0.6667	0.5	2	120.452
20	1	0.1008	0.5343	0.75	0.6	3	121.114
30	0.8	0.1170	0.5990	1	0.6667	3	172.552
30	0.8	0.1272	0.6407	0.75	0.6	3	174.93
30	0.9	0.1211	0.5622	0.6667	0.5	3	180.44
30	0.9	0.1301	0.6702	0.6667	0.5	3	180.512
30	1	0.1544	0.5845	0.6667	0.5	3	195.345
30	1	0.1689	0.6549	0.75	0.6	3	193.236

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0838 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0273 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 2.2 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.43 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.1

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0	0.6667	1	1	2	200.444
10	0.8	0	0.6667	1	1	2	200.619
10	0.9	0.0695	0.7089	1	0.6667	3	210.421
10	0.9	0.0585	0.6764	1	0.6667	3	209.783
10	1	0	0.6667	1	1	2	220.77
10	1	0	0.6667	1	1	2	222.13
20	0.8	0	0.6667	1	1	2	248.322
20	0.8	0	0.6667	1	1	2	246.466
20	0.9	0	0.6667	1	1	2	255.17
20	0.9	0	0.6667	1	1	2	255.112
20	1	0.0819	0.7539	1	0.5	3	261.211
20	1	0.0695	0.7505	1	0.6667	3	260.87
30	0.8	0	0.6667	1	1	2	312.11
30	0.8	0	0.6667	1	1	2	311.974
30	0.9	0.0375	0.6722	1	0.75	3	320.291
30	0.9	0.0367	0.6473	1	0.75	3	321.997
30	1	0.0479	0.6663	1	0.5	3	330.849
30	1	0.0272	0.7067	1	0.75	3	331.446

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 1.0135 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 0.0002 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 3.1 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.44 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.2

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0	0.5043	1	1	3	198.291
10	0.8	0	0.5467	1	1	3	197.798
10	0.9	0.0182	0.5646	1	0.6667	2	205.714
10	0.9	0.0114	0.5481	0.6667	0.5	3	207.11
10	1	0.0182	0.5802	1	0.75	3	210.523
10	1	0.0203	0.5821	1	1	3	210.397
20	0.8	0	0.6282	1	1	3	235.733
20	0.8	0	0.5848	1	0.75	3	234.881
20	0.9	0.0477	0.6414	1	0.75	3	240.27
20	0.9	0.0390	0.6863	1	0.75	3	241.114
20	1	0.0385	0.6581	0.6667	0.5	3	248.55
20	1	0.0304	0.5597	1	0.8	3	247.759
30	0.8	0	0.5325	1	1	3	303.449
30	0.8	0	0.5726	1	1	3	300.785
30	0.9	0.0484	0.5405	1	0.6667	2	310.11
30	0.9	0.0089	0.5401	1	0.6667	2	311.045
30	1	0.0517	0.4994	1	0.75	3	322.466
30	1	0.0684	0.5243	1	0.75	3	320.772

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 0.042 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 0.0003 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 3.2 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.45 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.3

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.105	0.5639	0.6667	0.5	3	200.397
10	0.8	0.1003	0.5936	0.6667	0.5	3	198.781
10	0.9	0.1244	0.5662	1	0.75	3	208.15
10	0.9	0.1169	0.6455	1	0.5	3	206.552
10	1	0.1074	0.5923	0.6667	0.5	3	215.712
10	1	0.1019	0.5659	0.6667	0.5	3	216.291
20	0.8	0.1095	0.5970	1	0.75	3	241.526
20	0.8	0.1102	0.6599	0.6667	0.5	3	240.887
20	0.9	0.1167	0.5667	0.6667	0.5	4	247.155
20	0.9	0.1262	0.6271	1	0.5	4	248.011
20	1	0.1288	0.6295	1	0.6667	3	255.955
20	1	0.1237	0.5794	1	0.6667	3	256.60
30	0.8	0.1044	0.5549	1	0.5	3	302.994
30	0.8	0.1094	0.5688	1	0.5	3	303.222
30	0.9	0.1184	0.5449	0.6667	0.5	3	315.36
30	0.9	0.1155	0.5106	0.6667	0.5	3	315.45
30	1	0.1067	0.6289	1	0.75	3	327.359
30	1	0.1039	0.6192	1	0.75	3	324.381

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 0.01 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลบน้อยที่สุด คือ 0.00004 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 3.3 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.46 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.1

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.0234	0.5831	1	0.8	8	348.549
10	0.8	0.0492	0.5793	1	0.5	7	345.73
10	0.9	0.0324	0.5624	1	0.75	8	353.88
10	0.9	0.0261	0.5472	1	1	7	350.351
10	1	0.0267	0.4600	1	0.6667	7	357.282
10	1	0.0316	0.5696	1	0.75	7	358.769
20	0.8	0.0217	0.5704	1	0.8	8	382.436
20	0.8	0.0219	0.6049	1	0.8	8	383.11
20	0.9	0.0387	0.5584	1	1	8	387.394
20	0.9	0.0302	0.5722	1	1	8	388.844
20	1	0.0254	0.5637	1	0.8	8	394.091
20	1	0.0253	0.5895	1	0.8	8	394.13
30	0.8	0.0247	0.5255	1	0.6667	7	456.22
30	0.8	0.0232	0.4664	1	0.75	8	460.91
30	0.9	0.0289	0.4984	1	1	8	472.118
30	0.9	0.0264	0.5168	1	1	8	471.983
30	1	0.0318	0.4870	1	0.6667	7	483.839
30	1	0.0263	0.5215	1	0.75	7	480.772

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0251 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0374 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 4.1 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.47 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.2

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.1039	0.6848	0.6667	0.5714	6	337.849
10	0.8	0.1549	0.6798	0.6667	0.5	5	338.461
10	0.9	0.1388	0.6904	1	0.75	6	344.624
10	0.9	0.1431	0.6998	0.75	0.5	5	344.551
10	1	0.1068	0.6715	1	0.6667	6	349.33
10	1	0.1067	0.7764	0.6667	0.5	6	350.122
20	0.8	0.1258	0.6527	1	0.6667	6	371.191
20	0.8	0.1537	0.7333	1	0.5	5	370.758
20	0.9	0.1153	0.6763	0.6667	0.5714	6	375.459
20	0.9	0.1145	0.6665	0.6667	0.5	6	374.76
20	1	0.1479	0.6718	1	0.75	6	380.991
20	1	0.1566	0.6982	1	0.75	6	380.34
30	0.8	0.1488	0.7007	0.6667	0.5	6	432.4
30	0.8	0.1570	0.6869	0.6667	0.57	6	434.115
30	0.9	0.1521	0.6958	0.75	0.5	6	440.358
30	0.9	0.1424	0.6765	0.75	0.5	6	439.18
30	1	0.1459	0.8192	0.6667	0.5714	6	454.363
30	1	0.1315	0.6592	0.6667	0.5714	7	458.71

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0266 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0215 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 4.2 เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 3.48 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.3

T	PLS	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
10	0.8	0.2084	0.6363	1	0.6667	4	331.344
10	0.8	0.2131	0.7091	1	0.5	4	330.772
10	0.9	0.2382	0.7049	1	0.5	4	339.511
10	0.9	0.2114	0.6467	1	0.6667	3	337.972
10	1	0.2282	0.6746	1	0.75	4	345.061
10	1	0.2203	0.6481	1	0.75	4	345.1
20	0.8	0.2408	0.6802	0.75	0.5	4	370.21
20	0.8	0.2354	0.6821	0.75	0.5	4	370.664
20	0.9	0.2177	0.6782	1	0.75	4	375.071
20	0.9	0.2290	0.6848	1	0.6667	4	376.14
20	1	0.2285	0.6414	0.6667	0.5	4	384.391
20	1	0.2504	0.6863	0.6667	0.5	4	385.04
30	0.8	0.2069	0.6581	1	0.75	4	432.33
30	0.8	0.2021	0.6597	1	0.6667	4	433.192
30	0.9	0.2484	0.7325	0.6667	0.5	4	440.56
30	0.9	0.2289	0.6726	0.75	0.5	4	440.297
30	1	0.2017	0.6405	0.75	0.5	4	452.83
30	1	0.2184	0.7101	0.6667	0.5	4	455.226

โดยมีค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มากที่สุดลดค่าน้อยที่สุด คือ 0.0181 และค่าวัตถุประสงค์ที่ 4 มากที่สุดลดน้อยที่สุด คือ 0.0305 ทุก ๆ ระดับปัจจัยในเซตปัญหาที่ 4.3 เพื่อคำนวณค่า Convergence

จากผลการทดลองในแต่ละปัญหาย่อยที่ได้กล่าวมาข้างต้น จึงได้กำหนดขั้นตอนการยอมรับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ซึ่งมีขั้นตอนการวิเคราะห์ดังต่อไปนี้

(1) ตั้งสมมุติฐาน

$$H_0: \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \mu_4 = \dots = \mu_n$$

(หมายความว่า ไม่มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง จำนวนครั้งในการทำซ้ำและค่าความน่าจะเป็น)

(2) H_a : At least two μ 's are different

(หมายความว่า มีอิทธิพลร่วมกันระหว่าง จำนวนครั้งในการทำซ้ำและค่าความน่าจะเป็น)

(3) กำหนดระดับนัยสำคัญ (Significant Level) กำหนด $\alpha = 0.05$

(4) ทำการวิเคราะห์ โดยใช้โปรแกรม Minitab 17 เพื่อวิเคราะห์ค่า P-value ของปัจจัยร่วม

3.5.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย อันเนื่องมาจากคำตอบที่ดีมีเพียงคำตอบเดียวส่งผลให้ ค่า Degree of freedom มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถหาค่า P-value ได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย อันเนื่องมาจากคำตอบที่ดีมีเพียงคำตอบเดียวส่งผลให้ ค่า Degree of freedom มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถหาค่า P-value ได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะค่าตัวชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย อันเนื่องมาจากคำตอบที่ดีมีเพียงคำตอบเดียวส่งผลให้ ค่า Degree of freedom มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถหาค่า P-value ได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย อันเนื่องมาจากคำตอบที่ดีมีเพียงคำตอบเดียวส่งผลให้ ค่า Degree of freedom มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถหาค่า P-value ได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย อันเนื่องมาจากคำตอบที่ดีมีเพียงคำตอบเดียวส่งผลให้ ค่า Degree of freedom มีค่าเป็นศูนย์ ซึ่งไม่สามารถหาค่า P-value ได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชีวิตสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 1.1 ดังตารางที่ 3.49

ตารางที่ 3.49 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000610	0.000305	2.62	0.127
PLS	2	0.000381	0.000190	1.64	0.248
T*PLS	4	0.001303	0.000326	2.80	0.092
Error	9	0.001048	0.000116		
Total	17	0.003341			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0107919	68.63%	40.74%	0.00%

รูปที่ 3.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.17 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.092 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้อง นำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001228	0.000614	0.32	0.732
PLS	2	0.016553	0.008277	4.35	0.048
T*PLS	4	0.016945	0.004236	2.23	0.146
Error	9	0.017117	0.001902		
Total	17	0.051843			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0436112	66.98%	37.63%	0.00%

รูปที่ 3.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.18 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.146 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไป วิเคราะห์ขั้นต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า เที่ยบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.002500	0.001250	0.06	0.943
PLS	2	0.035833	0.017917	0.84	0.462
T*PLS	4	0.091667	0.022917	1.08	0.422
Error	9	0.191250	0.021250		
Total	17	0.321250			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.145774	40.47%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า เที่ยบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.19 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.422 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.04861	0.02431	0.67	0.536
PLS	2	0.06028	0.03014	0.83	0.468
T*PLS	4	0.14972	0.03743	1.03	0.443
Error	9	0.32750	0.03639		
Total	17	0.58611			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.190759	44.12%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.20 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.443 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.1111	0.05556	0.33	0.725
PLS	2	0.1111	0.05556	0.33	0.725
T*PLS	4	1.2222	0.30556	1.83	0.207
Error	9	1.5000	0.16667		
Total	17	2.9444			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.408248	49.06%	3.77%	0.00%

รูปที่ 3.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.21 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.207 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 1.2 ดังตารางที่ 3.50

ตารางที่ 3.50 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.3

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000249	0.000124	2.04	0.186
PLS	2	0.021384	0.010692	175.17	0.000
T*PLS	4	0.002735	0.000684	11.20	0.002
Error	9	0.000549	0.000061		
Total	17	0.024917			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0078126	97.80%	95.84%	91.18%

Factor	Mean	StDev
10 0.8	-0.00000	0.00552
10 0.9	0.09085	0.00552
10 1.0	-0.00000	0.00552
20 0.8	0.00060	0.00552
20 0.9	0.09420	0.00552
20 1.0	0.00895	0.00552
30 0.8	0.02210	0.00552
30 0.9	0.05140	0.00552
30 1.0	0.00295	0.00552

รูปที่ 3.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.3 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.22 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์หาคู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 และปัจจัย 3 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.012162	0.006081	2.67	0.123
PLS	2	0.005310	0.002655	1.17	0.355
T*PLS	4	0.006906	0.001727	0.76	0.578
Error	9	0.020506	0.002278		
Total	17	0.044884			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0477334	54.31%	13.70%	0.00%

รูปที่ 3.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 3.23 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.578 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.002347	0.001173	0.05	0.948
PLS	2	0.009288	0.004644	0.21	0.814
T*PLS	4	0.101908	0.025477	1.16	0.390
Error	9	0.198044	0.022005		
Total	17	0.311587			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.148341	36.44%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.24 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 3.24 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.390 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.01036	0.005180	0.23	0.797
PLS	2	0.11377	0.056886	2.55	0.133
T*PLS	4	0.12191	0.030477	1.37	0.319
Error	9	0.20079	0.022310		
Total	17	0.44683			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.149366	55.06%	15.12%	0.00%

รูปที่ 3.25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.25 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.319 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.4444	0.22222	1.00	0.405
PLS	2	3.1111	1.55556	7.00	0.015
T*PLS	4	0.2222	0.05556	0.25	0.903
Error	9	2.0000	0.22222		
Total	17	5.7778			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.471405	65.38%	34.62%	0.00%

รูปที่ 3.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.3 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.26 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.903 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ครบถ้วน จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

6) ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์ค่าลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 และ ปัจจัย 3 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 1.3 ดังตารางที่ 3.51

ตารางที่ 3.51 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.3

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000025	0.000013	0.17	0.846
PLS	2	0.000043	0.000021	0.29	0.755
T*PLS	4	0.000388	0.000097	1.31	0.335
Error	9	0.000664	0.000074		
Total	17	0.001120			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0085897	40.71%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.27 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.335 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001872	0.000936	0.14	0.872
PLS	2	0.004567	0.002283	0.34	0.721
T*PLS	4	0.005856	0.001464	0.22	0.922
Error	9	0.060638	0.006738		
Total	17	0.072933			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0820824	16.86%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง
จากรูปที่ 3.28 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.922 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.05864	0.029319	3.80	0.064
PLS	2	0.15122	0.075609	9.80	0.006
T*PLS	4	0.11728	0.029319	3.80	0.045
Error	9	0.06944	0.007715		
Total	17	0.39657			

Model Summary

S	R-sq	R-sq (adj)	R-sq (pred)
0.0878375	82.49%	66.93%	29.96%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	1.0000	0.0621
10 0.9	1.0000	0.0621
10 1.0	1.0000	0.0621
20 0.8	0.5833	0.0621
20 0.9	1.0000	0.0621
20 1.0	1.0000	0.0621
30 0.8	0.8333	0.0621
30 0.9	1.0000	0.0621
30 1.0	1.0000	0.0621

รูปที่ 3.29 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าชีวิตด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
 เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.29 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.045 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์ คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยร่วมที่ 1,2,3,5,6,8 และ 9 ให้ค่าตัวแปรตัวตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชีวิตต่อไป เพื่อทราบปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.006944	0.003472	0.14	0.869
PLS	2	0.340278	0.170139	7.00	0.015
T*PLS	4	0.034722	0.008681	0.36	0.833
Error	9	0.218750	0.024306		
Total	17	0.600694			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.155902	63.58%	31.21%	0.00%

รูปที่ 3.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.30 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.833 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	1.4444	0.7222	6.50	0.018
PLS	2	1.4444	0.7222	6.50	0.018
T*PLS	4	0.5556	0.1389	1.25	0.357
Error	9	1.0000	0.1111		
Total	17	4.4444			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.333333	77.50%	57.50%	10.00%

รูปที่ 3.31 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.31 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.357 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

6) ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์ค่าลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยร่วมที่ 1, 2, 3, 5, 6, 8 และ 9 ให้ค่าตัวแปรตัวตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงวิเคราะห์โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.1 ดังตารางที่ 3.52

ตารางที่ 3.52 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.5 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.002508	0.001254	4.74	0.039
PLS	2	0.010842	0.005421	20.50	0.000
T*PLS	4	0.005483	0.001371	5.18	0.019
Error	9	0.002380	0.000264		
Total	17	0.021213			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0162607	88.78%	78.81%	55.13%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	0.2170	0.0115
10 0.9	0.2348	0.0115
10 1.0	0.2214	0.0115
20 0.8	0.3210	0.0115
20 0.9	0.2547	0.0115
20 1.0	0.2969	0.0115
30 0.8	0.2706	0.0115
30 0.9	0.2756	0.0115
30 1.0	0.2643	0.0115

รูปที่ 3.32 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.32 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.019 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.003040	0.001520	0.49	0.628
PLS	2	0.023345	0.011673	3.77	0.065
T*PLS	4	0.012431	0.003108	1.00	0.454
Error	9	0.027878	0.003098		
Total	17	0.066694			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0556561	58.20%	21.04%	0.00%

รูปที่ 3.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 3.33 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.454 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.16049	0.08024	5.20	0.032
PLS	2	0.02160	0.01080	0.70	0.522
T*PLS	4	0.48764	0.12191	7.90	0.055
Error	9	0.13889	0.01543		
Total	17	0.80863			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.124228	82.82%	67.56%	31.29%

รูปที่ 3.34 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าชีวิตด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.34 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.055 ซึ่งมากกว่า 0.05

หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.058636	0.029318	3.45	0.077
PLS	2	0.005402	0.002701	0.32	0.735
T*PLS	4	0.478424	0.119606	14.09	0.071
Error	9	0.076411	0.008490		
Total	17	0.618873			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0921419	87.65%	76.68%	50.61%

รูปที่ 3.35 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.35 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.071 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.4444	0.2222	2.00	0.191
PLS	2	1.4444	0.7222	6.50	0.018
T*PLS	4	1.5556	0.3889	3.50	0.055
Error	9	1.0000	0.1111		
Total	17	4.4444			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.333333	77.50%	57.50%	10.00%

รูปที่ 3.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.36 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0. ซึ่งมากกว่า 0.055 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.2 ดังตารางที่ 3.53

ตารางที่ 3.53 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.6 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.3

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร

ตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.002483	0.001241	23.74	0.000
PLS	2	0.000677	0.000338	6.47	0.018
T*PLS	4	0.001499	0.000375	7.17	0.007
Error	9	0.000471	0.000052		
Total	17	0.005129			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0072311	90.82%	82.67%	63.30%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	0.10505	0.00511
10 0.9	0.10945	0.00511
10 1.0	0.11835	0.00511
20 0.8	0.11260	0.00511
20 0.9	0.11610	0.00511
20 1.0	0.10770	0.00511
30 0.8	0.12210	0.00511
30 0.9	0.12560	0.00511
30 1.0	0.16165	0.00511

รูปที่ 3.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร

ตอบสนอง

จากรูปที่ 3.37 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.007 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชีวิตต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.008083	0.004042	2.81	0.113
PLS	2	0.000486	0.000243	0.17	0.847
T*PLS	4	0.006955	0.001739	1.21	0.372
Error	9	0.012965	0.001441		
Total	17	0.028489			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0379547	54.49%	14.04%	0.00%

รูปที่ 3.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.38 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.372 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.10263	0.051313	3.70	0.067
PLS	2	0.07485	0.037426	2.70	0.121
T*PLS	4	0.02005	0.005013	0.36	0.830
Error	9	0.12498	0.013887		
Total	17	0.32251			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.117843	61.25%	26.80%	0.00%

รูปที่ 3.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าชีวิตด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.39 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.830 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.011978	0.005989	1.73	0.231
PLS	2	0.004571	0.002285	0.66	0.540
T*PLS	4	0.019509	0.004877	1.41	0.306
Error	9	0.031119	0.003458		
Total	17	0.067176			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0588018	53.68%	12.50%	0.00%

รูปที่ 3.40 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.40 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.306 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.7778	0.3889	2.33	0.153
PLS	2	0.4444	0.2222	1.33	0.311
T*PLS	4	0.8889	0.2222	1.33	0.329
Error	9	1.5000	0.1667		
Total	17	3.6111			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.408248	58.46%	21.54%	0.00%

รูปที่ 3.41 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.41 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.329 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็น เปอร์เซ็น พบว่าปัจจัยที่ 1 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.3 ดังตารางที่ 3.54

ตารางที่ 3.54 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.3

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร

ตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000056	0.000028	0.71	0.515
PLS	2	0.005154	0.002577	65.90	0.000
T*PLS	4	0.009805	0.002451	62.69	0.000
Error	9	0.000352	0.000039		
Total	17	0.015368			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0062534	97.71%	95.67%	90.84%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	-0.00000	0.00442
10 0.9	0.06400	0.00442
10 1.0	0.00000	0.00442
20 0.8	-0.00000	0.00442
20 0.9	-0.00000	0.00442
20 1.0	0.07570	0.00442
30 0.8	0.00000	0.00442
30 0.9	0.03710	0.00442
30 1.0	0.03755	0.00442

รูปที่ 3.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร

ตอบสนอง

จากรูปที่ 3.42 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1, 3, 4, 5 และ 7 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001999	0.001000	5.42	0.029
PLS	2	0.004199	0.002100	11.38	0.003
T*PLS	4	0.007216	0.001804	9.78	0.002
Error	9	0.001660	0.000184		
Total	17	0.015075			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0135810	88.99%	79.20%	55.95%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	0.66670	0.00960
10 0.9	0.69265	0.00960
10 1.0	0.66670	0.00960
20 0.8	0.66670	0.00960
20 0.9	0.66670	0.00960
20 1.0	0.75220	0.00960
30 0.8	0.66670	0.00960
30 0.9	0.65975	0.00960

รูปที่ 3.43 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.43 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1, 3, 4, 5 และ 7 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชีวิตต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

3) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะค่าตัวชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.03010	0.015050	3.00	0.100
PLS	2	0.22452	0.112262	22.38	0.000
T*PLS	4	0.30089	0.075223	15.00	0.071
Error	9	0.04514	0.005016		
Total	17	0.60066			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0708241	92.48%	85.80%	69.94%

รูปที่ 3.44 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองมาเปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.44 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.071 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองมาเปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองมาเป็นตัวแปรตอบสนองได้ เนื่องจากไม่สามารถหาค่า P-value ได้

6) ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงและการกระจายตัว ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1, 3, 4, 5 และ 7 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.3 ดังตารางที่ 3.55

ตารางที่ 3.55 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.8 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร

ตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001115	0.000558	4.94	0.036
PLS	2	0.004711	0.002356	20.88	0.000
T*PLS	4	0.001401	0.000350	3.10	0.073
Error	9	0.001016	0.000113		
Total	17	0.008243			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0106225	87.68%	76.73%	50.72%

รูปที่ 3.45 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.45 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.073 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.027898	0.013949	14.04	0.002
PLS	2	0.002112	0.001056	1.06	0.385
T*PLS	4	0.006951	0.001738	1.75	0.223
Error	9	0.008942	0.000994		
Total	17	0.045903			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0315207	80.52%	63.20%	22.08%

รูปที่ 3.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.46 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.223 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.01234	0.006172	0.50	0.622
PLS	2	0.01234	0.006172	0.50	0.622
T*PLS	4	0.06172	0.015429	1.25	0.357
Error	9	0.11109	0.012343		
Total	17	0.19749			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.1111	43.75%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.47 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.47 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.357 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.01232	0.006159	0.46	0.647
PLS	2	0.26692	0.133459	9.89	0.005
T*PLS	4	0.08712	0.021780	1.61	0.252
Error	9	0.12139	0.013488		
Total	17	0.48775			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.116139	75.11%	52.99%	0.45%

รูปที่ 3.48 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.48 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.252 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.3333	0.16667	3.00	0.100
PLS	2	1.0000	0.50000	9.00	0.007
T*PLS	4	0.6667	0.16667	3.00	0.079
Error	9	0.5000	0.05556		
Total	17	2.5000			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.235702	80.00%	62.22%	20.00%

รูปที่ 3.49 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.49 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 3.2 ดังตารางที่ 3.56

ตารางที่ 3.56 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.3

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000374	0.000187	12.63	0.002
PLS	2	0.000528	0.000264	17.83	0.001
T*PLS	4	0.000305	0.000076	5.15	0.019
Error	9	0.000133	0.000015		
Total	17	0.001341			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0038484	90.06%	81.22%	60.23%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	0.10265	0.00272
10 0.9	0.12065	0.00272
10 1.0	0.10465	0.00272
20 0.8	0.10985	0.00272
20 0.9	0.12145	0.00272
20 1.0	0.12625	0.00272
30 0.8	0.10690	0.00272
30 0.9	0.11695	0.00272
30 1.0	0.10530	0.00272

รูปที่ 3.50 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.3 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.50 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.019 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 0 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.004526	0.002263	2.09	0.179
PLS	2	0.001981	0.000991	0.92	0.434
T*PLS	4	0.009608	0.002402	2.22	0.147
Error	9	0.009723	0.001080		
Total	17	0.025838			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0328683	62.37%	28.92%	0.00%

รูปที่ 3.51 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง จากรูปที่ 3.51 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.454 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.04937	0.024686	2.00	0.191
PLS	2	0.01234	0.006172	0.50	0.622
T*PLS	4	0.32092	0.080231	6.50	0.010
Error	9	0.11109	0.012343		
Total	17	0.49373			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.1111	77.50%	57.50%	10.00%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	1.0000	0.0786
10 0.9	1.0000	0.0786
10 1.0	0.6667	0.0786
20 0.8	0.8334	0.0786
20 0.9	0.8333	0.0786
20 1.0	1.0000	0.0786
30 0.8	1.0000	0.0786
30 0.9	0.6667	0.0786
30 1.0	1.0000	0.0786

รูปที่ 3.52 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.3 เมื่อใช้ค่าชีวิตด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.52 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.010 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยระดับที่ 1, 2, 6, 7 และ 9 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชีวิตต่อไป เพื่อทราบว่ามีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.01003	0.005017	0.72	0.512
PLS	2	0.03782	0.018909	2.72	0.119
T*PLS	4	0.09645	0.024113	3.47	0.056
Error	9	0.06250	0.006944		
Total	17	0.20680			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0833333	69.78%	42.91%	0.00%

รูปที่ 3.53 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองนำมาเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.53 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.056 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองนำมาเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรับรองเป็นตัวแปรตอบสนอง เนื่องจากไม่สามารถหาค่า P-value ได้

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบ และอัตราคำตอบที่ไม่ถูกรับรองนำมาเทียบกับคำตอบที่อัลกอริทึมหามีระดับปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงพิจารณาเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 3.3 ดังตารางที่ 3.57

ตารางที่ 3.57 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.3

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.10 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร
ตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000082	0.000041	0.88	0.448
PLS	2	0.000033	0.000017	0.36	0.710
T*PLS	4	0.000232	0.000058	1.24	0.360
Error	9	0.000420	0.000047		
Total	17	0.000768			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0068329	45.26%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.54 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร
ตอบสนอง

จากรูปที่ 3.54 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.360 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้อง นำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.016850	0.008425	7.85	0.011
PLS	2	0.001597	0.000798	0.74	0.502
T*PLS	4	0.003517	0.000879	0.82	0.544
Error	9	0.009663	0.001074		
Total	17	0.031627			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0327665	69.45%	42.29%	0.00%

รูปที่ 3.55 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.55 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.544 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) ไม่สามารถวิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะค่าตัวชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง เพราะค่าคำตอบที่ดีมีเพียงค่าเดียวทุก ๆ ระดับปัจจัย จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.04481	0.022405	2.33	0.153
PLS	2	0.21119	0.105595	10.97	0.004
T*PLS	4	0.01009	0.002523	0.26	0.895
Error	9	0.08666	0.009629		
Total	17	0.35275			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0981260	75.43%	53.60%	1.73%

รูปที่ 3.56 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.56 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.895 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	1.4444	0.7222	4.33	0.048
PLS	2	0.7778	0.3889	2.33	0.153
T*PLS	4	0.5556	0.1389	0.83	0.537
Error	9	1.5000	0.1667		
Total	17	4.2778			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.408248	64.94%	33.77%	0.00%

รูปที่ 3.57 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.57 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.537 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ครอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 4.1 ดังตารางที่ 3.58

ตารางที่ 3.58 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.11 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปร
ตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001272	0.000636	2.98	0.102
PLS	2	0.000218	0.000109	0.51	0.617
T*PLS	4	0.002643	0.000661	3.09	0.073
Error	9	0.001921	0.000213		
Total	17	0.006054			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0146115	68.26%	40.05%	0.00%

รูปที่ 3.58 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.58 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.073 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.001751	0.000876	0.35	0.711
PLS	2	0.003476	0.001738	0.70	0.521
T*PLS	4	0.002111	0.000528	0.21	0.925
Error	9	0.022285	0.002476		
Total	17	0.029623			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0497603	24.77%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.59 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.59 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.925 ซึ่งมากกว่า 0.05

หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.11341	0.056706	5.88	0.023
PLS	2	0.01620	0.008102	0.84	0.463
T*PLS	4	0.18976	0.047441	4.92	0.022
Error	9	0.08679	0.009644		
Total	17	0.40618			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0982030	78.63%	59.64%	14.53%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	1.0000	0.0694
10 0.9	0.8750	0.0694
10 1.0	0.8334	0.0694
20 0.8	1.0000	0.0694
20 0.9	0.6667	0.0694
20 1.0	1.0000	0.0694
30 0.8	0.6667	0.0694
30 0.9	0.7500	0.0694
30 1.0	0.6667	0.0694

รูปที่ 3.60 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.60 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.022 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1, 4, และ 6 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.02301	0.011506	1.56	0.263
PLS	2	0.02721	0.013606	1.84	0.214
T*PLS	4	0.03652	0.009129	1.23	0.363
Error	9	0.06659	0.007399		
Total	17	0.15333			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0860148	56.57%	17.97%	0.00%

รูปที่ 3.61 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.61 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.363 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.7778	0.38889	1.75	0.228
PLS	2	0.7778	0.38889	1.75	0.228
T*PLS	4	0.2222	0.05556	0.25	0.903
Error	9	2.0000	0.22222		
Total	17	3.7778			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.471405	47.06%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.62 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.62 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.903 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง ครองจำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราคำตอบที่ไม่ถูกต้องครอบงำเทียบกับคำตอบที่อัลกอริทึมหามีระดับปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงพิจารณาเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 4.2

ตารางที่ 3.59 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (k)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.5.12 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.3

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000891	0.000445	3.78	0.064
PLS	2	0.000379	0.000189	1.61	0.253
T*PLS	4	0.001537	0.000384	3.26	0.065
Error	9	0.001061	0.000118		
Total	17	0.003867			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0108561	72.57%	48.19%	0.00%

รูปที่ 3.63 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.63 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.065 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการรู้เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้อง นำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.000246	0.000123	0.11	0.896
PLS	2	0.001309	0.000655	0.59	0.573
T*PLS	4	0.001274	0.000319	0.29	0.878
Error	9	0.009944	0.001105		
Total	17	0.012773			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0332392	22.15%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.64 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.64 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.878 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัว จึงต้องนำผลไป วิเคราะห์ขั้นต่อไป

3) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชีวิตสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.151217	0.075609	98.07	0.000
PLS	2	0.056314	0.028157	36.52	0.000
T*PLS	4	0.177451	0.044363	57.54	0.000
Error	9	0.006939	0.000771		
Total	17	0.391921			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0277667	98.23%	96.66%	92.92%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	1.0000	0.0196
10 0.9	1.0000	0.0196
10 1.0	1.0000	0.0196
20 0.8	0.7500	0.0196
20 0.9	1.0000	0.0196
20 1.0	0.6667	0.0196
30 0.8	1.0000	0.0196
30 0.9	0.7084	0.0196
30 1.0	0.7084	0.0196

รูปที่ 3.65 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรวบจำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.65 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่าจำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.000 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ณ ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 1, 2, 3, 5 และ 7 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

4) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรวบจำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.019293	0.009647	2.50	0.137
PLS	2	0.000773	0.000386	0.10	0.906
T*PLS	4	0.152016	0.038004	9.85	0.002
Error	9	0.034728	0.003859		
Total	17	0.206810			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0621180	83.21%	68.28%	32.83%

Term	Mean	SE Mean
10 0.8	0.5834	0.0439
10 0.9	0.5833	0.0439
10 1.0	0.7500	0.0439
20 0.8	0.5000	0.0439
20 0.9	0.7084	0.0439
20 1.0	0.5000	0.0439
30 0.8	0.7084	0.0439
30 0.9	0.5000	0.0439
30 1.0	0.5000	0.0439

รูปที่ 3.66 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรวบจำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.66 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.002 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง ระดับนัยสำคัญ 0.05 จึงทำการวิเคราะห์คู่ลำดับในช่วงความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ พบว่าปัจจัยที่ 3, 5, และ 7 ให้ค่าตัวแปรตอบสนองเข้าใกล้ 1 จึงทำการพิจารณาผลการทดลองตัวชี้วัดต่อไป เพื่อทราบว่าปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอื่น ๆ หรือไม่

5) วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรวบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus T, PLS

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
T	2	0.1111	0.05556	1.00	0.405
PLS	2	0.1111	0.05556	1.00	0.405
T*PLS	4	0.2222	0.05556	1.00	0.456
Error	9	0.5000	0.05556		
Total	17	0.9444			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.235702	47.06%	0.00%	0.00%

รูปที่ 3.67 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.3 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 3.67 จะเห็นได้ว่าค่า P-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T) และ ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS) มีค่าเท่ากับ 0.456 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้องครอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6) วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราคำตอบที่ไม่ถูกต้องครอบงำเทียบกับคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้และอัตราคำตอบที่ไม่ถูกต้องครอบงำเทียบกับคำตอบที่แท้จริง มีระดับปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง จึงพิจารณาเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 4.3

ตารางที่ 3.60 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.3

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ (T)	10
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ (PLS)	0.8

3.6 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยร่วมระหว่างจำนวนครั้งในการทำซ้ำ และค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ มีผลต่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ตัวชี้วัดหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า P-value ดังตารางที่ 3.61

ตารางที่ 3.61 ค่า P-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17

เขต ปัญหา	P-value (เกณฑ์ในการยอมรับระดับค่าพารามิเตอร์ที่ เหมาะสม P-value < 0.05)					ผลการตัดสินใจ
	CONV.	SP.	RNDS1	RNDS2	NNDS	
1.1	n/a	n/a	n/a	n/a	n/a	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
1.2	0.092	0.146	0.422	0.443	0.207	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
1.3	0.002	0.578	0.390	0.319	0.903	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า CONV. ต่ำที่สุด
2.1	0.335	0.922	0.045	0.833	0.357	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า RNDS1 ต่ำที่สุด
2.2	0.019	0.454	0.055	0.071	0.055	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า CONV. ต่ำที่สุด
2.3	0.007	0.372	0.830	0.306	0.329	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า CONV. ต่ำที่สุด
3.1	0.000	0.002	n/a	0.071	n/a	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า CONV. และ SP ต่ำที่สุด จึงเลือกค่า จาก CPU-Time น้อยที่สุด
3.2	0.073	0.223	0.357	0.252	0.079	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
3.3	0.019	0.147	0.010	0.056	n/a	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า CONV. และ RNDS1 ต่ำที่สุด จึง เลือกค่าจาก CPU-Time น้อยที่สุด
4.1	0.360	0.544	n/a	0.895	0.537	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
4.2	0.073	0.925	0.022	0.363	0.903	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า RNDS1 ต่ำที่สุด
4.3	0.065	0.878	0.000	0.002	0.456	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า RNDS1 และ RNDS2 ต่ำที่สุด จึง เลือกค่าจาก CPU-Time น้อยที่สุด

n/a: ไม่สามารถหาค่า P-value ได้ อันเนื่องจากคำตอบไม่มีความแตกต่าง และให้ค่าน้อยจึงมีผลให้ Degree of Freedom เป็นศูนย์

จากตารางที่ 3.61 แสดงให้เห็นว่าการตัดสินใจยอมรับระดับของค่าพารามิเตอร์ในแต่ละปัญหาย่อยจะใช้ค่า P-value ซึ่งหากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 จะตัดสินใจยอมรับว่าปัจจัยร่วมมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ซึ่งตัวแปรตอบสนองที่นำมาใช้ในการทดสอบระดับค่าพารามิเตอร์จะใช้ตัวชี้วัด 5 ตัวชี้วัดตามระดับความสำคัญคือ การเข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set), อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (RNDS2), อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่าจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (RNDS1) จำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (NNDS) และการกระจายตัว (Spread) สุดท้ายเมื่อตัวชี้วัดสมรรถนะเป็นตัวแปรตอบสนองให้ค่า P-value มากกว่า 0.05 จะทำการยอมรับระดับพารามิเตอร์จากเวลาการประมวลผล (CPU Time) น้อยที่สุด

โดยในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์จากการอ้างอิงงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งรายละเอียดของพารามิเตอร์ดังตารางที่ 3.62

ตารางที่ 3.62 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน COIN-E และ LS

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	แหล่งอ้างอิง
จำนวนประชากร	100	นายสถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, (2556)
Reward/Punish	0.1	
จำนวนครั้งในการทำซ้ำ	10	การทดลอง
ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่	0.8	

บทนี้มีเนื้อหาเกี่ยวกับแนวคิดและหลักการของ COIN ซึ่งมีแนวคิดหลักคือการศึกษาหาแนวทางของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (No Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันเพื่อนำมากำหนดทิศทางการหาคำตอบสุดท้าย และยังได้มีการเพิ่มการค้นหาเฉพาะที่ เพื่อคาดว่าคำตอบที่ผ่านกระบวนการค้นหาเฉพาะที่จะช่วยปรับปรุงคำตอบให้ได้คำตอบที่ดีและมีความหลากหลายมากยิ่งขึ้น

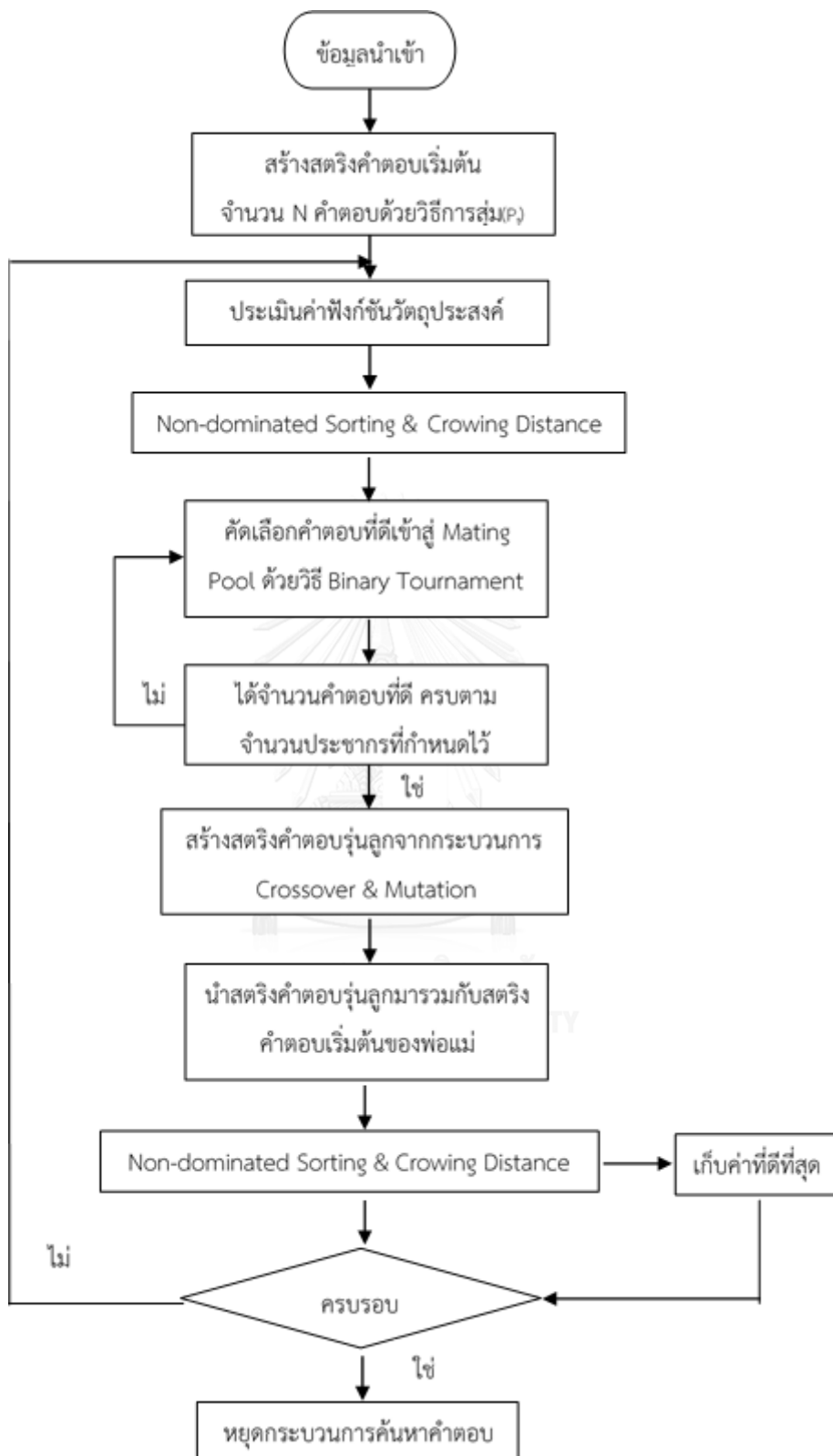
บทที่ 4

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II

อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II: NSGA-II) ซึ่งมีแนวคิดจากเรื่องพันธุกรรมของมนุษย์ โดยเอาหลักการจากการที่พ่อแม่จะถ่ายทอดพันธุกรรมไปสู่ลูกหลาน โดยอาศัยจากพันธุกรรมของพ่อแม่ที่ให้มาแล้วเข้าสู่กระบวนการคัดแยกเป็นอีกหนึ่งคุณลักษณะ (Character) ซึ่งจะเก็บเอาคำตอบพันธุกรรมพ่อแม่และจากการผ่านกระบวนการเป็นคุณลักษณะรุ่นลูกหลาน เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีไม่หายไปจากกระบวนการคัดแยกคุณลักษณะ โดยใช้หลักการทางฮิวริสติกในการค้นหาคำตอบเพื่อจะได้คำตอบให้มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

4.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ

กระบวนการหลักของอัลกอริทึมคือการสุ่มจับคู่สตริงคำตอบ (โครโมโซม) ทำการสุ่มแลกเปลี่ยนค่าบิตกันระหว่างกันเรียกว่า “การครอสโอเวอร์” (การแลกเปลี่ยนยีนของพ่อแม่) ออกมาเป็นสตริงคำตอบรุ่นลูกออกมา ซึ่งจะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกส่วนหนึ่งถูกคัดลอกออกมาผ่าน “กระบวนการมิวเตชัน” (การสุ่มสลับบิตในตัวสตริงคำตอบ) เพื่อก่อให้เกิดความหลากหลายของคำตอบ เพื่อเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้ประชากรในสตริงคำตอบอยู่กลุ่มของคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งทั้งนี้หลักการทาง NSGA-II จะมีความแตกต่างจากกระบวนการทางอัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมทั่ว ๆ ไป ซึ่งเป็นแนวคิดเพื่อไว้สำหรับแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมแบบหลายวัตถุประสงค์ และอาศัยกระบวนการจัดการลำดับแบบไม่ถูกครอบงำในการคัดเลือกตัวประชากรคำตอบพ่อแม่ในแต่ละเจเนอเรชัน



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ

4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลการผลิต

ขั้นตอนของ NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดสมมูลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนที่นำเสนอในงานวิจัยเป็นดังนี้

1. นำเข้าข้อมูลขั้นงานที่ใช้ในการจัดสมมูลการผลิต รอบเวลาการผลิต, ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังขั้นงาน และอัตราสัดส่วนความต้องการการผลิตผลิตภัณฑ์
2. สุ่มสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น โดยวิธีการสุ่มเลือกประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ของเจนเนอเรชัน (Pt) มาจำนวน N ตัว
3. ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสตริงคำตอบที่สร้างขึ้น
 - (1) จำนวนพนักงานงานน้อยที่สุด
 - (2) จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
 - (3) ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานมากที่สุด
 - (4) ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานมากที่สุด
4. กำหนดค่าความแข็งแรงแก่สตริงคำตอบด้วยวิธีเทคนิคเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Non-dominated Sorting)
5. กำหนดค่าความหนาแน่น (Crowding Distance) แก่สตริงคำตอบ
6. คัดสตริงคำตอบที่ดีที่สุดเข้าสู่ Mating Pool ด้วยวิธี Binary Tournament Selection
7. จับคู่คำตอบสตริงคำตอบใน Mating Pool ทำการแลกเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX)
8. ทำการสลับกันภายในสตริงคำตอบของตนเองด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation
9. นำสตริงคำตอบที่ผ่านกระบวนการออกมาเป็นรุ่นลูกหลาน (Qt) มารวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้นที่เป็นของรุ่นพ่อแม่ (Pt)
10. ทำการคัดกรองสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจากกระบวนการขั้นตอนที่ 9 เพื่อที่จะนำไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้น ในรอบถัดไปแต่ละรอบ
11. นำสตริงคำตอบที่ดีในรอบก่อนหน้ามารวมกับสตริงคำตอบที่ดีในรอบปัจจุบัน แล้วทำการคัดเลือกด้วยวิธี Non-dominated Sorting แล้วทำการเก็บคำตอบที่ดีที่สุดและนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดมาเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป
12. วนซ้ำกระบวนการจนครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

4.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์

ตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานเพื่อคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์จำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานน้อยที่สุด จะมีการนำข้อมูลต่าง ๆ เข้ามาได้แก่ รอบเวลาดำเนินการผลิต (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน (Precedence Diagram) เป็นต้น

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II มีรายละเอียด ดังนี้

1. จำนวนประชากรเบื้องต้น 7 ตัว
2. ความน่าจะเป็นในการ Crossover: Weight Mapping Crossover (WMX) เท่ากับ 0.7
3. ความน่าจะเป็นในการ Mutation: Reciprocal Exchange Mutation เท่ากับ 0.3

4.3.1 การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

สร้างสตริงคำตอบเบื้องต้นโดยวิธีการกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (String Priority) เท่ากับจำนวนประชากรเบื้องต้นที่กำหนดไว้ ในที่นี้ คือ 7 สตริงคำตอบ โดยมีขั้นตอนวิธีการสุ่มดังนี้

- ใส่ค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority Number) โดยเริ่มแรกให้มีค่าเท่ากับชิ้นงาน

Task ID	1	2	3	4	5	6	7
Priority	1	2	3	4	5	6	7

รูปที่ 4.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ NSGA-II

- สุ่มตำแหน่ง 2 จุด เพื่อทำการสลับค่า โดยจำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งเท่ากับจำนวนครึ่งหนึ่งของงาน หรือ $m/2 = 7/2 = 3.5 = 4$ กำหนดให้ m คือ จำนวนชิ้นงานทั้งหมด



รูปที่ 4.3 สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชิ้นงานสำหรับ NSGA-II

จะได้สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชิ้นงาน 7 สตริงคำตอบดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกชิ้นงาน

String No.	String Priority						
1	4	2	3	5	6	7	1
2	5	3	7	4	2	6	1
3	4	7	5	2	3	6	1
4	7	1	2	5	4	6	3
5	5	6	1	7	3	2	4
6	3	2	5	1	4	7	6
7	5	6	1	3	4	2	7

ทำการพิจารณาจัดลงสถานีงาน และคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยกำหนดให้รอบเวลาในการทำงาน (Cycle Time) เท่ากับ 10 ซึ่งวิธีการจัดสรรงานลงในสถานีงานเช่นเดียวกับวิธีการจัดสรรลงสถานีงานในบทที่ 3 ที่ได้นำเสนอมาแล้ว

4.3.2 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ภายในงานวิจัยนี้จะมีวัตถุประสงค์ทั้ง 4 วัตถุประสงค์ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

String	Worker	Station	Relation	Workload
1	5	3	5.0000	0.0587
2	5	3	4.1667	0.1188
3	5	4	4.2857	0.0438
4	5	3	5.1429	0.0438
5	6	3	5.0000	0.0258
6	5	4	4.2857	0.0438
7	6	3	5.1429	0.0347

การประเมินค่าสตริงคำตอบนั้นจะมีการกำหนดค่าความแข็งแรงโดยใช้วิธี Non-dominated Sorting ได้ดังตารางดังนี้

ตารางที่ 4.3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรง

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
1	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
3	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
4	5	3	5.1429	0.0438	1	Infinity
5	6	3	5.0000	0.0258	3	2.000
6	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
7	6	3	5.1429	0.0347	3	2.000

4.3.3 การคัดเลือกสตริงคำตอบ

การคัดเลือกจะดูจากค่า Fitness ซึ่งค่า Fitness มากจะถือว่าสตริงคำตอบมีความแข็งแรง และจะมีโอกาสถูกคัดเลือกมากกว่าตัวที่มีค่า Fitness น้อย ซึ่งวิธีการในการคัดเลือกคือวิธี Binary Tournament Selection เป็นวิธีการที่ดัดแปลงจากวิธี Roulette Wheel Selection โดยที่สตริงคำตอบจากการผ่านการคัดเลือกครบตามจำนวนประชากรที่กำหนด จะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อทำการจับคู่และดำเนินงานต่อไป

4.3.3.1 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

สตริงคำตอบที่ได้รับการประเมินค่านั้นจะได้รับการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) แล้วนั้นจะดำเนินการต่อด้วยการใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg โดยค่าจะเปลี่ยนเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value)

ตารางที่ 4.4 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

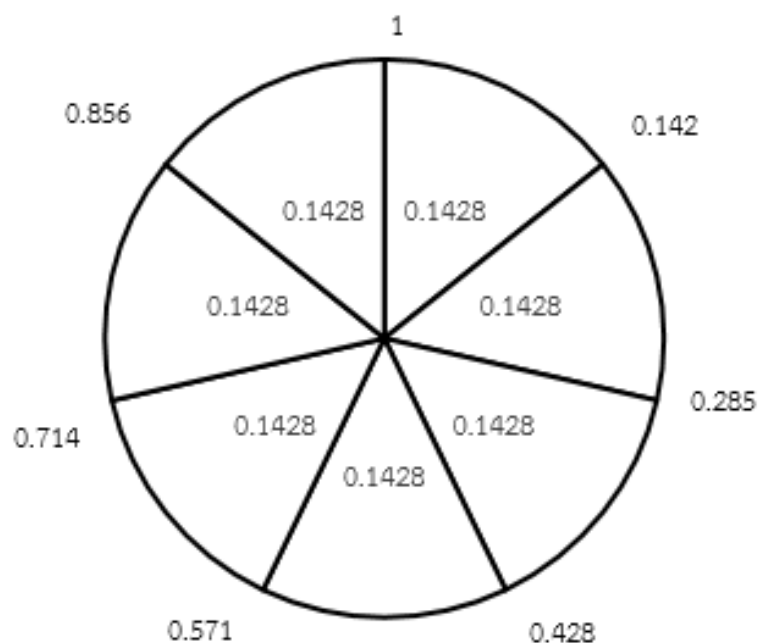
String	Worker	Station	Workload	Relation	Fitness	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	5	3	5.0000	0.0587	1	3	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	3	Infinity
3	5	4	4.2857	0.0438	2	2	Infinity
4	5	3	5.1429	0.0438	1	3	Infinity
5	6	3	5.0000	0.0258	3	1	2.000
6	5	4	4.2857	0.0438	2	2	Infinity
7	6	3	5.1429	0.0347	3	1	2.000

4.3.3.2 วิธีการวงล้อสุ่ม

วิธีการคัดเลือกที่ใช้คือ Binary Tournament Selection ซึ่งเป็นการดัดแปลงมาจาก Roulette Wheel Selection โดยสตริงคำตอบที่ผ่านจากการคัดเลือกจากจำนวนประชากร (Popsiz) ตัวจะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อจับคู่และดำเนินงานต่อไป

ตารางที่ 4.5 การสร้างวงล้อรูเล็ต 7 สตริงคำตอบ

String	Dummy Fitness	pi	qi
1	3	0.1428	0.1428
2	3	0.1428	0.2856
3	2	0.1428	0.4284
4	3	0.1428	0.5712
5	1	0.1428	0.714
6	2	0.1428	0.8568
7	1	0.1428	1
รวม	15	1	



รูปที่ 4.4 วงล้อรูเล็ต 7 สตริงคำตอบ

4.3.3.3 ขั้นตอนการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Tournament Selection

1. สุ่มเลขลำดับ r_1 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1
2. ทำการเลือกสตริงคำตอบตัวแรก ก็ต่อเมื่อ $r_1 < q_i$ แต่ถ้า $q_{i-1} < r_1 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าน้อยกว่า Pop size) ทำการคัดเลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นคำตอบแรก

3. สุ่มตัวเลข r_2 ซึ่งมีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 ทำการเลือกสตริงคำตอบตัวแรก ก็ต่อเมื่อ $r_2 < q_i$ แต่ถ้า $q_{i-1} < r_2 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าน้อยกว่า Popsizes) ทำการเลือกสตริงคำตอบตัวที่ i มาเป็นคำตอบที่สอง
4. เปรียบเทียบค่า Fitness ทั้ง 2 ตัว ถ้าคำตอบใดให้ค่า Fitness มากกว่าให้เลือกตัวนั้นเข้าสู่ Mating Pool
5. ทำตามขั้นตอนที่ 1 ถึง 4 จนได้สตริงคำตอบครบตามจำนวน Popsizes ตัว

ตารางที่ 4.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Binary Tournament Selection

No.	Population 1				Population 2				String Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Dummy Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Dummy Fitness	
1	0.2321	0.285	2	3	0.0840	0.142	1	3	2
2	0.4520	0.571	4	3	0.0027	0.142	1	3	1
3	0.6655	0.714	5	1	0.2870	0.428	3	2	5
4	0.1755	0.285	2	3	0.3667	0.428	3	2	2
5	0.0893	0.142	1	3	0.7854	0.856	6	2	1
6	0.7205	0.856	6	2	0.5443	0.571	4	3	4
7	0.9239	1	7	1	0.6205	0.714	5	1	7

จากตารางที่ 4.6 จะเห็นว่าสตริงคำตอบที่ 2 และ 1 มีค่า Dummy Fitness เท่ากันคือเท่ากับ 3 ดังนั้นจึงต้องทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า Crowding Distance ที่มีค่าเท่ากับอนันต์ (Infinity) ซึ่งทำการสุ่มได้ สตริงคำตอบที่ 2

4.3.4 การครอสโอเวอร์

กระบวนการที่สำคัญประกอบไปด้วย การจับคู่สตริงคำตอบ และการแลกเปลี่ยนส่วนคำตอบซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้สตริงคำตอบรุ่นลูกหลาน

4.3.4.1 การจับคู่สตริงคำตอบ

หลังการคัดเลือกสตริงคำตอบครบตามจำนวน Popsizes จะมีเพียงบางสตริงคำตอบเท่านั้นที่จะถูกเลือกมาจับคู่เพื่อทำวิธีการครอสโอเวอร์ โดยที่จำนวนสตริงคำตอบที่ถูกมาจับคู่จะ

ขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ส่วนสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกเลือกจะยังคงอยู่ใน Mating Pool ดังเดิม เพื่อเป็นประชากรในเจนเนอเรชันต่อไป ซึ่งจะมีวิธีการดังต่อไปนี้

1. สุ่มตัวเลข r มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แก่สตริงคำตอบแต่ละตัว ซึ่งถ้าสตริงคำตอบใดมีค่า r น้อยกว่า P_c จะทำการเลือกไปจับคู่ (ถ้าสตริงคำตอบใดให้ค่า r มากกว่า P_c ให้กลับไปทำซ้ำในข้อที่ 1 อีกครั้ง)
2. สตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_c โดยมีจำนวนทั้ง N_c ตัว โดยเมื่อ N_c เป็นจำนวนคี่ จำต้องทำการปรับเป็นจำนวนคู่เสียก่อน โดยกำหนดเงื่อนไขการปรับค่าดังนี้
 - (1) เมื่อ N_c เป็นจำนวนคี่ มีค่าระหว่าง 1 ถึง จำนวน Popsizes ทำการสุ่มค่าระหว่าง 0 หรือ 1 มาจำนวน 1 ค่า ถ้าค่าที่สุ่มได้ค่า 1 ให้เพิ่มสตริงคำตอบที่เหลือใน Mating Pool 1 ตัว แต่ถ้าทำการสุ่มได้ค่า 0 ให้ตัดสตริงคำตอบที่เลือกไว้ทิ้ง 1 ตัว
 - (2) เมื่อ N_c มีค่าเท่ากับ 1 ทำการเพิ่มสตริงคำตอบอีก 1 ตัวเท่านั้น
 - (3) เมื่อ N_c มีค่าเท่ากับ Popsizes แต่เป็นจำนวนคี่ ให้ตัดสตริงคำตอบที่เลือกทิ้ง 1 ตัวเท่านั้น
3. เมื่อสตริงคำตอบครบจำนวน Popsizes ตัว นำมาจับคู่ตามลำดับ ซึ่งได้จำนวนคู่เท่ากับ $N_c / 2$ คู่

สุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำวิธีการครอสโอเวอร์ จากการพิจารณาสตริงคำตอบที่มีค่าสุ่ม r น้อยกว่า P_c ซึ่งกำหนดให้ $P_c = 0.7$ ดังนั้นจำนวนสตริงคำตอบที่ถูกครอสโอเวอร์มีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $0.7 \times 7 = 4.9$ หรือประมาณ 5 ตัว

ตารางที่ 4.7 การเลือกสตริงคำตอบจากการทำครอสโอเวอร์ r_i

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	[4 2 3 5 6 7 1]	0.0584	Selected
2	[5 3 7 4 2 6 1]	0.6213	Selected
3	[4 7 5 2 3 6 1]	0.2451	Selected
4	[7 1 2 5 4 6 3]	0.6259	Selected
5	[5 6 1 7 3 2 4]	0.9814	-
6	[3 2 5 1 4 7 6]	0.5213	Selected
7	[5 6 1 3 4 2 7]	0.1041	Selected

สตริงคำตอบที่ถูกนำไปโครอสโอเวอร์ คือ สตริงคำตอบหมายเลข 1 2 3 4 6 7 (ค่า N_c ได้จำนวนคี่จึงทำการสุ่ม r ระหว่าง 0 และ 1 ผลที่ได้คือ ค่า 1 จึงทำการเพิ่มสตริงคำตอบใน Mating Pool) ซึ่งทำการจับคู่ออกมาเป็น 1-2, 3-4 และ 6-7

4.3.4.2 การแลกเปลี่ยนส่วนคำตอบ

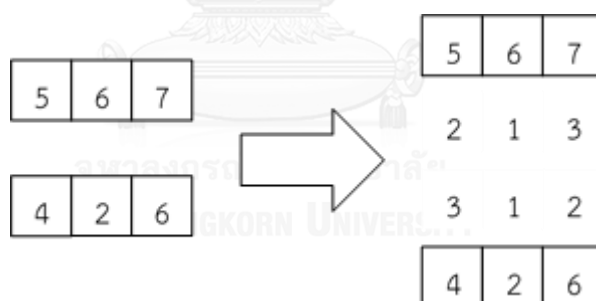
การโครอสโอเวอร์จะเป็นการนำสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กันมาแลกเปลี่ยนส่วนคำตอบซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้สตริงคำตอบใหม่ โดยสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กันเรียกว่า “สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่” และสตริงคำตอบที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกันเรียกว่า “สตริงคำตอบรุ่นลูกหลาน” ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการโครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover (WMX) ซึ่งจะใช้วิธีการดังต่อไปนี้

วิธีการโครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover จะเริ่มนำสตริงคำตอบคู่แรกมาทำการสุ่มตำแหน่งการโครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่งที่ 4 และ 6

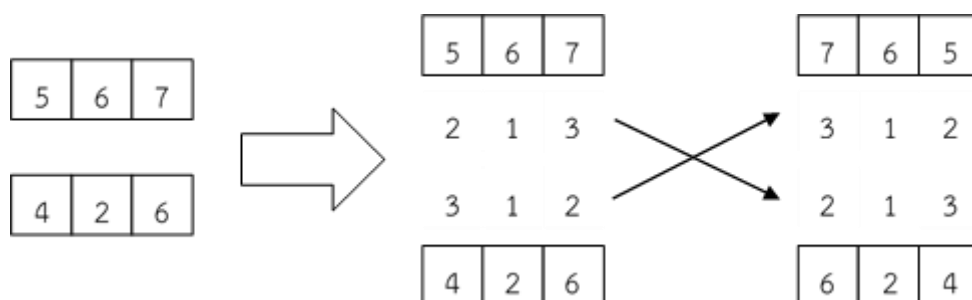
สตริงคำตอบรุ่นพ่อ = [4 2 3 | 5 6 7 | 1]

สตริงคำตอบรุ่นแม่ = [5 3 7 | 4 2 6 | 1]

กำหนดค่าน้ำหนักในช่วง [4,6] แก่สตริงคำตอบรุ่นพ่อและแม่ ได้ดังรูปที่ 4.5 และ 4.6



รูปที่ 4.5 กำหนดน้ำหนักแก่สตริงคำตอบรุ่นพ่อและแม่คู่ที่ 1



รูปที่ 4.6 การสลับค่าน้ำหนักและเปลี่ยนค่าตามน้ำหนักภายในสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่คู่ที่ 1

หลังการทำครอสโอเวอร์ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) จะได้สตริงคำตอบรุ่นลูก ดังนี้

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 1 = [4 2 3 17 6 5 1]

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 2 = [5 3 7 16 2 4 1]

ต่อมาจึงนำคู่สตริงคำตอบที่ 3-4 และ 6-7 ด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX) สุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ของคู่สตริงคำตอบที่ 3-4 ที่ตำแหน่ง 5 และ 6, สุ่มเลือกตำแหน่งการครอสโอเวอร์ของคู่สตริงคำตอบที่ 6-7 ที่ตำแหน่ง 4 และ 7 ได้สตริงคำตอบรุ่นลูก ดังต่อไปนี้

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 3 = [4 7 5 2 16 3 1]

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 4 = [7 1 2 5 16 4 3]

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 6 = [3 2 5 17 6 1 4]

สตริงคำตอบรุ่นลูกที่ 7 = [5 6 1 12 7 3 4]

4.3.5 การมิวเตชัน

คือ กระบวนการแลกเปลี่ยนตำแหน่งกันภายในสตริงคำตอบเพื่อป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจแก้ไขได้ แม้บางครั้งคำตอบอาจจะสลับเข้าไปติดอยู่คำตอบเฉพาะที่ ซึ่งวิธีการทางมิวเตชันนั้นช่วยนำคำตอบหลุดออกเป็นคำตอบที่ดีที่สุดได้ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะนำเสนอวิธีการทางมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation

วิธีการทางมิวเตชันจะไม่ขัดแย้งกับข้อจำกัดทางด้านความสัมพันธ์ก่อนหลังของชั้นงาน อันเนื่องมาจากค่าสตริงคำตอบที่ใช้ในกระบวนการคือค่าสิทธิในการเลือกชั้นงาน ซึ่งการจะเลือกสตริงคำตอบใดควรจะถูกนำมาใช้วิธีการทางมิวเตชันนั้นจะขึ้นอยู่กับค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) มีค่าเท่ากับ 0.3
2. สุ่มตัวเลข r มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 แก่สตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool
3. เลือกเฉพาะสตริงคำตอบที่มีค่า r น้อยกว่า P_m ในการทำมิวเตชัน

กำหนดให้ $P_m = 0.3$ ซึ่งทำให้ได้จำนวนสตริงคำตอบประมาณ 30% ของสตริงคำตอบทั้งหมด จะมีค่าเท่ากับ $0.3 \times 7 = 2.1$ หรือประมาณ 2 ตัว ที่จะถูกนำมาทำมิวเตชัน ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเลือกสตริงคำตอบจากการทำมิวเตชัน

String No.	String Priority	ri	ri < 0.3
1	[4 2 3 7 6 5 1]	0.4602	-
2	[5 3 7 6 2 4 1]	0.4132	-
3	[4 7 5 2 6 3 1]	0.5985	-
4	[7 1 2 5 6 4 3]	0.0650	Selected
5	[5 6 1 7 3 2 4]	0.3934	-
6	[3 2 5 7 6 1 4]	0.2275	Selected
7	[5 6 1 2 7 3 4]	0.6741	-

จะได้สตริงคำตอบที่ 4 และ 6 จะนำมาทำการมิวเตชันโดยวิธี Reciprocal Mutation ซึ่งจะเป็นการสลับตำแหน่งตัวเลข 2 ตัวภายในสตริงคำตอบเองโดยที่สลับตำแหน่ง 2 ตัวที่ไม่ซ้ำกัน

สตริงคำตอบที่ 4 ทำการสลับตัวเลข 1 และ 5 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง



รูปที่ 4.7 การมิวเตชันของสตริงคำตอบที่ 4

สตริงคำตอบที่ 6 ทำการสลับตัวเลข 2 และ 6 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งของตัวเลขทั้งสอง จะได้สตริงคำตอบที่ 6 คือ 3 1 5 7 6 2 4 ดังนั้นจะได้สตริงคำตอบรุ่นลูกทั้งหมด 7 ตัว นำไปรวมกับสตริงคำตอบเริ่มต้น และทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดต่อไป

ตารางที่ 4.9 สตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	[4 2 3 7 6 5 1]
2	[5 3 7 6 2 4 1]
3	[4 7 5 2 6 3 1]
4	[6 1 2 5 7 4 3]
5	[5 6 1 7 3 2 4]

ตารางที่ 4.9 สตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชัน (ต่อ)

String No.	String Priority
6	[3 1 5 7 6 2 4]
7	[5 6 1 2 7 3 4]

4.3.6 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

การเก็บค่าที่ดีที่สุดและยังเป็นการป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ ที่กล่าวมาในข้างต้น อันเนื่องมาจากวิธีการครอสโอเวอร์และมิวเตชันนั้น อาจจะทำให้เกิดคำตอบที่แย่กว่าขึ้นมาได้ จึงจำเป็นต้องมีการเก็บค่าที่ดีที่สุดเพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่าที่ดีของสตริงคำตอบชุดใหม่ การเก็บค่าสตริงคำตอบจะใช้วิธีการ Non-dominated Solution ซึ่งเป็นการรวมตัวกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่ และประชากรคำตอบรุ่นลูก และทำการปรับปรุงสตริงคำตอบใหม่เพื่อเป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในรอบถัดไป

ตารางที่ 4.10 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูก

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่	1	[4 2 3 5 6 7 1]
	2	[5 3 7 4 2 6 1]
	3	[4 7 5 2 3 6 1]
	4	[7 1 2 5 4 6 3]
	5	[5 6 1 7 3 2 4]
	6	[3 2 5 1 4 7 6]
	7	[5 6 1 3 4 2 7]
สตริงคำตอบรุ่นลูก	8	[4 2 3 7 6 5 1]
	9	[5 3 7 6 2 4 1]
	10	[4 7 5 2 6 3 1]
	11	[6 1 2 5 7 4 3]
	12	[5 6 1 7 3 2 4]
	13	[3 1 5 7 6 2 4]
	14	[5 6 1 2 7 3 4]

ทำการคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์จากสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูกดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

String No.	Worker	Station	Relation	Workload
1	5	3	5.0000	0.0587
2	5	3	4.1667	0.1188
3	5	4	4.2857	0.0438
4	5	3	5.1429	0.0438
5	6	3	5.0000	0.0258
6	5	4	4.2857	0.0438
7	6	3	5.1429	0.0347
8	6	3	5.0000	0.0587
9	5	3	4.1667	0.1188
10	7	4	6.0000	0.0258
11	6	3	5.1429	0.0267
12	7	4	6.0000	0.0258
13	6	3	5.1429	0.0347
14	5	4	4.2857	0.0438

ทำการจัดอันดับแบบ Non-dominated Sorting เพื่อกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง และทำการคำนวณค่า Crowding Distance ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 ค่าDummy Fitness และ Crowding Distance

String No.	Worker	Station	Relation	Workload	Dummy Fitness	Crowding Distance
1	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
3	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
4	5	3	5.1429	0.0438	1	Infinity
5	6	3	5.0000	0.0258	3	2.000
6	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity
7	6	3	5.1429	0.0347	3	2.000
8	6	3	5.0000	0.0587	3	2.000
9	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity
10	7	4	6.0000	0.0258	4	3.000
11	6	3	5.1429	0.0267	3	2.000
12	7	4	6.0000	0.0258	4	3.000
13	6	3	5.1429	0.0347	3	2.000
14	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity

ทำการจัดเรียงค่า Dummy Fitness จากน้อยไปมาก และคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุด โดยพิจารณาที่ละแถวจากน้อยไปมาก ทำการเลือกสตริงคำตอบที่อยู่ในแถวที่ 1 แล้วทำการจัดเก็บสตริงคำตอบให้ครบตามจำนวนประชากรของสตริงคำตอบ (Popsiz = 7) เป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อทำการเก็บไว้ดำเนินการในรอบถัดไป

บทที่ 5

การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์

อัลกอริทึมเชิงวิวัฒนาการที่คิดค้นโดย Simon ได้นำเสนอแนวคิดการย้ายถิ่นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีความต้องการที่อยู่อาศัยใหม่ในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ซึ่งแก่การดำรงชีวิตและขยายเผ่าพันธุ์ของสิ่งมีชีวิต ซึ่งถ้าพื้นที่ที่นั่นมีความหนาแน่นของจำนวนประชากรมากขึ้น สิ่งมีชีวิตจะเริ่มมีความต้องการเสาะหาที่อยู่อาศัยใหม่ที่มีความเหมาะสมต่อการดำรงชีวิต และทำการพัฒนาที่อยู่อาศัยนั้นให้มีความอุดมสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น ซึ่งความแตกต่างของที่อยู่อาศัยนั้นจะสามารถกำหนดได้ด้วยตัวชี้วัดดัชนีความเหมาะสมของที่อยู่อาศัย ซึ่งตัวแปรที่ส่งต่อค่าดัชนีชี้วัดความเหมาะสมของที่อยู่อาศัยให้มีค่าสูงหรือต่ำนั้น มาจากดัชนีความเหมาะสม ซึ่งประกอบไปด้วยหลาย ๆ ปัจจัยด้วยกัน ยกตัวอย่างเช่น อุณหภูมิ, ความหลากหลายทางอาหาร, ปริมาณน้ำเพื่อการอยู่อาศัย เป็นต้น

5.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์

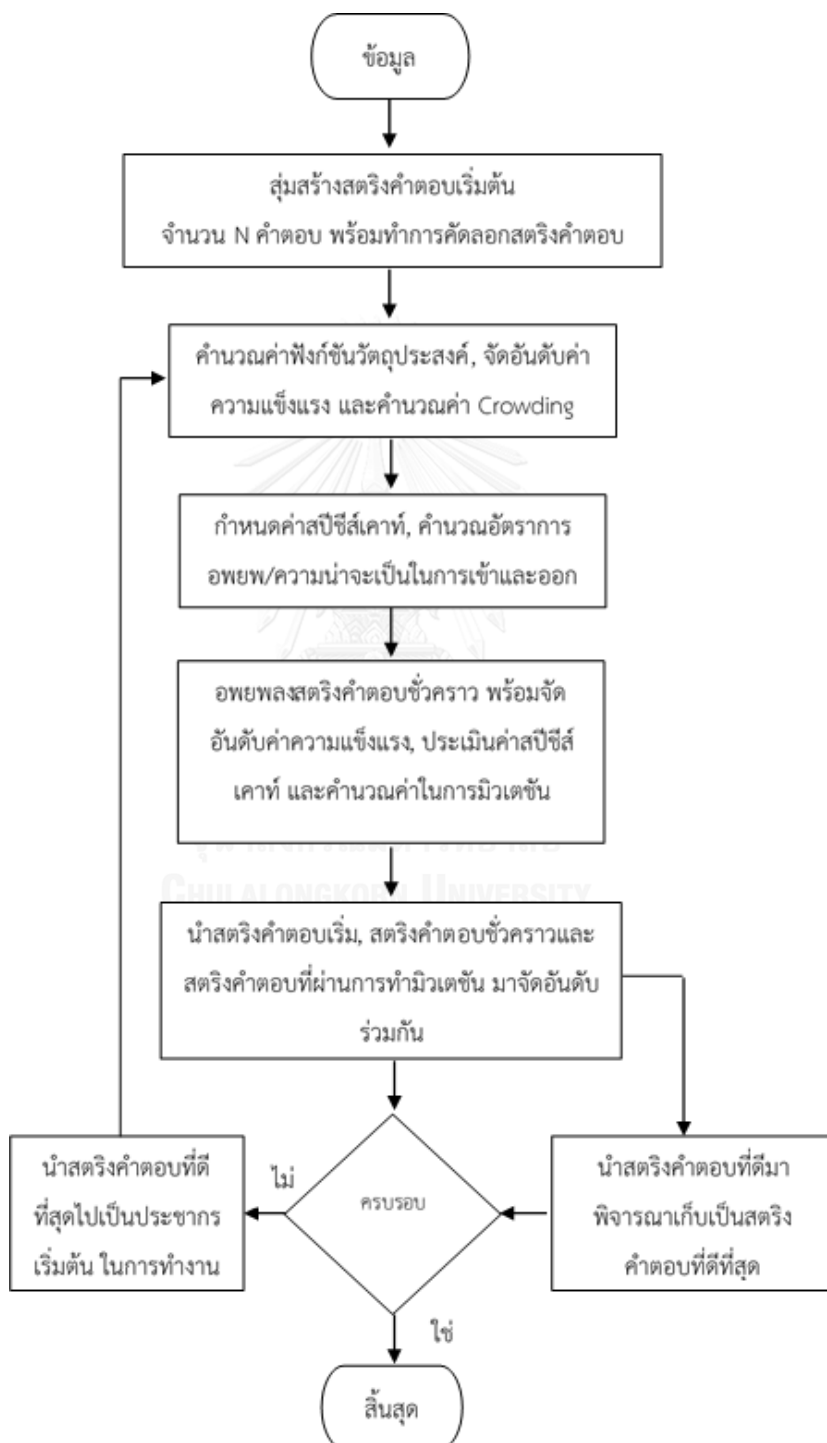
ที่อยู่อาศัยที่มีค่าดัชนีความเหมาะสมของที่อยู่อาศัยสูง นั้นหมายความว่าจะมีจำนวนสิ่งมีชีวิต (สปีชีส์) อาศัยอยู่มากและเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ เมื่อมีจำนวนสิ่งมีชีวิตมากจนใกล้ถึงจุดอิ่มตัวจะทำให้เกิดอัตราการอพยพออก (Emigration Rate) ไปยังที่อยู่อาศัยใกล้เคียง (ซึ่งการอพยพออกในที่นี้คือตัวแทนของสปีชีส์นั้น ๆ ทำการอพยพไปแพร่พันธุ์ยังที่อยู่อาศัยอื่น) ในขณะที่อัตราการอพยพเข้า (Immigration Rate) ของสิ่งมีชีวิตจากที่อยู่อาศัยอื่นจะต่ำ ซึ่งในทางตรงกันข้ามกันนั้นที่อยู่อาศัยที่มีค่าดัชนีความเหมาะสมของที่อยู่อาศัยต่ำ จะมีจำนวนสิ่งมีชีวิตอาศัยอยู่น้อย ซึ่งจะทำให้อัตราการอพยพของสิ่งมีชีวิตจากที่อยู่อาศัยอื่นจะสูงและอัตราการอพยพจากที่อยู่อาศัยเดิมจะต่ำ

การนำเอาการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตแบบหลายคนที่มีความหลายวัตถุประสงค์นั้น จะทำการเปรียบเทียบดังนี้

1. สตรีงคำตอบ จะเปรียบเสมือนที่อยู่อาศัย
2. ค่าความแข็งแรง จะเปรียบเสมือนค่าดัชนีความเหมาะสมของที่อยู่อาศัย
3. ค่าบิตต่าง ๆ ในสตรีงคำตอบ จะเปรียบเสมือนค่าดัชนีความเหมาะสม

นั้นหมายความว่าสตรีงคำตอบที่ดีนั้นจำเป็นต้องมีแนวโน้มที่จะถ่ายทอดคุณลักษณะ (ค่าสิทธิ์ของบิต) แก่สตรีงคำตอบที่แย่ แต่จะรับการถ่ายทอดคุณลักษณะจากสตรีงคำตอบ (ค่าสิทธิ์ของบิต) อื่น ๆ ได้น้อย ซึ่งนั่นอาจทำให้สตรีงคำตอบที่ดีอาจมีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อย แต่อาจจะมีการ

พัฒนาไปเป็นคำตอบที่ดียิ่งขึ้น ในทางตรงกันข้ามนั้นสตริงคำตอบที่แย่จำเป็นต้องได้รับการถ่ายทอดลักษณะ (ค่าสิทธิ์ของบิต) จากสตริงคำตอบที่ดีสูงขึ้นและจะพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบที่ดียิ่งขึ้นไป แต่จะรับการถ่ายทอดลักษณะ (ค่าสิทธิ์ของบิต) ของสตริงคำตอบของตนเองไปยังสตริงคำตอบอื่น ๆ ต่ำลง



รูปที่ 5.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์

5.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ BBO ในการแก้ปัญหาการจัดสรรการผลิต

1. นำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการจัดสรรการผลิต ได้แก่ ลำดับความสัมพันธ์ก่อน-หลังของชิ้นงาน, รอบเวลาการดำเนินการผลิต, เวลาการทำงานแต่ละชิ้นงาน และอัตราสัดส่วนผลิตภัณฑ์
2. ทำการสุ่มค่าเพื่อสร้างสตริงคำตอบเริ่ม เทียบกับจำนวนประชากร N ตัว พร้อมคัดลอกสร้างเป็นสตริงคำตอบชั่วคราว
3. คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์
 - (1) จำนวนพนักงานน้อยที่สุด
 - (2) จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด
 - (3) ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานมากที่สุด
 - (4) ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานมากที่สุด
4. กำหนดค่าความแข็งแรงแก่ทุกสตริงคำตอบ ด้วยวิธี Non-dominated Sorting พร้อมทำการกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์ k (จะมีค่าน้อยตรงกันข้ามกับค่าความแข็งแรง)
5. คำนวณอัตราการอพยพเข้า (λ_k), ความน่าจะเป็นในการอพยพเข้า ($P_{\lambda,k}$) และอัตราการอพยพออก (μ_k), ความน่าจะเป็นในการอพยพออก ($P_{\mu,k}$) ของแต่ละสตริงคำตอบ
6. คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบชั่วคราว พร้อมกำหนดค่าความแข็งแรงและค่าสปีชีส์เคาท์ พร้อมกับคำนวณค่าความน่าจะเป็นในการเกิดสปีชีส์เคาท์ (P_k) และความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในสปีชีส์เคาท์ k สำหรับการทำมิวเตชัน
7. ทำการสุ่มเลข r ระหว่างช่วง 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าค่า r ตกอยู่ในช่วงวงล้อรูเล็ตในช่วงการทำมิวเตชันใด ให้ทำการมิวเตชันในสตริงคำตอบชั่วคราว
8. นำสตริงคำตอบเริ่มต้น, สตริงคำตอบชั่วคราว และสตริงคำตอบผ่านการทำมิวเตชันมารวมกัน (ถ้าหากมีสตริงคำตอบใดซ้ำกันให้ตัดออกเหลือสตริงคำตอบเดียว) จากนั้นทำการจัดอันดับและคำนวณค่า Crowding Distance
9. จัดเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไปรวมกับ สตริงคำตอบในรอบก่อนหน้าแล้วจัดการจัดอันดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อทำการเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุด เพื่อใช้งานในรอบถัดไป
10. เริ่มต้นกระบวนการอีกครั้ง หากยังไม่ครบตามจำนวนรอบการทำงานที่กำหนด ให้เริ่มต้นกระบวนการทำงานอีกครั้งในขั้นตอนที่ 3 ถึง ขั้นตอนี่ 9

5.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์

ตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงาน จะมีการคำนวณค่าวัตถุประสงค์จำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานน้อยที่สุด และทำการนำข้อมูลต่าง ๆ เข้ามาได้แก่ รอบเวลาดำเนินการผลิต (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน (Precedence Diagram) เป็นต้น ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธีเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II มีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนประชากรเบื้องต้น: 7
2. รูปแบบการอพยพ: Sinusoidol
3. รูปแบบการมิวเตชัน: Reciprocal Exchange Method
4. ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน: 0.1

5.3.1 สร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น

ทำการสุ่มค่าสิทธิการจัดสมดุลการผลิตมาจำนวน 7 จำนวนประชากร โดยจะแสดงการสุ่มค่าสิทธิการจัดสมดุลการผลิต ดังตารางที่ 5.1

Task ID	1	2	3	4	5	6	7
Priority	1	2	3	4	5	6	7

รูปที่ 5.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ BBO

ตารางที่ 5.1 ตารางค่าสิทธิในการเลือกงาน 7 สตรีงคำตอบ

String	Priority Strings						
1	2	6	4	3	5	7	1
2	4	1	2	5	3	6	7
3	1	4	5	2	6	7	3
4	2	3	4	1	5	7	6
5	2	7	5	1	3	6	4
6	3	4	5	2	7	6	1
7	4	3	1	7	5	6	2

ค่าสิทธิของคำตอบทั้ง 7 ตัวข้างต้นนั้น จะทำการแปลงเป็นลำดับการผลิตจากการถอดรหัสดังในบทที่ 3 ที่ได้กล่าวมา และทำการจัดลงสถานีงาน และคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยกำหนดรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด, จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด, ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานน้อยที่สุด จากสตรีงคำตอบที่กล่าวมาข้างต้น สามารถคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 5.2

5.3.2 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ภายในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาไปพร้อมๆกันทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์

ตารางที่ 5.2 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่า Crowding Distance

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
1	6	3	5.0000	0.0587	2	Infinity
2	5	3	4.1667	0.1188	1	2.700
3	7	4	6.0000	0.0258	3	Infinity
4	6	3	5.1429	0.0267	2	2.700

ตารางที่ 5.1 คำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่า Crowding Distance (ต่อ)

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance
5	5	3	4.2857	0.0438	1	Infinity
6	6	3	5.1429	0.0347	2	Infinity
7	7	4	6.0000	0.0258	3	Infinity

5.3.3 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์แก่สตริงคำตอบ

ค่าสปีชีส์เคาท์นั้นจะกำหนดจากค่าความแข็งแรง (Fitness) ซึ่งถ้าค่าความแข็งแรงมีค่ามาก ค่าสปีชีส์เคาท์จะมีค่าน้อย แต่ในทางตรงกันข้ามถ้าค่าความแข็งแรงน้อยค่าสปีชีส์เคาท์จะมีค่ามากตามลำดับ

ตารางที่ 5.3 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์แก่สตริงคำตอบ

String	Worker	Station	Workload	Relation	Fitness	Species Count
1	6	4	0.2267	3.2	2	2
2	7	5	0.0563	4.1667	1	3
3	6	4	0.12	3.2	3	1
4	6	4	0.0667	3	2	2
5	7	4	0.1467	3	1	3
6	7	5	0.0703	4.1667	2	2
7	6	4	0.12	3.2	3	1

5.3.4 ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดสปีชีส์เคาท์และอัตราการอพยพ

อัตราการอพยพมีหลายรูปแบบซึ่งแต่ละรูปแบบจะมีการให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพแตกต่างกัน ซึ่งรูปแบบการอพยพที่นิยมได้แก่ การอพยพแบบ Linear และ Sinusoidal เป็นต้น จะประกอบไปด้วยพารามิเตอร์ คือ การอพยพเข้า (Immigration Rate : λ) และการอพยพออก (Emigration Rate : μ) โดยงานวิจัยนี้จะใช้รูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จะมีสมการดังต่อไปนี้

ค่า Immigration Rate (λ_k)

$$\lambda_k = \frac{1}{2} \left(\cos\left(\frac{k\pi}{n}\right) + 1 \right); n = K + 1 \quad (5.1)$$

ค่าความน่าจะเป็นในการอพยพเข้า

$$P_{\lambda,k} = \frac{\lambda_k}{\sum_{k=1}^K \lambda_k} \quad (5.2)$$

ค่าความน่าจะเป็นในการอพยพออก

$$P_{\mu,k} = \frac{\mu_k}{\sum_{k=1}^K \mu_k} \quad (5.3)$$

ค่า Emigration Rate (μ_k)

$$\mu_k = \frac{E}{2} \left(-\cos\left(\frac{k\pi}{n}\right) + 1 \right); n = K + 1 \quad (5.4)$$

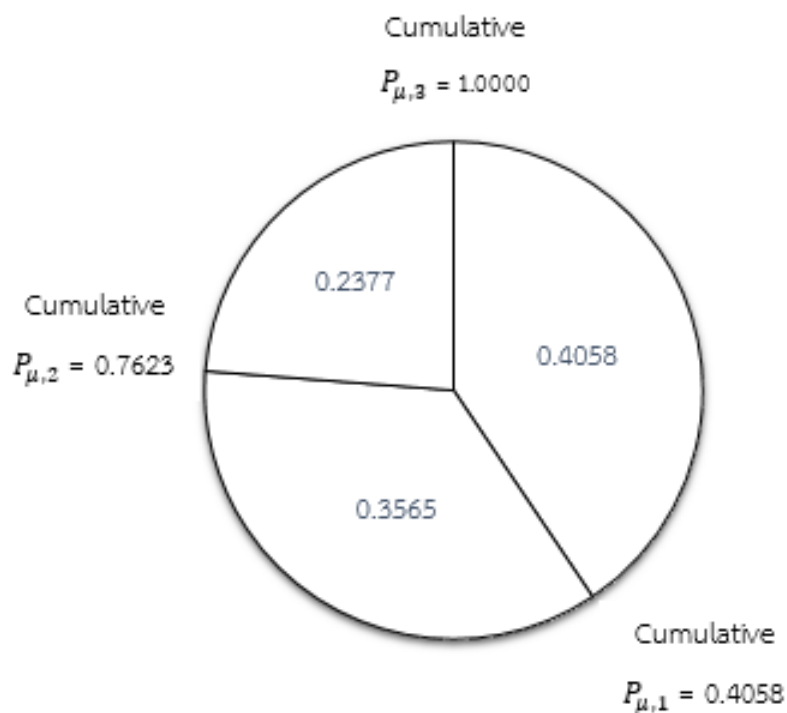
ค่าความน่าจะเป็นในการเกิดสปีชีส์เคาท์ k ($P_{K,k}$)

$$P_{K,k} = \frac{\prod_{j=1}^k \left(\frac{I}{E}\right)^k \left(\frac{\sin^2\left(\frac{n+j-1}{2n}\pi\right)}{\sin^2\left(\frac{j}{2n}\pi\right)}\right)}{1 + \sum_{i=1}^n \prod_{j=1}^i \left(\frac{I}{E}\right)^i \left(\frac{\sin^2\left(\frac{n+j-1}{2n}\pi\right)}{\sin^2\left(\frac{j}{2n}\pi\right)}\right)} \quad (5.5)$$

กำหนดให้ I และ E คืออัตราการอพยพเข้าและออกที่มากที่สุด โดยงานวิจัยนี้กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1

ตารางที่ 5.4 การกำหนดค่าสปีชีส์เคาท์และค่าการอพยพ

Fitness	Species Count	No.	λ_k	μ_k	$P_{\lambda,k}$	$P_{\mu,k}$	Cumulative $P_{\mu,k}$
1	3	2,5	0.1464	0.8536	0.1634	0.4058	0.4058
2	2	1,4,6	0.2500	0.7500	0.2789	0.3565	0.7623
3	1	3,7	0.5000	0.5000	0.5578	0.2377	1.0000



รูปที่ 5.3 วงล้อสุ่มในการสุ่มเลือกสตริงคำตอบในการอพยพออก

5.3.5 หลักการอพยพ

โดยอาศัยหลักการคือ ที่อยู่อาศัย (สตริงคำตอบ) ใดมีความอุดมสมบูรณ์ (ค่าสปีชีส์เคาท์สูง) จะมีการอพยพเข้ามาอยู่อาศัยได้น้อย แต่การอพยพย้ายถิ่นฐานออกจะมาก เพราะจำเป็นต้องมีการโยกย้ายไปที่อยู่อาศัยใหม่ถึงแม้ว่าที่อยู่อาศัยใหม่จะมีความอุดมสมบูรณ์ที่น้อยกว่าแต่จำเป็นต้องอพยพออกเพื่อต้องการไปสร้างที่อยู่อาศัยใหม่ให้มีความอุดมสมบูรณ์เหมือนที่อยู่อาศัยเดิม โดยมีหลักการพิจารณาการอพยพดังต่อไปนี้

คัดลอกสตริงคำตอบเริ่มต้น (กำหนดตัวแปร Y) ลงไปสตริงคำตอบชั่วคราว (กำหนดตัวแปร Z) ยกตัวอย่างเช่น

สตริงคำตอบเริ่มต้น : $Y_2 = 4\ 1\ 2\ 5\ 3\ 6\ 7$

สตริงคำตอบชั่วคราว : $Z_2 = 4\ 1\ 2\ 5\ 3\ 6\ 7$

พิจารณาการอพยพเข้าและการอพยพออกจากสปีชีส์เคาท์ที่สูงสุด โดยทำการสุ่มค่า r_1 ที่ละบิตตั้งแต่บิตแรกจนถึงบิตสุดท้าย ในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตเพื่อที่จะทำการอพยพเข้าในตำแหน่งบิตนั้น (ก็ต่อเมื่อ $r_1 \leq P_{\lambda,k}$) เมื่อได้ตำแหน่งบิตที่จะทำการอพยพแล้วนั้นจึงทำการสุ่มค่า r_2 ซึ่งก็ต่อเมื่อค่า r ที่สุ่มได้นั้นตกอยู่ในช่วงวงล้อรูเล็ตค่า $P_{\mu,k}$ ของสปีชีส์เคาท์ใด จึงทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบใน สปีชีส์เคาท์นั้นเป็นสตริงคำตอบในการอพยพออก จากนั้นทำการถ่ายทอดค่าบิตใหม่ลงในตำแหน่งบิตที่ทำการสุ่มค่าได้ จากนั้นทำการพิจารณาการอพยพในตำแหน่งบิตถัดมา จนครบทุกตำแหน่งในสตริงคำตอบ

ตารางที่ 5.5 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 3

Immigration				Emigration				
Strings	Bit	r_1	$r_1 \leq 0.1634$	r_2	Species Count	String in Species	Selected	Bit
Z_2	1	0.5685						
	2	0.5856						
	3	0.0512	Immigration	0.7644	1	{3,7}	7	7
	4	0.2132						
	5	0.1773						
	6	0.6735						
	7	0.3766						
Z_5	1	0.4783						
	2	0.3784						
	3	0.1301	Immigration	0.1149	3	{2,5}	5	5
	4	0.1404	Immigration	0.7252	2	{1,4,6}	1	3
	5	0.8257						
	6	0.4389						
	7	0.4474						

ตารางที่ 5.6 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 2

Strings	Immigration			Emigration				
	Bit	r_1	$r_1 \leq 0.2789$	r_2	Species Count	String in Species	Selected	Bit
Z_1	1	0.5575						
	2	0.4189						
	3	0.0811	Immigration	0.3521	3	{2,5}	2	2
	4	0.4075						
	5	0.7154						
	6	0.7619						
	7	0.5216						
Z_4	1	0.8307						
	2	0.5916						
	3	0.0313	Immigration	0.0901	3	{2,5}	2	2
	4	0.9500						
	5	0.4993						
	6	0.7562						
	7	0.9315						
Z_5	1	0.1329	Immigration	0.8110	1	{3,7}	7	4
	2	0.8644						
	3	0.4371						
	4	0.7770						
	5	0.1469	Immigration	0.6096	2	{1,4,6}	6	7
	6	0.4579						
	7	0.2533	Immigration	0.8968	1	{3,7}	7	2

ตารางที่ 5.7 ผลการอพยพในการสุ่มเลือกตำแหน่งบิตของสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 1

Strings	Immigration			Emigration				
	Bit	r_1	$r_1 \leq 0.5578$	r_2	Species Count	String in Species	Selected	Bit
Z_3	1	0.9086						
	2	0.1594	Immigration	0.9829	1	{3,7}	3	1
	3	0.5117	Immigration	0.0837	3	{2,5}	2	2
	4	0.5729						
	5	0.8679						
	6	0.6002						
	7	0.7735						
Z_7	1	0.8133						
	2	0.4125	Immigration	0.4011	3	{2,5}	2	4
	3	0.8510						
	4	0.2808	Immigration	0.2052	3	{2,5}	5	3
	5	0.8138						
	6	0.0263	Immigration	0.5951	2	{1,4,6}	6	2
	7	0.7940						

ตารางที่ 5.8 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 3

String	Bit	ค่าเดิม	ค่าใหม่	ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7
Z_2	3	2	7	เริ่มต้น	4	1	2	5	3	6	7
				ปรับปรุง	4	1	7	5	3	6	7
				ซ่อมแซม	4	1	7	5	3	6	2
Z_5	3	5	5	เริ่มต้น	2	7	5	1	3	6	4
				ปรับปรุง	2	7	5	1	3	6	4
				ซ่อมแซม	2	7	5	1	3	6	4
Z_5	4	1	3	เริ่มต้น	2	7	5	1	3	6	4
				ปรับปรุง	2	7	5	3	3	6	4
				ซ่อมแซม	2	7	5	3	1	6	4

ตารางที่ 5.9 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 2

String	Bit	ค่าเดิม	ค่าใหม่	ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7
Z_1	3	1	2	เริ่มต้น	2	6	4	3	5	7	1
				ปรับปรุง	2	6	2	3	5	7	1
				ซ่อมแซม	4	6	2	3	5	7	1
Z_4	3	4	2	เริ่มต้น	2	3	4	1	5	7	6
				ปรับปรุง	2	3	2	1	5	7	6
				ซ่อมแซม	4	3	2	1	5	7	6
Z_6	1	3	4	เริ่มต้น	3	4	5	2	7	6	1
				ปรับปรุง	4	4	5	2	7	6	1
				ซ่อมแซม	4	3	5	2	7	6	1
	5	7	7	เริ่มต้น	4	3	5	2	7	6	1
				ปรับปรุง	4	3	5	2	7	6	1
				ซ่อมแซม	4	3	5	2	7	6	1
	7	1	2	เริ่มต้น	4	3	5	2	7	6	1
				ปรับปรุง	4	3	5	2	7	6	2
				ซ่อมแซม	4	3	5	1	7	6	2

ตารางที่ 5.10 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 1

String	Bit	ค่าเดิม	ค่าใหม่	ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7
Z_3	2	1	1	เริ่มต้น	1	4	5	2	6	7	3
				ปรับปรุง	1	1	5	2	6	7	3
				ซ่อมแซม	4	1	5	2	6	7	3
	3	5	2	เริ่มต้น	4	1	5	2	6	7	3
				ปรับปรุง	4	1	2	2	6	7	3
				ซ่อมแซม	4	1	2	5	6	7	3

ตารางที่ 5.10 การอพยพค่าบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ 1 (ต่อ)

String	Bit	ค่าเดิม	ค่าใหม่	ขั้นตอน	1	2	3	4	5	6	7
Z_7	2	3	4	เริ่มต้น	4	3	1	7	5	6	2
				ปรับปรุง	4	4	1	7	5	6	2
				ซ่อมแซม	3	4	1	7	5	6	2
	4	7	3	เริ่มต้น	3	4	1	7	5	6	2
				ปรับปรุง	3	4	1	3	5	6	2
				ซ่อมแซม	7	4	1	3	5	6	2
	6	6	2	เริ่มต้น	7	4	1	3	5	6	2
				ปรับปรุง	7	4	1	3	5	2	2
				ซ่อมแซม	7	4	1	3	5	2	6

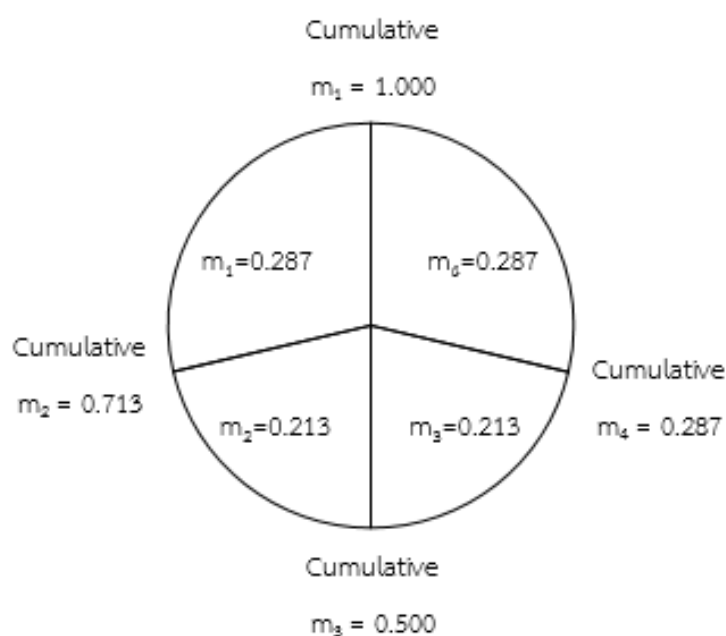
ตารางที่ 5.11 สตริงคำตอบชั่วคราวหลังการอพยพ

Strings	1	2	3	4	5	6	7	Objective Function				Fitness
								Worker	Station	Relation	Workload	Value
Z_1	4	6	2	3	5	7	1	5	4	4.2857	0.0438	2
Z_2	4	1	7	5	3	6	2	6	3	5.0000	0.0587	3
Z_3	4	1	2	5	6	7	3	5	3	4.1667	0.1188	1
Z_4	4	3	2	1	5	7	6	5	4	4.2857	0.0438	2
Z_5	2	7	5	3	1	6	4	7	4	6.0000	0.0258	4
Z_6	4	3	5	1	7	6	2	5	3	4.2857	0.0438	1
Z_7	7	4	1	3	5	2	6	6	3	5.1429	0.0267	3

การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของเซตสตริงคำตอบชั่วคราวหลังการอพยพ แล้วจึงทำการกำหนดค่าความแข็งแรง, ค่าสปีชีส์เคาท์, ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน และวงล้อรูเล็ตของค่าความน่าจะเป็นในการเลือกไปทำการมิวเตชันของคำตอบในสปีชีส์เคาท์

ตารางที่ 5.12 คำนวณค่าประกอบการใช้งานในกระบวนการมิวเตชัน

Fitness	Species Count	No.	String	P_k	$1 - P_k$	m_k	Cumulative m_k
1	4	2	Z3 , Z6	0.135	0.865	0.287	0.287
2	3	2	Z1 , Z4	0.357	0.643	0.213	0.500
3	2	2	Z2 , Z7	0.357	0.643	0.213	0.713
4	1	1	Z5	0.136	0.864	0.287	1.000



รูปที่ 5.4 วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

การสุ่มค่า r_3 เพื่อทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบชั่วคราวมาทำการมิวเตชันดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5.13 ค่าสุ่ม r_3 เพื่อเลือกค่าสตริงคำตอบชั่วคราวในการทำมิวเตชัน

ค่า r_3	สตริงคำตอบชั่วคราวที่สุ่มได้
0.98136	สตริงในสปีชีส์เคาท์ที่ 1

เมื่อค่า r_3 ที่สุ่มค่าได้นั้นตกอยู่ในวงล้อรูเล็ตของสปีชีส์เคาท์ที่ 1 จึงทำการคัดลอกสตริงคำตอบชั่วคราวในสปีชีส์เคาท์ทั้งหมดมาทำการมิวเตชัน ซึ่งการมิวเตชันในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange โดยมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

1. สุ่มค่า r_4 ระหว่างค่า 0 ถึง 1 ซึ่งถ้าหาก $r_4 > P_m$ (P_m คือค่าความน่าจะเป็นในการมีมติเลือก กำหนดให้เท่ากับ 0.1) จะข้ามการพิจารณาต่อบิตใดๆ แต่ถ้า $r_4 \leq P_m$ ให้ทำการสุ่มเลือกบิตใด ๆ หนึ่งบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวเพื่อทำการสลับค่าบิตกัน
2. จากนั้นทำการพิจารณาค่าสุ่ม r_4 ในบิตถัดๆ ไปจนครบทั้งสตริงคำตอบชั่วคราว

ตารางที่ 5.14 การเลือกบิตในสตริงคำตอบชั่วคราวเพื่อทำการมีมติเลือก

สตริงคำตอบชั่วคราว Z'_5	ค่าสุ่ม r_4	$P_m = 0.1$
2	0.8699	-
7	0.0859	Selected
5	0.7142	-
3	0.6285	-
1	0.0212	Selected
6	0.6866	-
4	0.2987	-

ตารางที่ 5.15 การมีมติเลือกในสตริงคำตอบชั่วคราว

ค่าบิต	1	2	3	4	5	6	7
Z'_5 ก่อนมีมติเลือก	2	7	5	3	1	6	4
ค่าบิตที่ 2 กับค่าบิตที่ 1	7	2	5	3	1	6	4
ค่าบิตที่ 5 กับค่าบิตที่ 7	7	2	5	3	4	6	1
Z'_5 หลังมีมติเลือก	7	2	5	3	4	6	1

ทำการพิจารณาสตริงคำตอบทั้งหมดจากเซตสตริงคำตอบเริ่มต้น Y เซตสตริงคำตอบชั่วคราว Z และเซตสตริงคำตอบชั่วคราวที่ผ่านการมีมติเลือก Z' จากการพิจารณาพบว่ามีสตริงคำตอบใดเข้าคือ สตริงคำตอบ Y_5 และ Z_5 จึงทำการตัดสตริงคำตอบ Z_5 ออกเหลือเพียงสตริงคำตอบเดียว พร้อมทั้งจัดค่าอันดับสตริงคำตอบเหล่านี้ร่วมกันและคำนวณค่า Crowding Distance ดังตารางที่ 5.16 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5.16 จัดค่าอันดับของเซตสตริงคำตอบทั้งหมด

Strings	String Priority							Objective Function				Crowding Distance	Fitness	
	1	2	3	4	5	6	7	Worker	Station	Relation	Workload			
Y	Y ₁	2	6	4	3	5	7	1	6	3	5.0000	0.0587	Infinity	3
	Y ₂	4	1	2	5	3	6	7	5	3	4.1667	0.1188	Infinity	1
	Y ₃	1	4	5	2	6	7	3	7	4	6.0000	0.0258	Infinity	4
	Y ₄	2	3	4	1	5	7	6	6	3	5.1429	0.0267	Infinity	3
	Y ₅	2	7	5	1	3	6	4	5	3	4.2857	0.0438	Infinity	1
	Y ₆	3	4	5	2	7	6	1	6	3	5.1429	0.0347	Infinity	3
	Y ₇	4	3	1	7	5	6	2	7	4	6.0000	0.0258	Infinity	4
Z	Z ₁	4	6	2	3	5	7	1	5	4	4.2857	0.0438	Infinity	2
	Z ₂	4	1	7	5	3	6	2	6	3	5.0000	0.0587	Infinity	3
	Z ₃	4	1	2	5	6	7	3	5	3	4.1667	0.1188	Infinity	1
	Z ₄	4	3	2	1	5	7	6	5	4	4.2857	0.0438	Infinity	2
	Z ₆	4	3	5	1	7	6	2	5	3	4.2857	0.0438	Infinity	1
	Z ₇	7	4	1	3	5	2	6	6	3	5.1429	0.0267	Infinity	3
	Z' ₅	7	2	5	3	4	6	1	6	3	5.0000	0.0587	Infinity	3

จากตารางที่ 5.16 ทำการพิจารณาจัดเก็บค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดจนครบตามจำนวนประชากรที่กำหนดไว้ (Pop size = 7) จากตารางที่ 5.16 มีค่าอันดับที่ 1 อยู่จำนวน 4 สตริงคำตอบ จึงทำการจัดเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาที่ผ่านมา (Elitist) แต่จำนวนสตริงคำตอบไม่ครบตามจำนวนประชากรที่กำหนด จึงทำการจัดอันดับจากค่าความแข็งแรงค่าน้อยไปค่ามาก เพื่อทำการเก็บค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดให้ครบตามจำนวนประชากรที่กำหนดไว้เพื่อเป็นเซตของสตริงคำตอบเริ่มต้นในกระบวนการทำงานรอบถัดไป ดังตารางที่ 5.17 ต่อไปนี้

ตารางที่ 5.17 ผลการจัดอันดับค่าสตรงค์คำตอบทั้งหมดในกระบวนการรอบที่ 1

Fitness	String	Worker	Station	Relation	Workload	Crowding Distance
1	Y_2	5	3	4.1667	0.1188	Infinity
1	Y_5	5	3	4.2857	0.0438	Infinity
1	Z_3	5	3	4.1667	0.1188	Infinity
1	Z_6	5	3	4.2857	0.0438	Infinity
2	Z_1	5	4	4.2857	0.0438	Infinity
2	Z_4	5	4	4.2857	0.0438	Infinity
3	Y_1	6	3	5.0000	0.0587	Infinity
3	Y_4	6	3	5.1429	0.0267	Infinity
3	Y_6	6	3	5.1429	0.0347	Infinity
3	Z_2	6	3	5.0000	0.0587	Infinity
3	Z_7	6	3	5.1429	0.0267	Infinity
3	Z'_5	6	3	5.0000	0.0587	Infinity
4	Y_3	7	4	6.0000	0.0258	Infinity
4	Y_7	7	4	6.0000	0.0258	Infinity

ตารางที่ 5.18 ค่าสตรงค์คำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาที่ผ่านมา (Elitist)

String	1	2	3	4	5	6	7	Worker	Station	Relation	Workload
1-1	4	1	2	5	3	6	7	5	3	4.1667	0.1188
1-2	2	7	5	1	3	6	4	5	3	4.2857	0.0438
1-3	4	1	2	5	6	7	3	5	3	4.1667	0.1188
1-4	4	3	5	1	7	6	2	5	3	4.2857	0.0438

ตารางที่ 5.19 เซตสตริงคำตอบเริ่มต้น Y ในกระบวนการรอบที่ 2

Strings		String Priority							Objective Function			
		1	2	3	4	5	6	7	Worker	Station	Work load	Relation
Y	Y_1	4	1	2	5	3	6	7	5	3	4.1667	0.1188
	Y_2	2	7	5	1	3	6	4	5	3	4.2857	0.0438
	Y_3	4	1	2	5	6	7	3	5	3	4.1667	0.1188
	Y_4	4	3	5	1	7	6	2	5	3	4.2857	0.0438
	Y_5	4	6	2	3	5	7	1	5	4	4.2857	0.0438
	Y_6	4	3	2	1	5	7	6	5	4	4.2857	0.0438
	Y_7	2	6	4	3	5	7	1	6	3	5.0000	0.0587

จากนั้นเริ่มดำเนินการรอบที่ 2 ด้วยการเริ่มต้นการวนซ้ำกระบวนการเดิม และดำเนินการต่อไปเรื่อย ๆ จนครบตามจำนวนรอบการดำเนินงานที่กำหนด เมื่อสิ้นสุดในแต่ละรอบการดำเนินงานให้ทำการจัดเก็บค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดตลอดกระบวนการค้นหาที่ผ่านมา (Elitist)

บทที่ 6

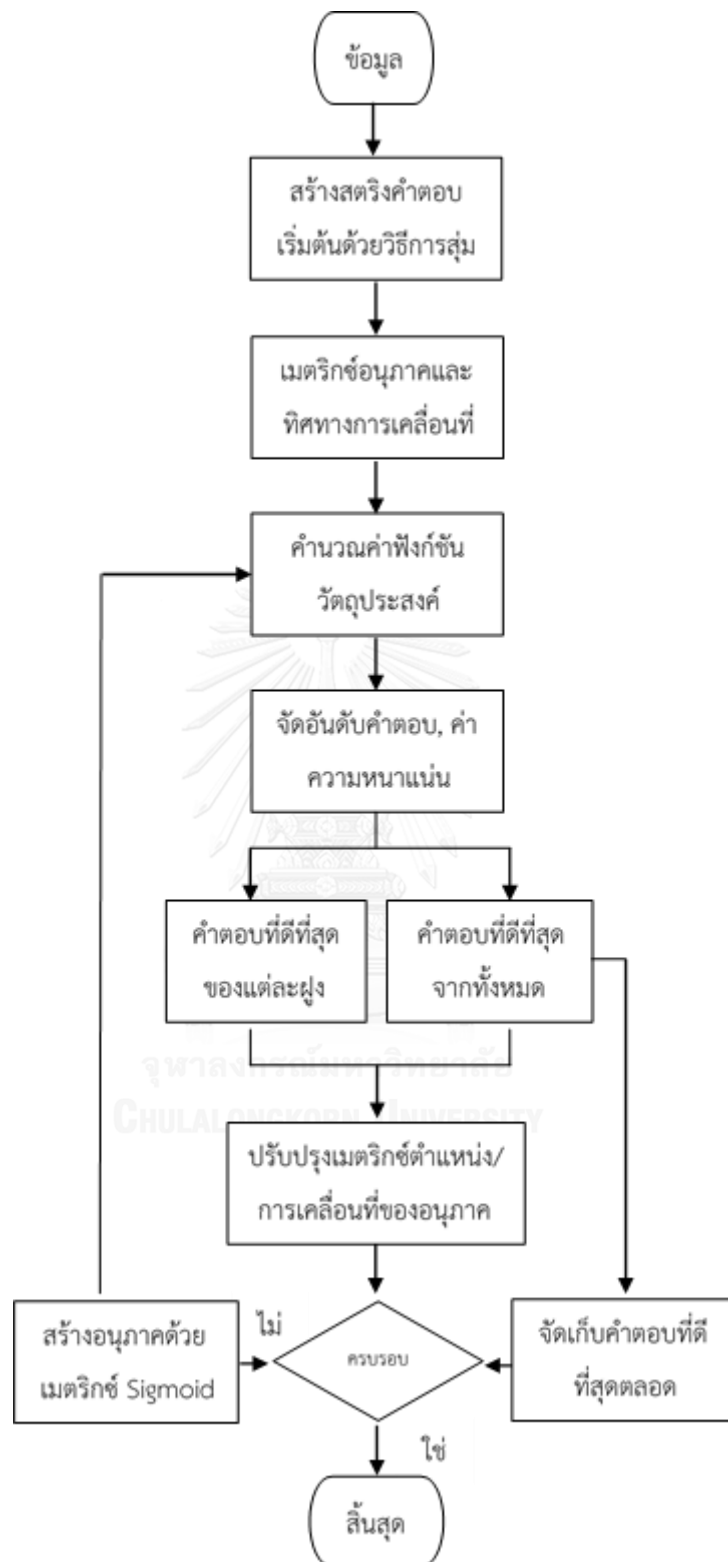
การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง เป็นอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนามาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) คิดค้นโดย Kennedy and Eberhart (1995) หลังจากที่วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคได้ถูกนำเสนอไปนั้น Liao และคณะ (2007) ได้คิดค้นการพัฒนาวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค เป็น การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO)

6.1 ความรู้เบื้องต้นการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เป็นอิวิริสติกแบบหนึ่ง ซึ่งจะมีวิธีการหาค่าตอบเริ่มต้นคล้ายกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม คือ ใช้วิธีการสุ่มหาค่าตอบของประชากรเริ่มต้นซึ่งคำตอบที่ได้สามารถยอมรับได้ และใช้เวลาไม่นานนัก

ซึ่งมีแนวคิดมาจากการศึกษาการลอกเลียนแบบพฤติกรรมของฝูงนกในการจดจำเส้นทางอาหารที่ดีที่สุดไว้เพื่อเป็นแนวทางในการบินหาอาหารที่เคยผ่านมาของตัวเองและของสมาชิกในฝูง โดยนกแต่ละตัวจะแทนด้วยอนุภาค (Particle) โดยใช้หลักการเคลื่อนที่ (Velocity) ไปในจุดหมายและทิศทางต่าง ๆ และทำการจดจำคำตอบที่ได้พบซึ่งอนุภาคทั้งหมดจะถูกแบ่งเป็นกลุ่มย่อย ๆ เรียกว่าฝูง (Swarm) โดยตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงจะเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบเฉพาะที่ (Local best solution:Lbest) และตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดของอนุภาคทั้งหมดเรียกว่า ค่าที่เหมาะสมแบบวงกว้าง (Global best solution:Gbest) ซึ่งแนวคิดจากการศึกษาพฤติกรรม เพื่อเป็นการศึกษาลักษณะของคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ค้นพบเอาไว้เป็นแนวทางในการค้นหาให้ได้มาซึ่งคำตอบใหม่ ๆ ที่ดียิ่งขึ้นกว่าเดิม



รูปที่ 6.1 ขั้นตอนการดำเนินการวิธีแบบการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง

6.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSSO ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุผลการผลิต

1. ขั้นตอนของ DPSSO ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุผลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนที่นำเสนอในงานวิจัยเป็นดังนี้
2. นำเข้าข้อมูลขั้นงานที่ใช้ในการจัดสมดุการผลิต, รอบเวลาการผลิต, ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังขั้นงาน และอัตราสัดส่วนความต้องการการผลิตผลิตภัณฑ์
3. สร้างประชากรคำตอบเริ่มต้นด้วยวิธีการสุ่ม P_t เท่ากับจำนวนฝูง (Swarm) ฝูงละอนุภาค (Particle) ตัว
4. คำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละสตริงคำตอบ
 - (1) จำนวนพนักงานน้อยที่สุด
 - (2) จำนวนสถานีนงานน้อยที่สุด
 - (3) ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีนงานมากที่สุด
 - (4) ความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีนงานมากที่สุด
5. กำหนดค่าความแข็งแรงแก่สตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดและวัดระยะห่างความหนาแน่นให้แก่สตริงคำตอบ
6. เก็บคำตอบที่ดีที่สุดของฝูง (Local Best Solution: Lbest) และเก็บคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด (Global Best Solution: Gbest)
7. ปรับปรุงเมตริกซ์ตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) และเมตริกซ์ทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) จากค่า Lbest และ Gbest และใช้ฟังก์ชัน Sigmoid ในการปรับค่าเมตริกซ์การเคลื่อนที่ของอนุภาคให้อยู่ในรูปความน่าจะเป็น เพื่อที่จะทำการสร้างสตริงคำตอบในรอบถัดไป
8. จัดเก็บสตริงคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) ตลอดกระบวนการค้นหา (Elitist) มารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้าแล้วกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อคัดเลือกหาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนประชากรที่กำหนด เพื่อใช้ในกระบวนการค้นหารอบถัดไป
9. ดำเนินกระบวนการค้นหาคำตอบให้ครบตามจำนวนรอบการค้นหาคำตอบที่กำหนดไว้

6.3 การประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์

ตัวอย่างการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงาน ทำการคำนวณค่าวัตถุประสงค์จำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด, จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด, ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานน้อยที่สุด และจะมีการนำข้อมูลต่าง ๆ เข้ามา ได้แก่ รอบเวลาดำเนินการผลิต (Cycle Time) ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน (Precedence Diagram)

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง มีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนอนุภาคที่กำหนดให้แต่ละฝูง (Number of Particles in each Swarms: P) P=3
2. จำนวนฝูงที่กำหนดให้แต่ละรอบการทำงาน (Number of Swarms: S) S=2
3. น้ำหนักการหวนที่ใช้ (Weight: W) W=1

6.3.1 สร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น

ทำการสุ่มค่าสิทธิการจัดสมดุลการผลิตออกมาเป็นสตริงคำตอบเป็นจำนวนฝูงเท่ากับ 2 และจำนวนอนุภาคของฝูงเท่ากับ 3

Task ID	1	2	3	4	5	6	7
Priority	1	2	3	4	5	6	7

รูปที่ 6.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นสำหรับ DPSO

โดยจะแสดงการสุ่มค่าสิทธิการจัดสมดุลการผลิต ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.1 ตารางค่าสิทธิในการเลือกงาน 6 สตริงคำตอบ

Strings (s, p)	Model Balancing						
1,1	2	3	1	6	5	7	4
1,2	5	7	2	3	1	6	4
1,3	5	1	4	3	2	7	6
2,1	3	4	5	2	7	6	1
2,2	4	3	7	5	1	6	2
2,3	1	4	2	5	6	3	7

จากสตริงคำตอบทั้ง 6 ตัวข้างต้นนั้น จะทำการจัดลงสถานีงานโดยวิธีการดังเช่นในบทที่ 3 ที่ได้กล่าวมา และคำนวณหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์โดยกำหนดรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 10 ในงานวิจัยนี้ได้ทำการหาค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 4 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ จำนวนพนักงานน้อยที่สุด, จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด, ความแตกต่างของปริมาณภาระงานระหว่างสถานีงานน้อยที่สุด และความไม่เกี่ยวเนื่องกันของงานในสถานีงานน้อยที่สุด จากสตริงคำตอบที่กล่าวมาข้างต้นสามารถคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ได้ดังตารางที่ 6.2

6.3.2 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ภายในงานวิจัยนี้ไปพร้อมๆกันทั้ง 3 วัตถุประสงค์

ตารางที่ 6.2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

String	Worker	Station	Relation	Workload
1,1	5	4	4.2857	0.0438
1,2	5	3	5.0000	0.0587
1,3	5	3	5.1429	0.0438
2,1	5	4	4.2857	0.0438
2,2	6	3	5.0000	0.0258
2,3	5	3	4.1667	0.1188

6.3.3 กำหนดค่าความแข็งแรงและระยะห่างความหนาแน่นแก่ละสตริงคำตอบ

การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) และค่าความหนาแน่น (Crowding Distance) แล้วทำการกำหนดสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution: Lbest) ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 โดยถ้ากรณีที่ฝูงเดียวกันมีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 หลายสตริงคำตอบจะพิจารณาที่สตริงคำตอบที่มีความหนาแน่นมากกว่ากัน แต่ถ้าสตริงคำตอบที่ให้ค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นหลายสตริงคำตอบจะทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบนั้นเป็นสตริงคำตอบที่ดีในฝูงนั้น

ตารางที่ 6.3 ค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงที่ 1

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,1	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity	-
1,2	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity	Lbest
1,3	5	3	5.1429	0.0438	1	Infinity	-

ตารางที่ 6.4 ค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงที่ 2

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
2,1	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity	-
2,2	6	3	5.0000	0.0258	3	Infinity	-
2,3	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity	Lbest

หลังจากได้สตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูงเรียบร้อยแล้วนั้นจึงนำเอาสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูงมาหาค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่น โดยถ้าค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 จะกำหนดให้สตริงคำตอบนั้นเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุด (Global Best Solution: Gbest) ของจำนวนประชากรทั้งหมด แต่ถ้าค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากันจะทำการสุ่มสตริงคำตอบขึ้นมาเพื่อเป็นตัวแทนของสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด ดังตารางที่ 6.6

ตารางที่ 6.5 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1 และ ฝูงที่ 2

Strings (s, p)	Priority String						
1,2	5	7	2	3	1	6	4
2,3	1	4	2	5	6	3	7

ตารางที่ 6.6 ค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในจำนวนประชากรทั้งหมด

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,2	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity	Gbest
2,3	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity	-

6.3.4 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

จัดเก็บคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนประชากรทั้งหมด (Gbest) เท่านั้นแล้วนำเอาสตริงคำตอบนี้เก็บไว้พิจารณาในรอบถัดไป พิจารณาจากตารางที่ 6.5

ตารางที่ 6.7 ค่าสิทธิของชิ้นงานที่ดีที่สุดจำนวนประชากรทั้งหมด

Strings (s, p)	Priority String						
1,2	5	7	2	3	1	6	4

6.3.5 การปรับปรุงตาราง

การปรับปรุงตารางนั้นจำเป็นต้องพิจารณาอยู่ 2 ตารางคือ ตารางตำแหน่งของอนุภาคเบื้องต้น (Initial Position Matrix) และตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคเบื้องต้น (Initial Velocity Matrix) โดยมีมิติของตารางเท่ากับจำนวนชิ้นงาน $n=7$ ตารางตำแหน่งของอนุภาคเบื้องต้นได้จากการแปลงค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูง (Lbest) และตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาคจะมีค่าเริ่มต้นเท่ากับ 0 ทั้งหมด

ตารางที่ 6.8 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.9 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	1	0	0	0	0	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	1	0
4	0	1	0	0	0	0	0
5	0	0	0	1	0	0	0
6	0	0	0	0	1	0	0
7	0	0	0	0	0	0	1

หลังจากนั้นทำการปรับปรุงตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคและตารางตำแหน่งของอนุภาคดังสมการต่อไปนี้

$$V_{(i,j)} = wV_{(i-1,j)} + c_1r_1(P_{(i,j)} - X_{(i-1,j)}) + c_2r_2(G_{(i,j)} - X_{(i-1,j)}) \quad (6.1)$$

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (6.2)$$

$$S(V_{(i,j)}) = \frac{1}{1+\exp(-V_{(i,j)})} \quad (6.3)$$

โดยกำหนดให้ i คือ รอบที่การทำงาน

j คือ ฝูงของอนุภาคที่ j

w คือ น้ำหนักในการหน่วง กำหนดให้เท่ากับ 1

c_1 และ c_2 คือ ตัวประกอบอัตราการเรียนรู้ กำหนดให้เท่ากับ 0.1

r_1 และ r_2 คือ ตัวเลขจากการสุ่มในช่วง 0 ถึง 1

$P_{(i,j)}$ คือ ตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดใฝูง j เมื่อรอบการทำงานที่ i

$G_{(i,j)}$ คือ ตำแหน่งของคำตอบที่ดีที่สุดใประชากร เมื่อรอบการทำงานที่ i

จากนั้นนำไปสร้างเมตริกซ์ Sigmoid Function $S(V_{(i,j)})$ เพื่อใช้ในการสุ่มเลือกเดินทางในการเลือกประชากรที่ทำงานในแต่ละรอบ

6.3.5.1 การปรับปรุงตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค

ตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีตัวแปรสำคัญคือ ค่า c_1 และ c_2 ค่าเท่ากับ 1 ,ค่า w ค่าเท่ากับ 1 ,ค่า r_1 และ r_2 ค่าจากการสุ่ม

ตารางที่ 6.10 ค่าสุ่ม r_1 และ r_2

	r_1	r_2
ฝูงที่ 1	0.3051	0.6110
ฝูงที่ 2	0.7565	0.4075

ตารางที่ 6.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝูงที่ 1

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.12 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคฝูงที่ 2

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	-0.04075	0	0	0	0.04075	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0.04075	0	-0.04075	0
4	0	-0.04075	0	0	0	0	0.04075
5	0.04075	0	0	-0.04075	0	0	0
6	0	0	0	0	-0.04075	0.04075	0
7	0	0.04075	0	0	0	0	-0.04075

6.3.5.2 การปรับปรุงค่าตารางตำแหน่งของอนุภาค

การปรับปรุงตารางตำแหน่งอนุภาคจากสมการที่ 6.2

ตารางที่ 6.13 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	1	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	1
5	1	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0
7	0	1	0	0	0	0	0

ตารางที่ 6.14 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	1.04075	0	0	0	-0.04075	0	0
2	0	0	1	0	0	0	0
3	0	0	0	-0.04075	0	1.04075	0
4	0	1.04075	0	0	0	0	-0.04075
5	-0.04075	0	0	1.04075	0	0	0

ตารางที่ 6.14 ตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2 (ต่อ)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
6	0	0	0	0	1.04075	-0.04075	0
7	0	-0.04075	0	0	0	0	1.04075

6.3.6 การสร้างสตริงคำตอบสำหรับการใช้งานในรอบถัดไป

สร้างค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป โดยใช้เมตริกซ์ Sigmoid Function ในการแปลงค่าการเคลื่อนที่อนุภาคในแต่ละฝูง ดังตาราง 6.15 และ 6.16 ต่อไปนี้

ตารางที่ 6.15 Sigmoid ฝูงที่ 1

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

ตารางที่ 6.16 Sigmoid ฝูงที่ 2

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.4898	0.5000	0.5000	0.5000	0.5102	0.5000	0.5000
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5000	0.5000	0.5102	0.5000	0.4898	0.5000
4	0.5000	0.4898	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5102
5	0.5102	0.5000	0.5000	0.4898	0.5000	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4898	0.5102	0.5000
7	0.5000	0.5102	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4898

6.3.7 การทำงานในรอบถัดไป

การแก้ปัญหาในรอบถัดไป จะมีกระบวนการเหมือนกันจากกระบวนการในรอบแรก แต่การกำหนดประชากรจะใช้ตารางความน่าจะเป็นแบบ Sigmoid Function ในการสุ่มเลือกประชากรขึ้นมาทำงาน ดังนี้

ตารางที่ 6.17 ค่าสตริงคำตอบเริ่มต้นของฝูงที่1 และ 2

Strings (s, p)	Model Balancing						
1,1	2	3	1	6	5	7	4
1,2	5	7	2	3	1	6	4
1,3	5	1	4	3	2	7	6
2,1	4	5	3	6	7	1	2
2,2	4	7	1	3	2	6	5
2,3	1	5	7	2	6	4	3

6.3.8 การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ภายในงานวิจัยนี้ไปพร้อม ๆ กันทั้ง 4 วัตถุประสงค์

ตารางที่ 6.18 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ในรอบการทำงานที่ 2

String	Worker	Station	Relation	Workload
1,1	5	3	5.0000	0.0587
1,2	5	3	5.1429	0.0438
1,3	5	4	4.2857	0.0438
2,1	5	4	4.2857	0.0438
2,2	6	3	5.1429	0.0347
2,3	5	3	4.1667	0.1188

ตารางที่ 6.19 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,1	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity	Lbest
1,2	5	3	5.1429	0.0438	1	Infinity	-
1,3	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity	-

ตารางที่ 6.20 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 2

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
2,1	5	4	4.2857	0.0438	2	Infinity	-
2,2	6	3	5.1429	0.0347	3	Infinity	-
2,3	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity	Lbest

เมื่อได้ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละฝูงเรียบร้อยแล้วนั้น ต่อมาจึงนำเอาค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูงมาจัดอันดับค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่น เพื่อมากำหนดให้ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุด (Gbest) จากจำนวนประชากรทั้งหมด

ตารางที่ 6.21 ค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดของฝูงที่ 1 และ 2

String	Worker	Station	Relation	Workload
1,1	5	3	5.0000	0.0587
2,3	5	3	4.1667	0.1188

ตารางที่ 6.22 คัดเลือกค่าสตรึงคำตอบที่ดีที่สุดในการประชากร

String	Worker	Station	Relation	Workload	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,1	5	3	5.0000	0.0587	1	Infinity	Gbest
2,3	5	3	4.1667	0.1188	1	Infinity	-

6.3.9 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

ตารางที่ 6.23 รวมค่าสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในการทำงานรอบที่ 2

Strings (s, p)	Priority String						
1,2 (รอบที่1)	5	7	2	3	1	6	4
1,1 (รอบที่2)	2	3	1	6	5	7	4

6.3.10 การปรับปรุงตารางในรอบที่ 2

ในกระบวนการรอบที่ 2 นี้ ทำการปรับปรุงตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค และตารางตำแหน่งของอนุภาค จากการใช้ค่าสตริงคำตอบจากการคัดเลือกค่าสตริงคำตอบจาก Lbest และ Gbest

6.3.10.1 การปรับปรุงตารางค่าทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค

ตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมีตัวแปรสำคัญคือ ค่า c_1 และ c_2 ค่าเท่ากับ 1 ,ค่า w ค่าเท่ากับ 1 ,ค่า r_1 และ r_2 ค่าจากการสุ่ม

ตารางที่ 6.24 ค่าสุ่ม r_1 และ r_2 ในรอบที่ 2

	r_1	r_2
ฝูงที่ 1	0.5306	0.8320
ฝูงที่ 2	0.2747	0.2074

ตารางที่ 6.25 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคของฝูงที่ 1 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	-0.1363	0.0000	0.0000
2	0.1363	0.0000	-0.1363	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.1363	0.0000	-0.1363	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
5	-0.1363	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	-0.1363	0.0000
7	0.0000	-0.1363	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000

ตารางที่ 6.26 ทิศทางการเคลื่อนที่อนุภาคของฝูงที่ 2 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	-0.0635	0.0000	0.0207	0.0000	0.0427	0.0000	0.0000
2	0.0207	0.0000	-0.0482	0.0275	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0207	0.0000	0.0427	0.0000	-0.0909	0.0275
4	0.0000	-0.0909	0.0000	0.0000	0.0000	0.0275	0.0635
5	0.0427	0.0275	0.0000	-0.0909	0.0207	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0207	-0.0635	0.0427	0.0000
7	0.0000	0.0427	0.0275	0.0000	0.0000	0.0207	-0.0909

6.3.10.2 การปรับปรุงตารางค่าตำแหน่งอนุภาค

ตารางที่ 6.27 ตารางตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 1 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	0.8637	0.0000	0.0000
2	0.1363	0.0000	0.8637	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.1363	0.0000	0.8637	0.0000	0.0000	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.0000
5	0.8637	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000	0.8637	0.0000
7	0.0000	0.8637	0.0000	0.0000	0.0000	0.1363	0.0000

ตารางที่ 6.28 ตารางตำแหน่งอนุภาคของฝูงที่ 2 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.9773	0.0000	0.0207	0.0000	0.0020	0.0000	0.0000
2	0.0207	0.0000	0.9518	0.0275	0.0000	0.0000	0.0000
3	0.0000	0.0207	0.0000	0.0020	0.0000	0.9498	0.0275
4	0.0000	0.9498	0.0000	0.0000	0.0000	0.0275	0.0227
5	0.0020	0.0275	0.0000	0.9498	0.0207	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.0207	0.9773	0.0020	0.0000
7	0.0000	0.0020	0.0275	0.0000	0.0000	0.0207	0.9498

6.3.11 การสร้างสตริงคำตอบสำหรับการใช้งานในรอบที่สามถัดไป

การคัดเลือกประชากรเพื่อใช้งานในรอบถัดไปนั้น จำต้องตารางค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดจากนี้ขึ้น โดยใช้ตาราง Sigmoid Function ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 6.29 ตาราง Sigmoid ฟังก์ชันที่ 1 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.5000	0.5000	0.5340	0.5000	0.4660	0.5000	0.5000
2	0.5340	0.5000	0.4660	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5340	0.5000	0.4660	0.5000	0.5000	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.4660	0.5000	0.5000	0.5000	0.5340	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5340	0.5000	0.4660	0.5000
7	0.5000	0.4660	0.5000	0.5000	0.5000	0.5340	0.5000

ตารางที่ 6.30 ตาราง Sigmoid ฟังก์ชันที่ 2 (รอบที่ 2)

From/To	1	2	3	4	5	6	7
1	0.4841	0.5000	0.5052	0.5000	0.5107	0.5000	0.5000
2	0.5052	0.5000	0.4879	0.5069	0.5000	0.5000	0.5000
3	0.5000	0.5052	0.5000	0.5107	0.5000	0.4773	0.5069
4	0.5000	0.4773	0.5000	0.5000	0.5000	0.5069	0.5159
5	0.5107	0.5069	0.5000	0.4773	0.5052	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.5052	0.4841	0.5107	0.5000
7	0.5000	0.5107	0.5069	0.5000	0.5000	0.5052	0.4773

บทที่ 7

การเปรียบเทียบสมรรถนะอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุผลการผลิต

อัลกอริทึมที่ได้กล่าวมาข้างต้นอันได้แก่ วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบบรรจุแบบขยาย (COIN-E), วิธีการหาค่าที่เหมาะสมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกรอบงำ (NSGA-II), วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ซึ่งได้นำเอาอัลกอริทึมดังกล่าวมานั้นไปทำการทดลองการแก้ปัญหาการจัดสมดุผลการผลิตสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงาน (Mixed-Model Multi-Manned Assembly Lines) แล้วจึงนำผลที่ได้นั้นมาประเมินผลและเปรียบเทียบกับบรรดาอัลกอริทึมดังกล่าวมาข้างต้น เพื่อทำการค้นหาสมรรถนะสูงหรือต่ำในการหาค่าตอบว่ามีความแตกต่างกันเพียงอย่างไร ซึ่งการวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเหล่านั้นจะประกอบไปด้วยดัชนีการชี้วัดทั้งสิ้น 6 ตัวอันได้แก่

1. การลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Convergence to Pareto-optimal Set)
2. การกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ (Spread)
3. อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of non-dominated Solutions)
 - (1) Ratio of non-dominated solutions (self-comparison)
 - (2) Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison)
4. จำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Number of Non-dominated Solution)
5. เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (Computational Time)

7.1 ปัญหาในการทดลอง

ปัญหาที่จะถูกนำมาใช้ในการทดลองจะประกอบไปด้วย 4 ปัญหา (Tiacchi, 2015) โดยแต่ละปัญหาในการทดลองนั้นจะถูกแบ่งออกเป็น 3 เซตปัญหา ซึ่งรวมเป็นทั้งสิ้น 12 ปัญหาการทดลอง ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 7.1 เซตปัญหาในการทดลอง

ปัญหา	ที่มาของCPD	จำนวนชิ้นงาน	รุ่นผลิตภัณฑ์	รอบเวลาการผลิต
1	Roszing	25	2	15, 18, 22
2	Gunther	35	2	50, 60, 70
3	WeeMag	75	2	30, 36, 42
4	Barthold	148	2	500, 600, 700

7.2 วิธีการทดลอง

ใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดสมดุผลการผลิตสายการประกอบผสมแบบหลายคน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการทดลองการแก้ปัญหาตัวอย่างด้วยวิธีการของอัลกอริทึม โดยเมื่อทำการทดลองหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดตลอดทั้งกระบวนการทำงานซ้ำเดิมทั้งสิ้น 2000 เชนเนอเรชัน ติดต่อกันให้ทำการหยุดการค้นหาคำตอบ เพราะถือว่ากระบวนการทำงานของอัลกอริทึมไร้สิ้นซึ่งความสามารถในกระบวนการค้นหาคำตอบไปแล้ว
2. เมื่อได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตมาแล้วนั้น จึงนำมารวมกันแล้วจัดอันดับคำตอบด้วยวิธีแบบ Non-dominated Sorting จึงทำการคัดคำตอบที่อยู่ในอันดับที่ 1 (คำตอบที่มีค่าความแข็งแรงสูงสุด) มากำหนดให้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง
3. นำค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งประกอบไปด้วยตัวดัชนีชี้วัดทั้งสิ้น 6 ตัว

การแก้ปัญหาการจัดสมดุผลการผลิตโดยใช้อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาตัวอย่างผ่านโปรแกรม Visual Studio 2013 ภาษา C++ ประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์โน้ตบุ๊ค Intel® Core™ i7-3612QM CPU @ 2.10GHz RAM 8.00 GB

7.3 ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ที่จะกล่าวดังต่อไปนี้ ได้รับการทดลองจากงานวิจัยของผู้อื่นแล้วสามารถทำการแก้ปัญหการจัดสมมูลที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาในการแก้ปัญหการจัดสมมูลภายใต้งานวิจัยนี้ได้เหมาะสม

ตารางที่ 7.2 ค่าพารามิเตอร์ในแต่ละอัลกอริทึม

COIN-E (นายสถาพร โอฬาร วิวัฒน์ชัย, 2556)	ขนาดประชากร : ค่าการให้รางวัล : ค่าการลงโทษ : ค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มแบบ COIN : ค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มค่าวัตถุประสงค์ :	100 0.1 0.1 80% 20%
Local Search (การทดลอง)	รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ : ความถี่ในการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่ : ค่าความน่าจะเป็นในการค้นหาเฉพาะที่ : จำนวนการค้นหาเฉพาะที่ซ้ำในแต่ละรอบ :	Pairwise Interchange 10 0.8 10
NSGA-II (ปาลิตา ฉิมคล้าย, 2553)	ขนาดประชากร : ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ : ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน : รูปแบบการครอสโอเวอร์ : รูปแบบการมิวเตชัน :	100 0.7 0.3 Weight Mapping Crossover Reciprocal Mutation
BBO (ณัฐชัย โยธาภิบาล, 2556)	ขนาดประชากร : ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน : รูปแบบการอพยพ : รูปแบบการมิวเตชัน :	100 0.1 Sinusoidal Reciprocal Mutation
DPSO (ปาลิตา ฉิมคล้าย, 2553)	ขนาดประชากร : จำนวนฝูง จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง : ค่าสัมประสิทธิ์ในการเรียนรู้ : ค่าน้ำหนักการหมุน :	100 10 10 0.1 1

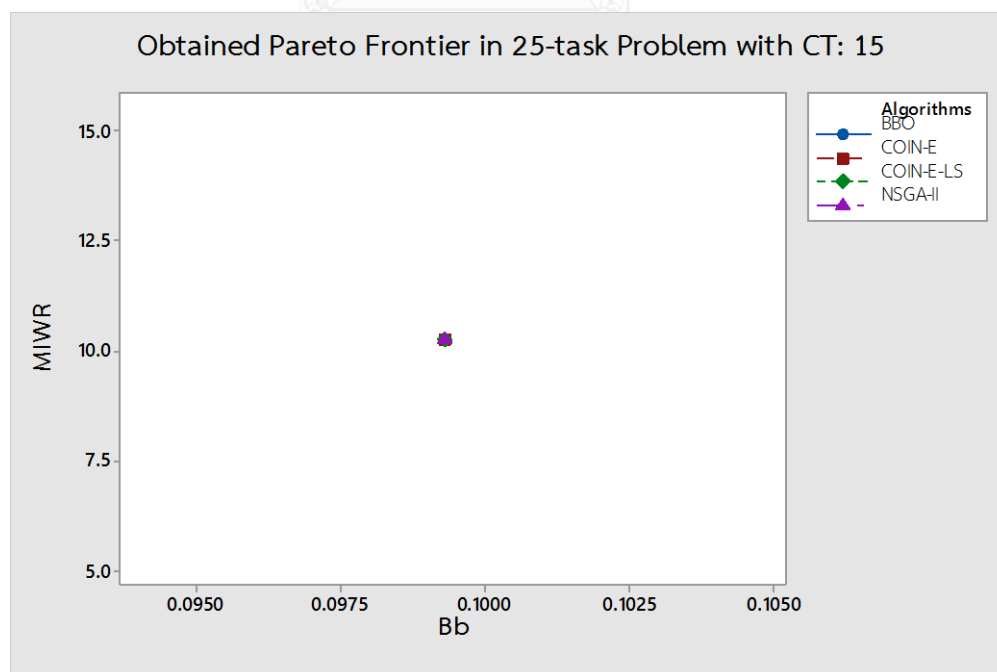
7.4 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน

7.4.1 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 15 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 15 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.3 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	11	6	10.2667	0.0993
COIN-E	1	11	6	10.2667	0.0993
BBO	1	11	6	10.2667	0.0993
NSGA-II	1	11	6	10.2667	0.0993
DPSO	1	12	6	11.2941	0.0682



รูปที่ 7.1 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.1 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดที่อัลกอริทึมหามาได้มีเพียงคำตอบเดียว จึงไม่สามารถแสดงให้เห็นถึงการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบได้

ตารางที่ 7.4 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	11	6	10.2667	0.0993

ตารางที่ 7.5 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 15 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0	n/a**	1	1	1	63.115
COIN-E	0	n/a**	1	1	1	50.824
BBO	0	n/a**	1	1	1	48.80
NSGA-II	0	n/a**	1	1	1	53.420
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	64.110

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

n/a**: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงคำตอบเดียวจึงไม่สามารถหาค่ากระจายตัวได้

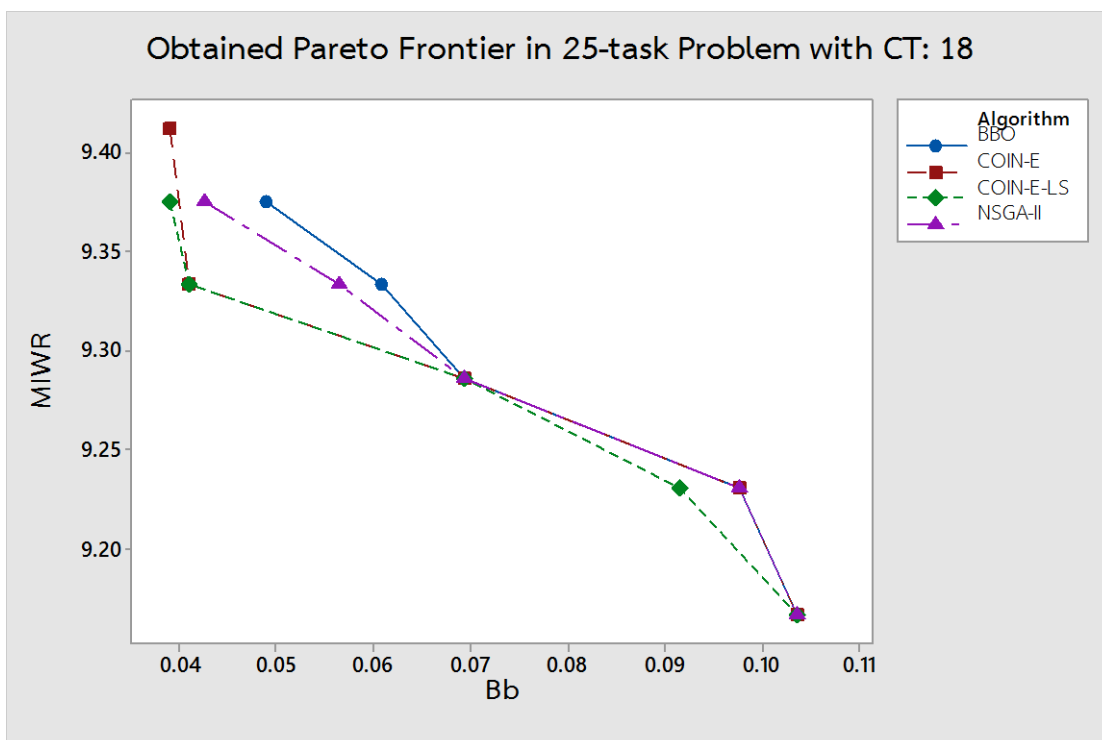
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.5 พบว่า COIN-E-LS, COIN-E, BBO และ NSGA-II มีสมรรถนะที่ดีเท่ากันในการค้นหาคำตอบในปัญหานี้และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอรับเท่ากับ 1 เช่นกัน ในขณะที่ DPSO นั้นมีสมรรถนะที่ค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.4.2 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 18 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 18 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแรงที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.6 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	10	5	9.1667	0.1038
	2	10	5	9.2308	0.0916
	3	10	5	9.2857	0.0695
	4	10	5	9.3333	0.041
	5	10	5	9.375	0.039
COIN-E	1	10	5	9.1667	0.1038
	2	10	5	9.2308	0.0979
	3	10	5	9.2857	0.0695
	4	10	5	9.3333	0.041
	5	10	5	9.4118	0.039
BBO	1	10	5	9.375	0.049
	2	10	5	9.2857	0.0695
	3	10	5	9.1667	0.1038
	4	10	5	9.2308	0.0979
	5	10	5	9.3333	0.061
NSGA-II	1	10	5	9.1667	0.1038
	2	10	5	9.2857	0.0695
	3	10	5	9.2308	0.0979
	4	10	5	9.375	0.0427
	5	10	5	9.3333	0.0565
DPSO	1	11	5	10.2143	0.0695



รูปที่ 7.2 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.2 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด และคำตอบมีการกระจายตัวที่ดี เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ตารางที่ 7.7 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	10	5	9.1667	0.1038
2	10	5	9.2308	0.0916
3	10	5	9.2857	0.0695
4	10	5	9.3333	0.041
5	10	5	9.375	0.039

ตารางที่ 7.8 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 18 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0	0.4513	1	1	5	61.192
COIN-E	0.0495	0.4483	0.6	0.6	5	50.60
BBO	0.0973	0.5502	0.4	0.4	5	57.96
NSGA-II	0.0712	0.5688	0.4	0.4	5	53.383
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	61.27

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

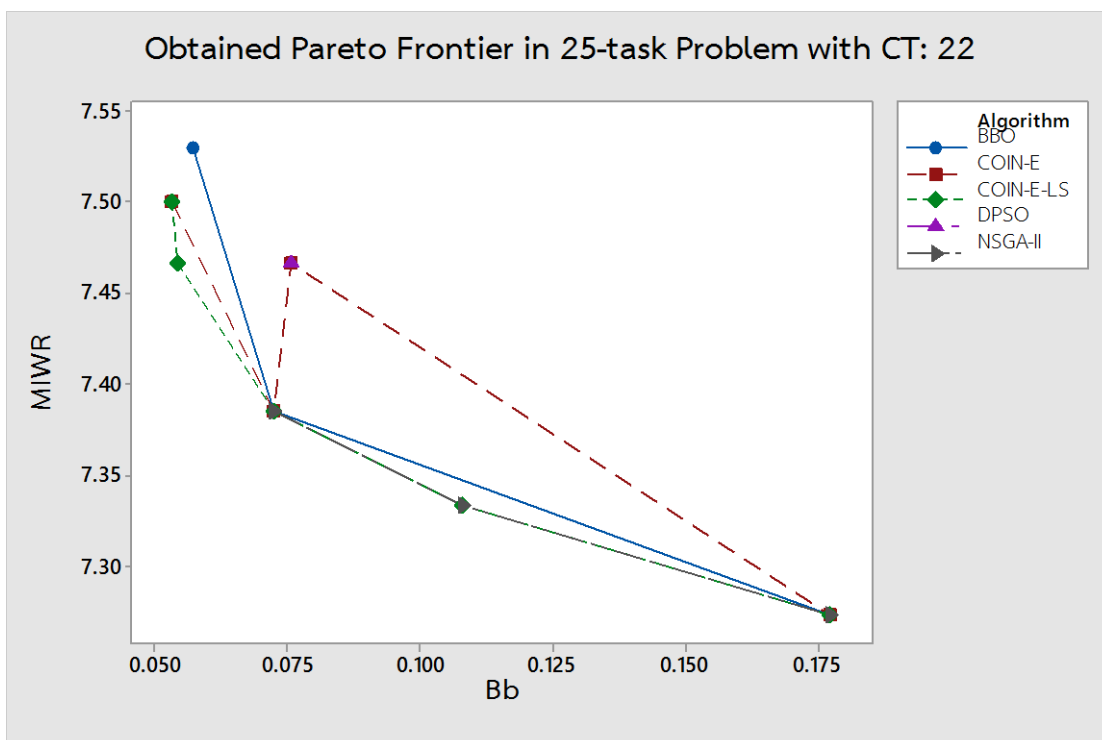
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.8 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง และใช้เวลาในการคำนวณนานกว่าได้อย่างชัดเจน

7.4.3 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 22 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 22 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.9 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	8	4	7.2727	0.1777
	2	8	4	7.3333	0.1083
	3	8	4	7.3846	0.0725
	4	8	4	7.4667	0.0542
	5	8	4	7.5	0.0531
COIN-E	1	8	4	7.4667	0.0757
	2	8	4	7.3846	0.0725
	3	8	4	7.2727	0.1777
	4	8	4	7.5	0.0531
BBO	1	8	4	7.5294	0.0573
	2	8	4	7.2727	0.1777
	3	8	4	7.3846	0.0725
NSGA-II	1	8	4	7.3846	0.0725
	2	8	4	7.2727	0.1777
	3	8	4	7.3333	0.1083
DPSO	1	8	4	7.4667	0.0757



รูปที่ 7.3 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.3 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด และคำตอบมีการกระจายตัวที่ดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ตารางที่ 7.10 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	8	4	7.2727	0.1777
2	8	4	7.3333	0.1083
3	8	4	7.3846	0.0725
4	8	4	7.4667	0.0542
5	8	4	7.5	0.0531

ตารางที่ 7.11 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 22 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0	0.5515	1	1	5	57.411
COIN-E	0.1024	0.6375	0.75	0.6	4	40.260
BBO	0.1430	0.5916	0.6667	0.4	3	46.937
NSGA-II	0.1842	0.6236	1	0.6	3	48.594
DPSO	0.5186	n/a**	0	0	1	76.237

n/a**: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงคำตอบเดียวจึงไม่สามารถหาค่ากระจายตัวได้

จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.11 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นการหาค่าสมรรถนะในส่วนของค่าการกระจายตัวนั้นไม่สามารถทำการหาค่าได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่ DPSO หามาได้นั้นมีเพียงคำตอบเดียว

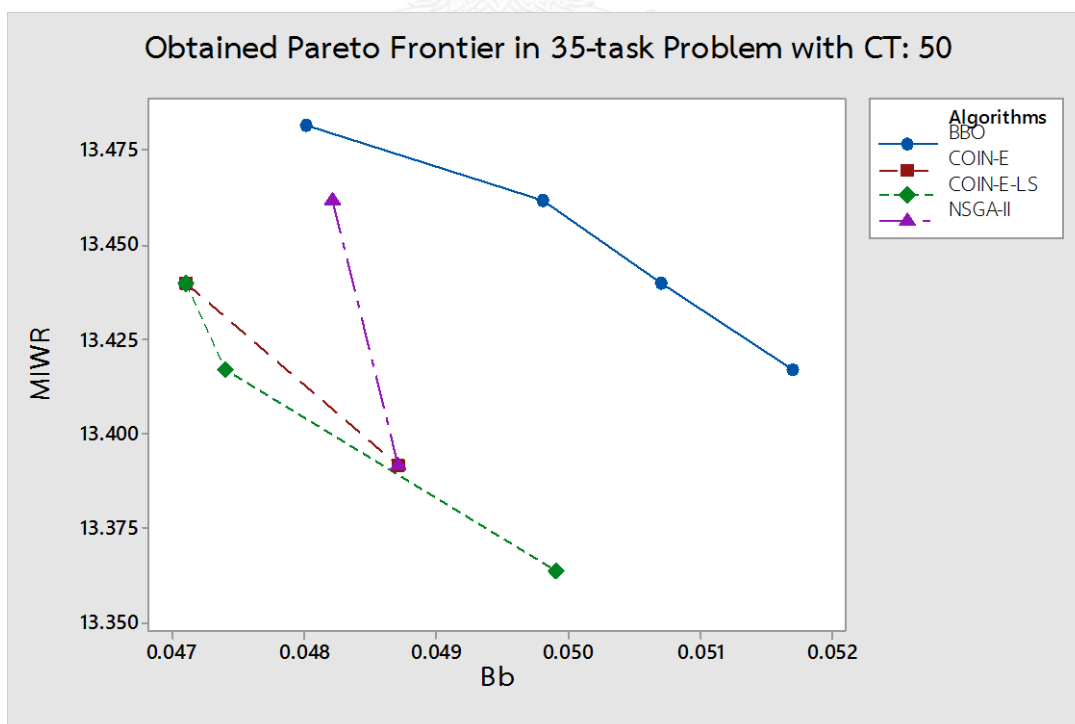
7.5 ผลการทดลองการแก้ปัญหามาขนาด 35 ชั้นงาน

7.5.1 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 50 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหามาขนาด 35 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 50 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.12 ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	14	6	13.44	0.0471
	2	14	6	13.3636	0.0499
	3	14	6	13.4167	0.0474
COIN-E	1	14	6	13.44	0.0471
	2	14	6	13.3913	0.0487
BBO	1	14	6	13.4615	0.0498
	2	14	6	13.44	0.0507
	3	14	6	13.4815	0.048
	4	14	6	13.4167	0.0517
NSGA-II	1	14	6	13.4615	0.0482
	2	14	6	13.3913	0.0487
DPSO	1	16	6	15.36	0.0379



รูปที่ 7.4 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.4 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้ แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด และคำตอบมีการกระจายตัวที่ดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

ตารางที่ 7.13 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	14	6	13.44	0.0471
2	14	6	13.3636	0.0499
3	14	6	13.4167	0.0474
4	14	6	13.3913	0.0487

ตารางที่ 7.14 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 50 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.1403	0.5555	1	0.75	3	73.661
COIN-E	0.2212	0.6667	1	0.5	2	50.898
BBO	0.5410	0.6203	0	0	4	54.896
NSGA-II	0.3739	0.6667	0.5	0.25	2	65.551
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	77.469

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชัน วัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ด้อยกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

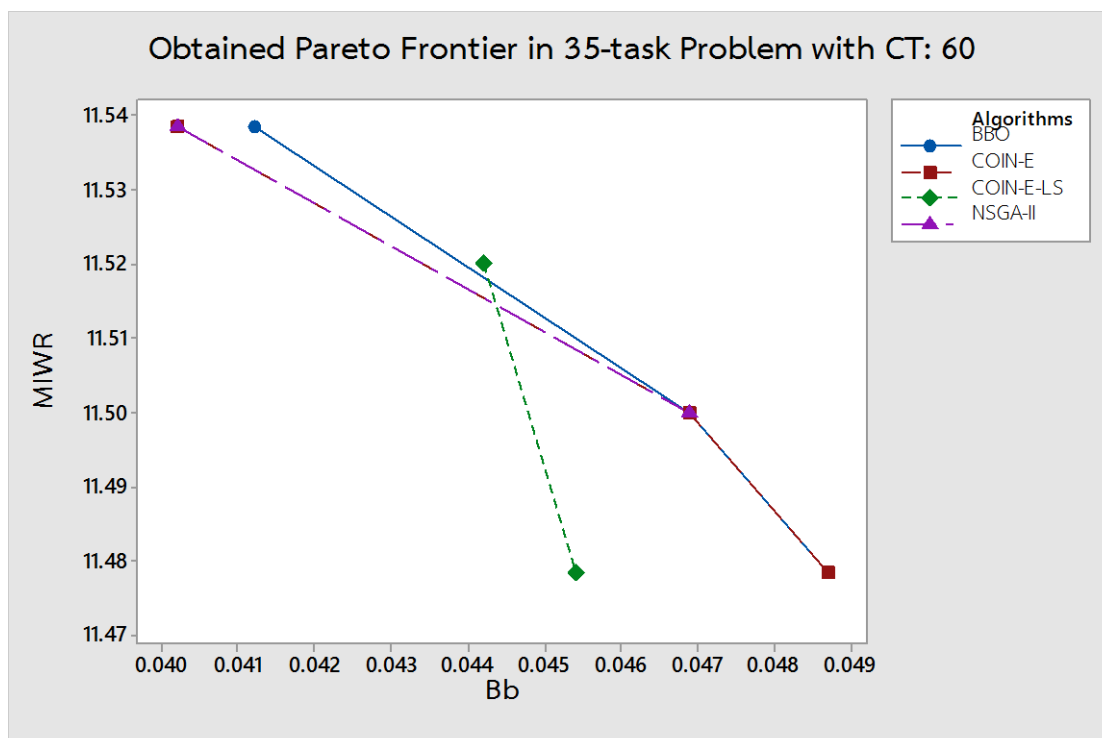
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.14 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการ ค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านค่าการลู่เข้า สู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ระดับที่ 1 และ 2 ด้อยกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.5.2 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 60 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชิ้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 60 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.15 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	12	4	11.52	0.0442
	2	12	4	11.4783	0.0454
COIN-E	1	12	4	11.52	0.048
	2	12	4	11.5385	0.0476
	3	12	4	11.52	0.0442
BBO	1	12	4	11.5	0.0469
	2	12	4	11.4783	0.0487
	3	12	4	11.5385	0.0412
NSGA-II	1	12	4	11.5	0.0469
	2	12	4	11.5385	0.0402
DPSO	1	14	5	13.3913	0.0368
	2	14	5	13.44	0.0288
	3	14	5	13.3333	0.0363



รูปที่ 7.5 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 35 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.5 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด เมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ส่วนการกระจายตัวเทียบเท่ากับ NSGA-II

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.16 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	4	12	11.52	0.0442
2	4	12	11.4783	0.0454
3	4	12	11.5385	0.0402

ตารางที่ 7.17 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 60 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.2761	0.6667	1	0.6667	2	70.465
COIN-E	0.2826	0.7083	0.3333	0.3333	3	47.37
BBO	0.3218	0.7656	0	0	3	51.589
NSGA-II	0.3155	0.6667	0.5	0.333	2	56.160
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	70.480

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ดีกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

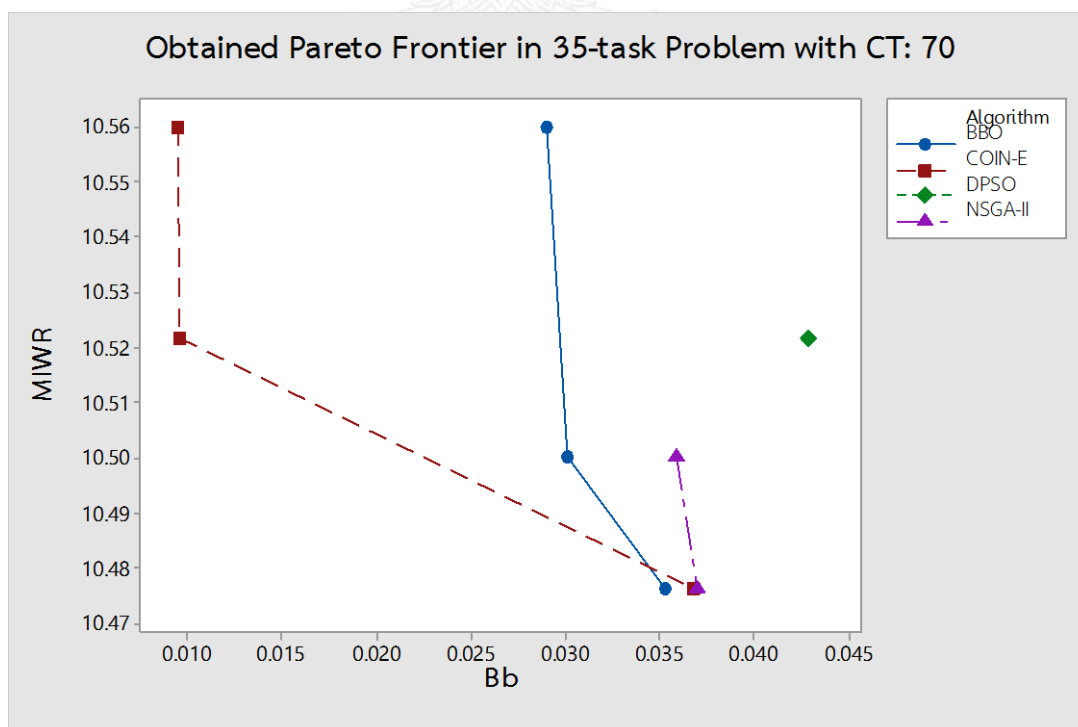
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.17 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO เพียงเล็กน้อย ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ดีกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.5.3 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 70 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 70 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.18 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 70 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	11	4	10.5217	0.0096
	2	11	4	10.4762	0.0368
	3	11	4	10.56	0.0095
COIN-E	1	11	4	10.4762	0.0354
	2	11	4	10.5217	0.0318
	3	11	4	10.56	0.0146
BBO	1	11	4	10.4762	0.0353
	2	11	4	10.5	0.0301
	3	11	4	10.56	0.029
NSGA-II	1	11	4	10.4762	0.037
	2	11	4	10.5	0.0359
DPSO	1	11	4	10.5217	0.0429



รูปที่ 7.6 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 70 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.6 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้
แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ แต่การกระจายตัวยังเป็นรอง BBO

ตารางที่ 7.19 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 70
หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	11	4	10.5217	0.0096
2	11	4	10.56	0.0095
3	11	4	10.4762	0.0353
4	11	4	10.5	0.0301

ตารางที่ 7.20 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต
70 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.1076	0.5548	0.6667	0.5	3	66.736
COIN-E	0.2410	0.6238	0	0	3	41.752
BBO	0.3979	0.5422	0.6667	0.5	3	48.859
NSGA-II	0.6153	0.6667	0	0	2	53.508
DPSO	0.7869	n/a**	0	0	1	65.504

n/a**: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนี้หามาได้มีค่าฟังก์ชัน
วัตถุประสงค์เพียงคำตอบเดียวจึงไม่สามารถหาค่ากระจายตัวได้

จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.20 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการ
ค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ได้อย่างชัดเจน ทั้งในด้านค่าการลู่เข้า
สู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นการหา
ค่าสมรรถนะในส่วนของค่าการกระจายตัวนั้นไม่สามารถทำการหาค่าได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสม
ที่สุดที่ DPSO หามาได้นั้นมีเพียงคำตอบเดียว

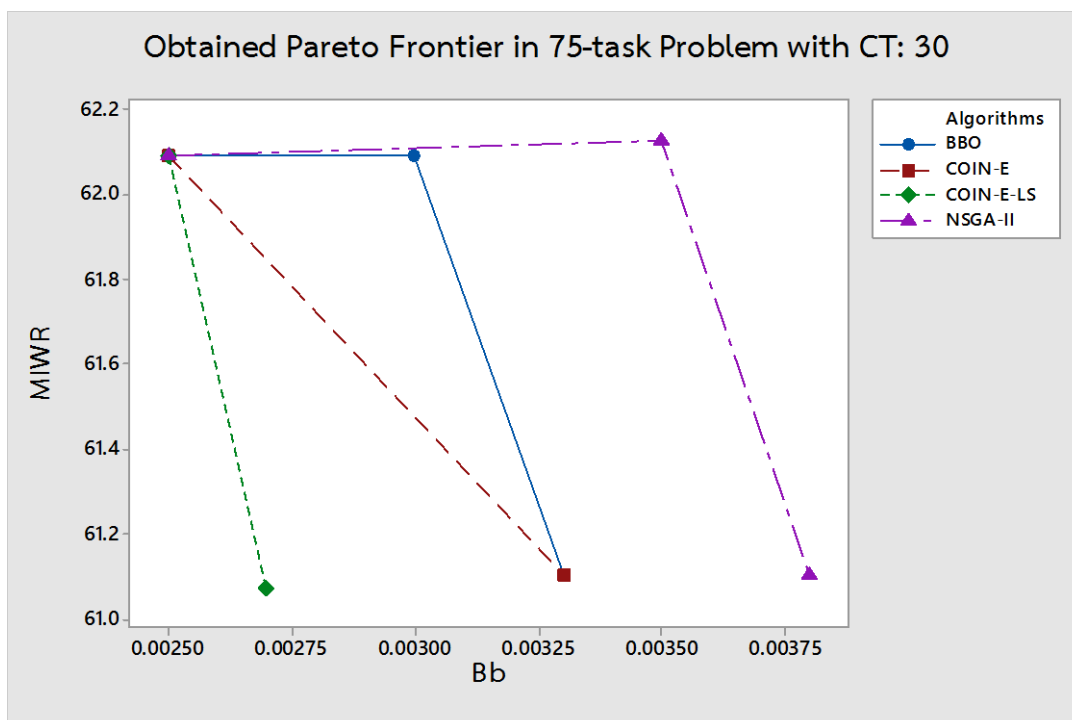
7.6 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน

7.6.1 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 30 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 30 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.21 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	63	17	61.0735	0.0027
	2	63	17	62.087	0.0025
COIN-E	1	63	17	62.087	0.0025
	2	63	17	61.1014	0.0033
BBO	1	63	17	61.1014	0.0033
	2	63	17	62.0882	0.003
	3	63	17	62.087	0.0025
NSGA-II	1	63	17	62.125	0.0035
	2	63	17	61.1014	0.0038
	3	63	17	62.087	0.0025
DPSO	1	63	18	62.1127	0.0049



รูปที่ 7.7 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.7 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ แต่คำตอบมีการกระจายตัวเป็นรอง NSGA-II

ตารางที่ 7.22 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	63	17	61.0735	0.0027
2	63	17	62.087	0.0025

ตารางที่ 7.23 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 30 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0	0.6667	1	1	2	200.444
COIN-E	0.3759	0.6667	0.5	0.5	2	145.17
BBO	0.3759	0.6308	0.3333	0.5	3	150.774
NSGA-II	0.4388	0.5749	0.3333	0.5	3	182.551
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	173.456

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

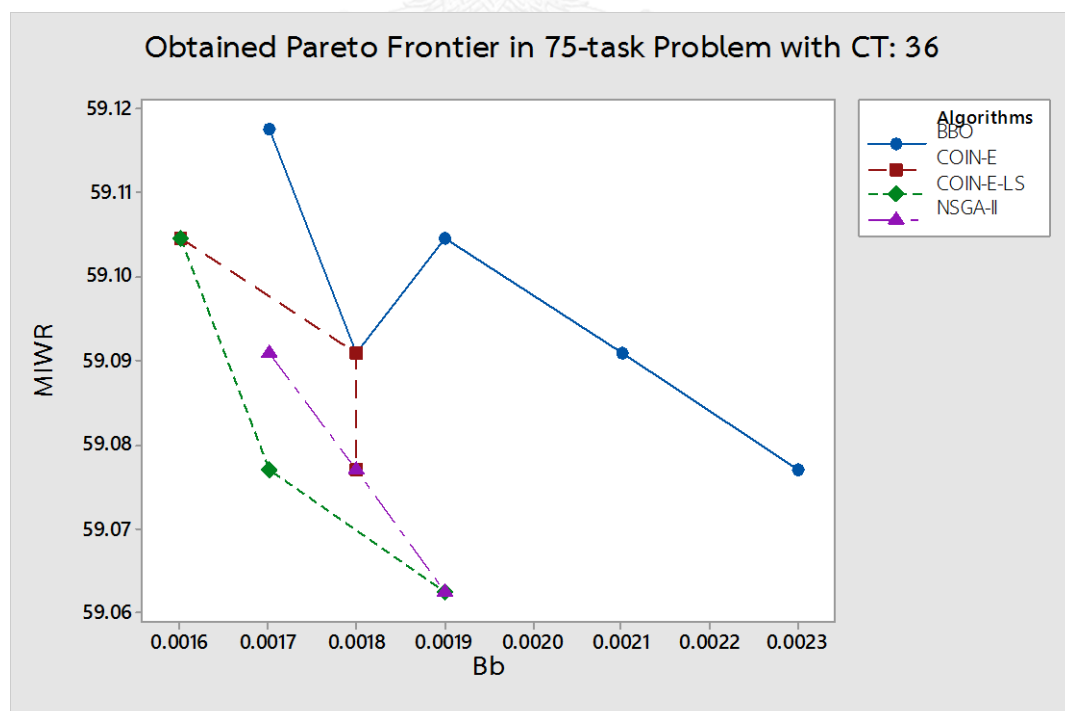
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.23 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.6.2 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 36 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 36 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.24 ค่าตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	60	16	59.0625	0.0019
	2	60	16	59.0769	0.0017
	3	60	16	59.1045	0.0016
BBO	1	60	16	59.0909	0.0018
	2	60	16	59.1176	0.0017
	3	60	16	59.0909	0.0021
	4	60	16	59.0769	0.0023
	5	60	16	59.1045	0.0019
NSGA-II	1	60	16	59.0909	0.0017
	2	60	16	59.0769	0.0018
	3	60	16	59.0625	0.0019
DPSO	1	61	18	60.1029	0.0023



รูปที่ 7.8 กราฟเปรียบเทียบค่าตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.8 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ แต่คำตอบมีการกระจายตัวเป็นรอง NSGA-II

ตารางที่ 7.25 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	60	16	59.0625	0.0019
2	60	16	59.0769	0.0017
3	60	16	59.1045	0.0016

ตารางที่ 7.26 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0	0.5043	1	1	3	198.291
COIN-E	0.2705	0.6873	0.3333	0.3333	3	149.798
BBO	0.3679	0.5050	0	0	5	187.933
NSGA-II	0.2661	0.5035	0.3333	0.3333	3	155.173
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	167.435

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

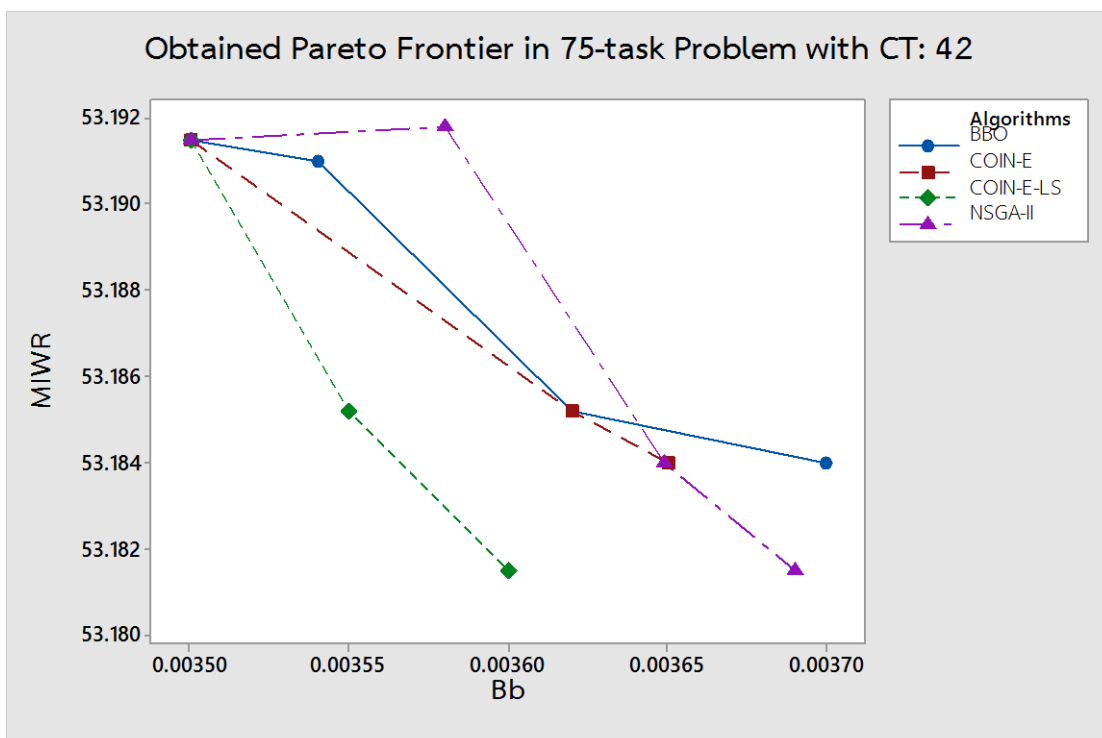
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.26 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.6.3 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 42 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่างๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 42 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.27 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 42 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	54	15	53.1815	0.0036
	2	54	15	53.1852	0.00355
	3	54	15	53.1915	0.0035
COIN-E	1	54	15	53.1915	0.0035
	2	54	15	53.191	0.00354
	3	54	15	53.19	0.00362
BBO	1	54	15	53.1915	0.0035
	2	54	15	53.191	0.00354
	3	54	15	53.1852	0.00362
	4	54	15	53.184	0.0037
NSGA-II	1	54	15	53.1918	0.00358
	2	54	15	53.1915	0.0035
	3	54	15	53.1815	0.00369
	4	54	15	53.184	0.003649
DPSO	1	58	16	57.1471	0.0038



รูปที่ 7.9 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 42 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.9 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด และคำตอบมีการกระจายตัวที่ดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.28 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 75 ชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต 36 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	54	15	53.1815	0.0036
2	54	15	53.1852	0.0036
3	54	15	53.1915	0.0035
4	54	15	53.191	0.0035

ตารางที่ 7.29 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 42 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.105	0.5639	0.6667	0.5	3	200.397
COIN-E	0.1442	0.8467	0.3333	0.25	3	150.397
BBO	0.1388	0.6383	0.25	0.25	4	182.379
NSGA-II	0.1714	0.7298	0.25	0.25	4	155.766
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	179.587

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.29 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

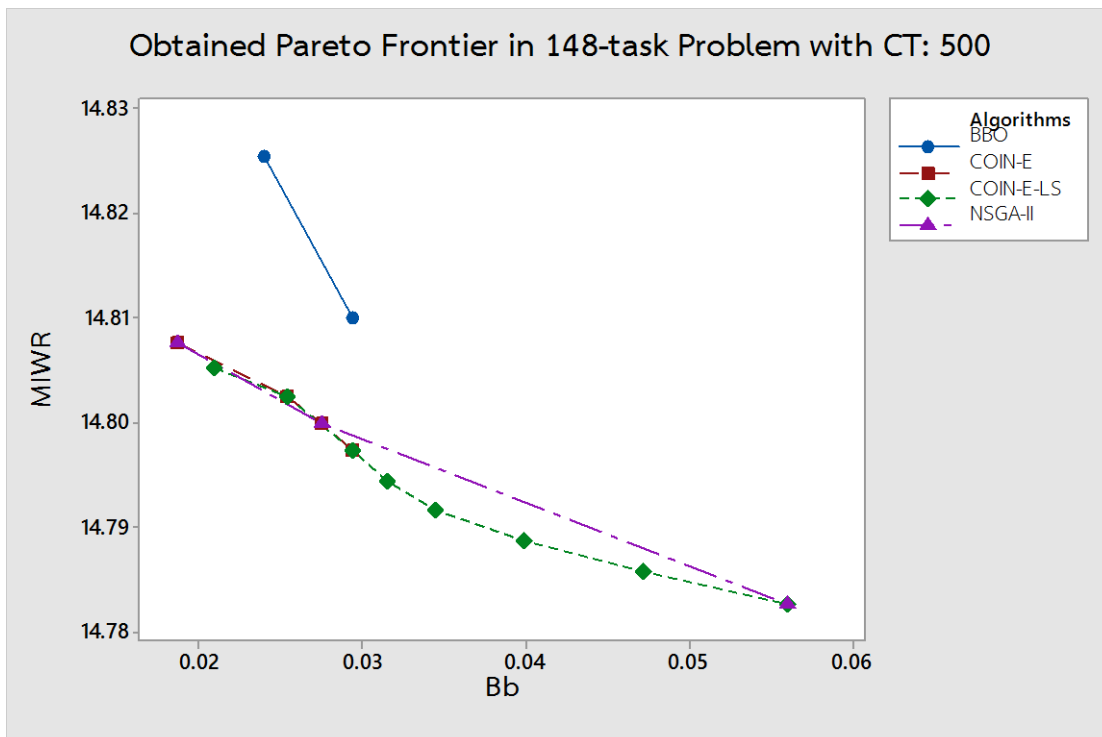
7.7 ผลการทดลองการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน

7.7.1 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 500 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 500 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแรงที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.30 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน
รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	15	4	14.7857	0.0472
	2	15	4	14.7826	0.056
	3	15	4	14.7945	0.0315
	4	15	4	14.7917	0.0344
	5	15	4	14.7887	0.0398
	6	15	4	14.7973	0.0293
	7	15	4	14.8052	0.0208
	8	15	4	14.8026	0.0253
COIN-E	1	15	4	14.8077	0.0186
	2	15	4	14.8026	0.0253
	3	15	4	14.8	0.0275
	4	15	4	14.7973	0.0293
BBO	1	15	4	14.8256	0.0239
	2	15	4	14.8101	0.0293
NSGA-II	1	15	4	14.7826	0.056
	2	15	4	14.8077	0.0186
	3	15	4	14.8	0.0275
DPSO	1	16	4	15.828	0.0515



รูปที่ 7.10 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.10 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุด และคำตอบมีการกระจายตัวที่ดีเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 7.31 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	15	4	14.7857	0.0472
2	15	4	14.7826	0.056
3	15	4	14.7945	0.0315
4	15	4	14.7917	0.0344
5	15	4	14.7887	0.0398
6	15	4	14.7973	0.0293
7	15	4	14.8052	0.0208
8	15	4	14.8026	0.0253

ตารางที่ 7.31 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา (ต่อ)

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
9	15	4	14.8077	0.0186
10	15	4	14.8	0.0275

ตารางที่ 7.32 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 500 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.0234	0.5831	1	0.8	8	348.549
COIN-E	0.2535	0.6881	1	0.4	4	172.394
BBO	0.4377	0.6667	0	0	2	190.523
NSGA-II	0.1738	0.7846	1	0.3	3	189.103
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	221.535

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

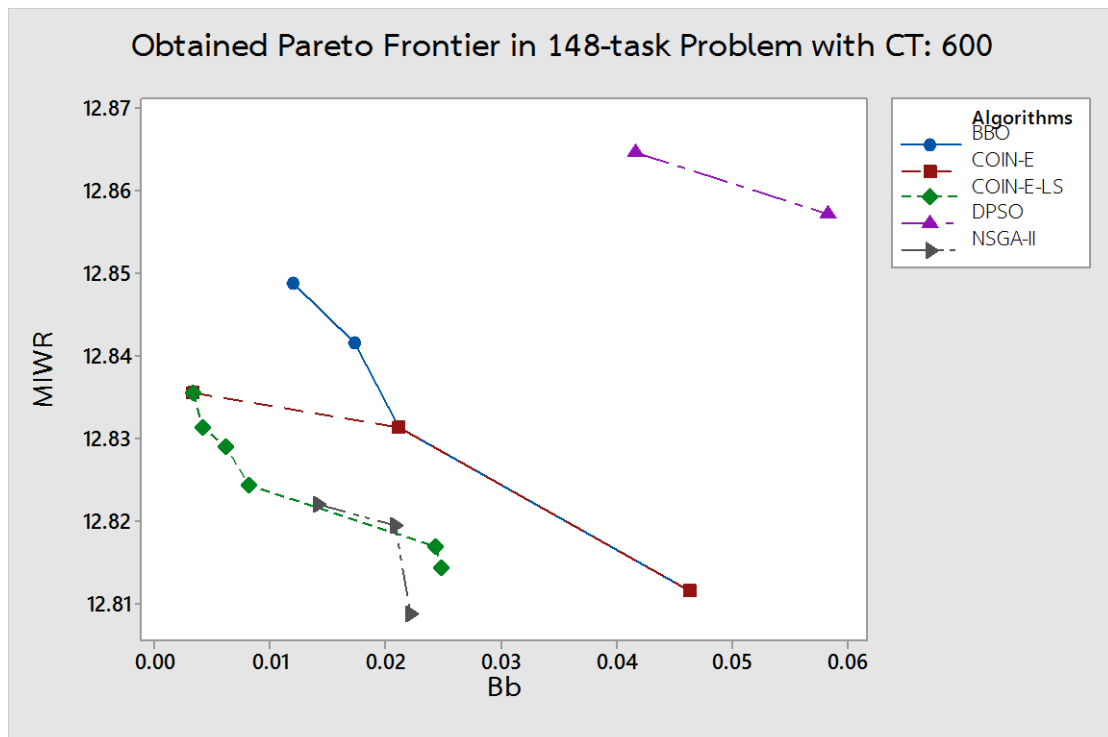
จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.32 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้างแย่เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.7.2 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 600 หน่วยเวลา

คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 600 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.33 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน
รอบเวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	13	4	12.8169	0.0243
	2	13	4	12.8143	0.0247
	3	13	4	12.8243	0.008
	4	13	4	12.8354	0.0032
	5	13	4	12.8312	0.0041
	6	13	4	12.8289	0.006
COIN-E	1	13	4	12.8354	0.0032
	2	13	4	12.8312	0.0211
	3	13	4	12.8116	0.0462
BBO	1	13	4	12.8415	0.0173
	2	13	4	12.8312	0.0211
	3	13	4	12.8116	0.0462
	4	13	4	12.8488	0.0119
NSGA-II	1	13	4	12.8219	0.014
	2	13	4	12.8088	0.022
	3	13	4	12.8194	0.0207
DPSO	1	13	4	12.8571	0.0583
	2	13	4	12.8646	0.0416



รูปที่ 7.11 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่างๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.11 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีที่สุดของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ แต่คำตอบมีการกระจายตัวยังเป็นรอง NSGA-II

ตารางที่ 7.34 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	13	4	12.8243	0.008
2	13	4	12.8354	0.0032
3	13	4	12.8312	0.0041
4	13	4	12.8289	0.006
5	13	4	12.8219	0.014
6	13	4	12.8088	0.022
7	13	4	12.8194	0.0207

ตารางที่ 7.35 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 600 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.1039	0.6848	0.6667	0.5714	6	337.849
COIN-E	0.3165	0.6906	0.3333	0.1429	3	177.714
BBO	0.3719	0.6607	0	0	4	198.52
NSGA-II	0.3187	0.6315	1	0.4286	3	181.631
DPSO	0.9290	0.6667	0	0	1	220.381

จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.35 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ แต่ NSGA-II นั้นมีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบของอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS1) มีสมรรถนะที่ดีกว่า COIN-E-LS

7.7.3 เมื่อรอบเวลาการผลิตเท่ากับ 700 หน่วยเวลา

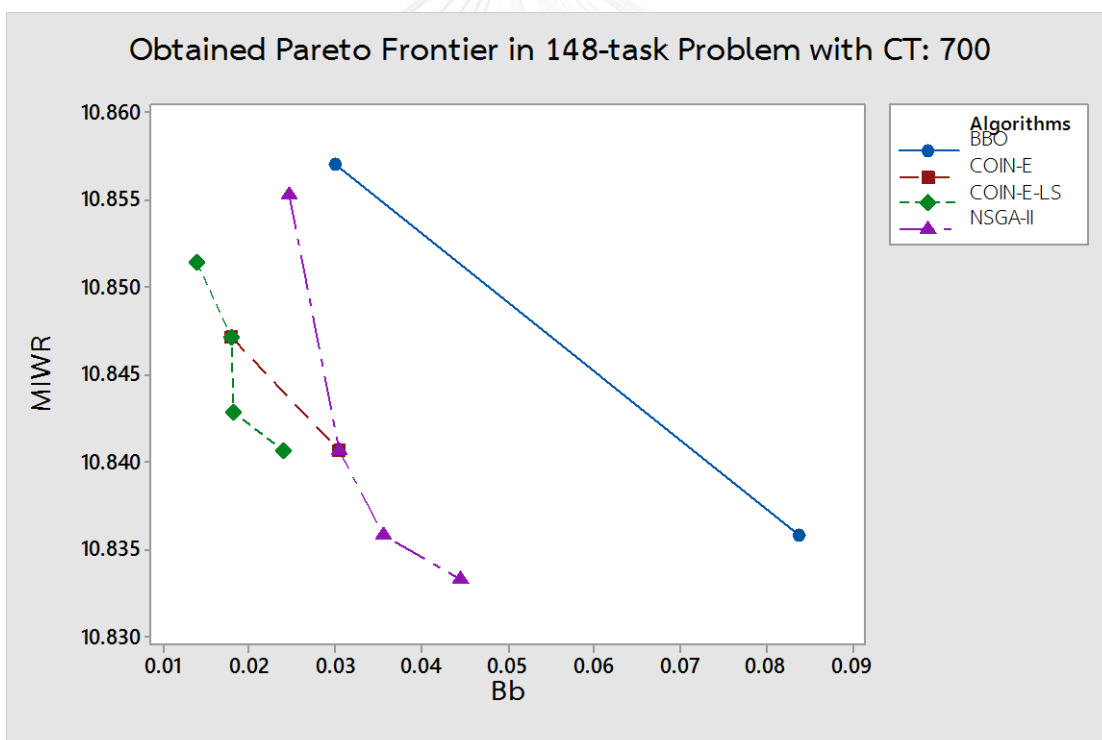
คำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมต่าง ๆ สามารถหามาได้จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน เมื่อกำหนดให้รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 700 หน่วยเวลา และนำคำตอบทั้งหมดเหล่านี้มาจัดอันดับร่วมกันจะได้คำตอบที่มีความแข็งแกร่งที่สุดเป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ซึ่งสุดท้ายแล้วจะทำให้สามารถคำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ของแต่ละอัลกอริทึมได้

ตารางที่ 7.36 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 700 หน่วยเวลา

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
COIN-E-LS	1	11	3	10.8429	0.018
	2	11	3	10.8472	0.0177
	3	11	3	10.8406	0.0238
	4	11	3	10.8514	0.0138
COIN-E	1	11	3	10.8472	0.0177
	2	11	3	10.8406	0.0303

ตารางที่ 7.36 คำตอบที่เหมาะสมที่สุดของอัลกอริทึมต่าง ๆ จากการแก้ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 700 หน่วยเวลา (ต่อ)

Algorithms	No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
BBO	1	11	3	10.8358	0.0837
	2	11	3	10.8571	0.0299
NSGA-II	1	11	3	10.8553	0.0246
	2	11	3	10.8406	0.0303
	3	11	3	10.8333	0.0443
	4	11	3	10.8358	0.0355
DPSO	1	12	3	11.8621	0.0495
	2	12	3	11.85	0.0491



รูปที่ 7.12 กราฟเปรียบเทียบคำตอบของอัลกอริทึมต่าง ๆ ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต 700 หน่วยเวลา

จากรูปที่ 7.12 แสดงให้เห็นว่าคำตอบที่ดีของ COIN-E-LS สามารถหาคำตอบที่มีค่าเข้าใกล้
แกนค่าวัตถุประสงค์ได้ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่น ๆ แต่คำตอบมีการกระจายตัวเป็นรอง
NSGA-II

ตารางที่ 7.37 True Pareto-optimal Solution ของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต
700 หน่วยเวลา

No.	Nw	Ns	MIWR	Bb
1	11	3	10.8429	0.018
2	11	3	10.8472	0.0177
3	11	3	10.8406	0.0238
4	11	3	10.8514	0.0138
5	11	3	10.8333	0.0443
6	11	3	10.8358	0.0355

ตารางที่ 7.38 ค่าชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน รอบเวลาการผลิต
700 หน่วยเวลา

Algorithms	Convergence	Spread	Ratio		NNDS	CPU Time(s)
			RNDS1	RNDS2		
COIN-E-LS	0.2084	0.6363	1	0.6667	4	331.344
COIN-E	0.2737	0.6667	0.5	0.1667	2	159.446
BBO	0.5609	0.6667	0	0	2	179.681
NSGA-II	0.2430	0.5005	0.5	0.3333	4	174.127
DPSO	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	214.937

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชัน
วัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ด้อยกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

จากผลการประเมินค่าตัวชี้วัดสมรรถนะดังตารางที่ 7.38 พบว่า COIN-E-LS มีสมรรถนะในการ
ค้นหาคำตอบที่เหนือกว่า COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ทั้งในด้านค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่
เหมาะสมที่สุดที่แท้จริงและอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ ส่วน DPSO นั้นมีสมรรถนะค่อนข้าง

แย่งเนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่แท้จริง

7.8 การวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง

ผลสรุปค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานตัวอย่างทั้ง 12 ปัญหาดังตารางที่ 7.39 แสดงให้อย่างชัดเจนว่า COIN-E มีสมรรถนะในการค้นหาคำตอบที่เหนือกว่าอัลกอริทึม BBO, NSGA-II และ DPSO ในทุกปัญหาไม่ว่าจะเป็นในการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Convergence to Pareto-optimal Set) การกระจายตัว (Spread) และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-dominated Solutions) โดยจากปัญหาทั้ง 12 ปัญหา พบว่ามีถึง 5 ปัญหาที่ COIN-E สามารถสร้างคำตอบออกมาได้ตรงตามคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง ดังจะเห็นได้จากการมีค่าสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบฯ แต่ค่าการกระจายตัวของคำตอบยังไม่สามารถเหนือกว่าอัลกอริทึมอื่น ๆ ในเกือบทุกปัญหาได้

เมื่อพิจารณาตามขนาดของปัญหา จะพบว่าในปัญหาที่ 1 ขนาด 25 ชิ้นงานซึ่งเป็นปัญหาขนาดเล็กที่สุดนั้น อัลกอริทึม DPSO ไม่สามารถหาคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ที่ดีที่สุดได้ โดยจากค่าตัวชี้วัดเชิงพาเรโตต่าง ๆ ซึ่งประเมินจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 3 จำนวน 2 วัตถุประสงค์ย่อยแสดงให้เห็นว่า BBO และ NSGA-II จะเป็นรอง COIN-E เล็กน้อย แต่ในส่วนของผลการกระจายตัวของคำตอบ พบว่า BBO และ NSGA-II จะเป็นรอง COIN-E เช่นกัน ทั้งนี้ COIN-E, BBO และ NSGA-II มีสัดส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำอยู่บ้างในทุก ๆ ปัญหาย่อยที่มีรอบเวลาการผลิตต่างกัน

เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาด 35 ชิ้นงาน อัลกอริทึม COIN-E มีสมรรถนะที่ดีขึ้นกว่า BBO และ NSGA-II ทั้งในด้านการเข้าสู่คำตอบฯ และการกระจายตัว อย่างเห็นได้ชัด ส่วนค่าสัดส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า NSGA-II ยังคงเป็นรอง COIN-E เพียงเล็กน้อย และค่าสัดส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำของอัลกอริทึม BBO นั้นมีสมรรถนะที่ลดลง ในส่วนอัลกอริทึม DPSO นั้นยังคงมีสมรรถนะในการเข้าสู่คำตอบฯ ที่แย่งเช่นเดิมในทุก ๆ ปัญหาย่อยที่มีรอบเวลาการผลิตต่างกัน แต่เมื่อรอบเวลาการผลิตเพิ่มขึ้น 70 หน่วยเวลา DPSO สามารถหาคำตอบที่ดีขึ้นได้ แต่คำตอบที่ได้นั้นเป็นเพียงแค่ว่าคำตอบเดียว จึงทำให้ไม่สามารถหาค่าการกระจายตัวของคำตอบ และคำตอบที่ได้นั้นไม่สามารถเป็นคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงได้ จึงทำให้อัลกอริทึม DPSO อาจไม่มีความเหมาะสมที่จะนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานได้อย่างมีประสิทธิภาพในทุก ๆ ปัญหาขนาดเล็ก ทั้งขนาด 25 ชิ้นงาน และ 35 ชิ้นงานได้

เมื่อพิจารณาในปัญหาที่ 3 และ 4 ซึ่งมีขนาด 75 ชิ้นงาน และ 148 ชิ้นงานพบว่านอกจากอัลกอริทึม COIN-E ซึ่งมีสมรรถนะในการหาคำตอบที่สูงที่สุดแล้ว ยังมี NSGA-II อีกอัลกอริทึมที่ยังคงสามารถหาคำตอบที่มีค่าวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ได้เกือบเท่าเทียม COIN-E อย่างไรก็ตาม ค่าชี้วัดสมรรถนะต่าง ๆ ที่ประเมินออกมาได้นั้นแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า COIN-E มีสมรรถนะในการหาคำตอบที่เหนือกว่า NSGA-II ทั้งในการลู่เข้าสู่คำตอบฯ และสัดส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำได้อย่างชัดเจน

จากการวิเคราะห์ข้างต้นทั้งหมดจึงสามารถสรุปได้ว่า COIN-E นั้นมีสมรรถนะในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงานในทุกขนาดปัญหาตั้งแต่ 25 ถึง 148 ชิ้นงาน เหนือกว่าอัลกอริทึม BBO, NSGA-II และ DPSO และยังมีสมรรถนะที่ดียิ่งขึ้นเมื่อขนาดของปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นมาก ๆ อย่างเห็นได้ชัด ทั้งนี้เมื่อพิจารณาในด้านของเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาพบว่า COIN-E นั้นใช้เวลาค่อนข้างมากกว่า เมื่อเทียบกับ BBO, NSGA-II และ DPSO อันเนื่องมาจาก COIN-E ได้เพิ่มกระบวนการค้นหาเฉพาะที่จึงทำให้กระบวนการค้นหาคำตอบต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบเพิ่มขึ้น

ตารางที่ 7.39 สรุปค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมต่าง ๆ ในการแก้ปัญหาตัวอย่าง

Problem	P1			P2			P3			P4		
	No. of Tasks			35			75			148		
Cycle Time	15	18	22	50	60	70	30	36	42	500	600	700
Nw												
COIN-E-LS	11	10	8	14	12	11	63	60	54	15	13	11
COIN-E	11	10	8	14	12	11	63	60	54	15	13	11
BBO	11	10	8	14	12	11	63	60	54	15	13	11
NSGA-II	11	10	8	14	12	11	63	60	54	15	13	11
DPSO	12	11	8	16	14	11	63	61	58	16	13	12
Ns												
COIN-E-LS	6	5	4	6	4	4	17	16	15	4	4	3
COIN-E	6	5	4	6	4	4	17	16	15	4	4	3
BBO	6	5	4	6	4	4	17	16	15	4	4	3
NSGA-II	6	5	4	6	4	4	17	16	15	4	4	3
DPSO	6	5	4	6	5	4	18	18	16	4	4	3
Convergence												
COIN-E-LS	0	0	0	0.1403	0.2761	0.1076	0	0	0.105	0.0234	0.1039	0.2084
COIN-E	0	0.0495	0.1024	0.2212	0.2826	0.2410	0.3759	0.2705	0.1442	0.2535	0.3165	0.2737
BBO	0	0.0973	0.1430	0.5410	0.3218	0.3979	0.3759	0.3679	0.1388	0.4377	0.3719	0.5609
NSGA-II	0	0.0712	0.1842	0.3739	0.3155	0.6153	0.4388	0.2661	0.1714	0.1738	0.3187	0.2430
DPSO	n/a*	n/a*	0.5186	n/a*	n/a*	0.7869	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	0.9290	n/a*
Spread												
COIN-E-LS	n/a**	0.4513	0.5515	0.5555	0.6667	0.5548	0.6667	0.5043	0.5639	0.5831	0.6848	0.6363
COIN-E	n/a**	0.4483	0.6375	0.6667	0.7083	0.6238	0.6667	0.6873	0.8467	0.6881	0.6906	0.6667
BBO	n/a**	0.5502	0.5916	0.6203	0.7656	0.5422	0.6308	0.5050	0.6383	0.6667	0.6607	0.6667
NSGA-II	n/a**	0.5688	0.6236	0.6667	0.6667	0.6667	0.5749	0.5035	0.7298	0.7846	0.6315	0.5005
DPSO	n/a*	n/a*	n/a**	n/a*	n/a*	n/a**	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	0.6667	n/a*
RNDS1												
COIN-E-LS	1	1	1	1	1	0.6667	1	1	0.6667	1	0.6667	1
COIN-E	1	0.6	0.75	1	0.3333	0	0.5	0.3333	0.3333	1	0.3333	0.5
BBO	1	0.4	0.6667	0	0	0.6667	0.3333	0	0.25	0	0	0
NSGA-II	1	0.4	1	0.5	0.5	0	0.3333	0.3333	0.25	1	1	0.5
DPSO	n/a*	n/a*	0	n/a*	n/a*	0	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	0	n/a*
RNDS2												
COIN-E-LS	1	1	1	0.75	0.6667	0.5	1	1	0.5	0.8	0.5714	0.6667
COIN-E	1	0.6	0.6	0.5	0.3333	0	0.5	0.3333	0.25	0.4	0.1429	0.1667
BBO	1	0.4	0.4	0	0	0.5	0.5	0	0.25	0	0	0
NSGA-II	1	0.4	0.6	0.25	0.333	0	0.5	0.3333	0.25	0.3	0.4286	0.3333
DPSO	n/a*	n/a*	0	n/a*	n/a*	0	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	0	n/a*
NNDS												
COIN-E-LS	1	5	5	3	2	3	2	3	3	8	6	4
COIN-E	1	5	4	2	3	3	2	3	3	4	3	2
BBO	1	5	3	4	3	3	3	5	4	2	4	2
NSGA-II	1	5	3	2	2	2	3	3	4	3	3	4
DPSO	n/a*	n/a*	1	n/a*	n/a*	1	n/a*	n/a*	n/a*	n/a*	1	n/a*
CPU Time												
COIN-E-LS	60.824	60.60	56.260	73.661	70.465	66.736	200.444	198.291	200.397	348.549	337.849	331.344
COIN-E	50.824	50.60	40.260	50.898	47.37	41.752	145.17	149.798	150.397	172.394	177.714	159.446
BBO	48.80	57.96	46.937	54.896	51.589	48.859	150.774	187.933	182.379	190.523	198.52	179.681
NSGA-II	53.420	53.383	48.594	65.551	56.160	53.508	182.551	155.173	155.766	189.103	181.631	174.127
DPSO	64.110	61.27	76.237	77.469	70.480	65.504	173.456	167.435	179.587	221.535	220.381	214.937

n/a*: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 และ 2 ต่ำกว่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง

n/a**: ไม่สามารถประเมินได้ เนื่องจากคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึมนั้นหามาได้มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพียงคำตอบเดียวจึงไม่สามารถหาค่ากระจายตัวได้

บทที่ 8

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

8.1 บทสรุปงานวิจัย

สายการประกอบ (Line Balancing) เป็นระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนประเภทหนึ่งที่เคยมีไว้สำหรับผลิตสินค้ารุ่นเดียวกันในปริมาณมาก แต่ด้วยเทคโนโลยีการผลิตในระยะต่อมาได้ทำให้สายการประกอบสามารถรองรับการผลิตสินค้าหลายรุ่นในปริมาณที่ไม่มากได้ด้วยเช่นกัน การจัดสรรชิ้นงานทั้งหมดในการประกอบสินค้าให้กับสถานีงานต่าง ๆ โดยที่ไม่ละเมิดข้อจำกัดต่าง ๆ เช่น ลำดับก่อนหลังของชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต เป็นต้น ซึ่งเรียกว่า การจัดสมดุลสายการประกอบ (Line-Balancing) โดยสายการประกอบเส้นตรงจำนวนหนึ่งที่ประกอบไปด้วยพนักงานมากกว่า 1 คน ปฏิบัติงานในช่วงเวลาเดียวกันบนผลิตภัณฑ์เดียวกัน แต่พนักงานแต่ละคนจะปฏิบัติชิ้นงานที่แตกต่างกันออกไป และพนักงานแต่ละคนจะไม่มีภารกิจการทำงานของตนและกันบนสายการประกอบนั้น ๆ และจะเรียกสายการประกอบนี้ว่า “สายการประกอบแบบหลายคนงาน” (Multi-Manned-Assembly Lines)

งานวิจัยนี้นำเสนอปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานที่สายการประกอบแต่ละเส้นภายในเป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่สามารถรองรับการผลิตสินค้าได้หลายรุ่นสลับไปมาได้ทันทีโดยไม่ต้องปรับตั้งเครื่องจักรซึ่งสามารถใช้รองรับการผลิตตามแนวคิดการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-in-time Production) โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลมีจำนวนทั้งสิ้น 4 วัตถุประสงค์ แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามระดับความสำคัญได้แก่

วัตถุประสงค์ระดับที่ 1 : ทำให้จำนวนพนักงานน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ระดับที่ 2 : ทำให้จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด

วัตถุประสงค์ระดับที่ 3 : ประกอบไปด้วย 2 วัตถุประสงค์ย่อยที่จะทำให้เหมาะสมที่สุดไปพร้อม ๆ กันได้แก่ (1) ทำให้ภาระงานระหว่างสถานีงานมีความสมดุลกันมากที่สุด และ (2) ทำให้งานในสถานีงานมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

โดยในการจัดสมดุลจะให้ค่าความสำคัญในวัตถุประสงค์ระดับที่ 1 เป็นอันดับแรก ส่วนวัตถุประสงค์ระดับที่ 2 เป็นอันดับที่สอง และค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 และ 4 จะทำให้มีค่าที่เหมาะสมที่สุดไปพร้อม ๆ กัน กล่าวได้ว่า การจัดสมดุลการผลิตนี้จะเป็นการลดต้นทุนการผลิตจากการจ้างพนักงานในการปฏิบัติงานเป็นอันดับแรก อันดับต่อมาจำนวนสถานีงานต้องน้อยที่สุด และ สุดท้ายคือการทำให้

กระบวนการทำงานของพนักงานมีความสมดุล คือ การทำให้ภาระงานระหว่างสถานีงานมีความสมดุลกันมากที่สุด และการทำให้งานในสถานีงานมีความสัมพันธ์กันมากที่สุด

เนื่องจากปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานผลิตภัณฑ์ผสมเป็นปัญหาเอ็นพีแบบยาก จึงต้องอาศัยฮิวริสติกมาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีในระดับที่ยอมรับได้โดยใช้เวลาไม่นานมากนัก งานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยอัลกอริทึมนี้มีแนวคิดหลักจากอัลกอริทึม COIN คือการศึกษาหาแนวทางของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (No Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันเพื่อนำมากำหนดทิศทางการหาค่าตอบสุดท้าย โดยทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นขึ้นมาแล้วทำการสุ่มเลือกเพื่อมาสร้างประชากรเริ่มต้น โดยจะมีการปรับปรุงความน่าจะเป็นตลอดเวลาในกระบวนการแต่ละรอบ โดยปรับปรุงคำตอบทั้งดีและไม่คำตอบไม่ดี ซึ่งเมื่อได้คำตอบที่ดีจะให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกเพิ่มขึ้น เพื่อจะได้นำไปใช้ในการสุ่มเพิ่มขึ้นในรอบถัดไป แต่ถ้าคำตอบที่ไม่ดีจะทำให้ค่าความน่าจะเป็นในการเลือกลดลง เพื่อจะได้นำไปใช้ในการสุ่มน้อยลงในรอบถัดไป โดยจากวิธีการ COIN นั้นจะใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการเลือกเดินเพื่อนำสู่คำตอบที่เหมาะสม แต่วิธีการบรรจบแบบขยาย จะมีตารางความน่าจะเป็นร่วมเพิ่มขึ้นมาอีกสองตาราง ซึ่งได้มาจากการหาคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ระดับที่สามเพื่อมาทำการสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยทำการนำคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีมาทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าน้อยสุดในรอบนั้นจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แต่ถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่ามากสุดในรอบนั้นจะทำการลดค่าความน่าจะเป็นลงและยังเพิ่มความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีด้วยการประยุกต์ใช้การค้นหาเฉพาะที่หรือ COIN-E-LS เพื่อที่จะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้ก็จะมีกระจายตัวของคำตอบมากกว่าวิธีการแบบ COIN เดิม

เพื่อเป็นการชี้วัดสมรรถนะของ COIN-E-LS ในการแก้ปัญหการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานผลิตภัณฑ์ผสม งานวิจัยนี้ได้นำ COIN-E-LS ไปใช้ในการแก้ปัญหาตัวอย่างจำนวนทั้งสิ้น 12 ปัญหา ซึ่งเป็นปัญหาที่มีจำนวนชิ้นงานครอบคลุมอยู่ในช่วง 25 ถึง 148 ชิ้นงาน พร้อมเปรียบเทียบสมรรถนะร่วมกับอัลกอริทึมอื่น ๆ ที่เป็นที่ยอมรับใช้ในการแก้ปัญหาลักษณะนี้จำนวนทั้งสิ้น 3 อัลกอริทึม ได้แก่ การหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบการกระจายตัวของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography-based Optimization: BBO) อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II: NSGA-II) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO) ทั้งนี้ ปัญหาการจัดสมดุลที่นำเสนอเป็นปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์ ในการเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างอัลกอริทึมต่าง ๆ ข้างต้นจะอาศัยตัวชี้วัดที่อยู่ภายใต้หลักการการจัดอันดับเชิงพา

เรโตนจำนวนทั้งสิ้น 3 ตัวได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Convergence to Pareto-optimal Set) การกระจายตัว (Spread) และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-dominated Solutions) พร้อมทั้งมีการพิจารณาในด้านของเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบด้วยคอมพิวเตอร์ (Computational Time) ควบคู่ไปด้วย

ผลการทดลองแก้ปัญหาตัวอย่างพบว่า COIN-E-LS นั้นมีสมรรถนะการแก้ปัญหาที่ดีกว่า BBO NSGA-II และ DPSO อย่างชัดเจนในทุกขนาดปัญหา ทั้งในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต การกระจายตัว และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ ในขณะที่ BBO NSGA-II และ DPSO นั้นมีสมรรถนะที่ไม่ดีและแย่งเมื่อปัญหามีขนาดที่ใหญ่ขึ้น เมื่อเทียบกับ COIN-E-LS ด้วยเหตุนี้จึงสามารถสรุปได้ว่า COIN-E-LS มีความเหมาะสมแก่การนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนงาน

8.2 ข้อเสนอแนะ

1. งานวิจัยในอนาคตอาจกำหนดปัจจัยในทางปฏิบัติเข้าเพิ่มเติมในจัดสมดุลด้วย เช่น เวลาที่ใช้ในการเดินของพนักงานระหว่างสถานีงาน ผลกระทบจากการเรียนรู้ของพนักงาน เป็นต้น
2. ศึกษาการเพิ่มเติมสมรรถนะให้กับอัลกอริทึม COIN-E ให้สูงยิ่งขึ้นไปอีกด้วยกระบวนการเสริมอื่น ๆ เพื่อเพิ่มค่าสมรรถนะการกระจายตัว ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนผลิตภัณฑ์ผสม
3. นอกจากวัตถุประสงค์ต่างๆ ที่ใช้ในการจัดสมดุลในงานวิจัยนี้แล้ว อาจมีวัตถุประสงค์ที่สำคัญอื่น ๆ ที่เหมาะแก่การศึกษาเพิ่มเติมในอนาคต
4. จากผลการจัดสมดุลสายการประกอบแบบหลายคนงานผลิตภัณฑ์ผสมที่ได้ สามารถนำไปวิจัยต่อยอดในด้านของปัญหาการจัดลำดับการผลิต (Sequencing Problem) เพื่อให้ทราบลำดับการผลิตสินค้าที่ทำให้สายการประกอบมีการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพสูงสุด

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

- พนัรวิ ทรัพย์อุดม. การจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านในโรงงานประกอบรถยนต์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2552.
- สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย. การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ. 24 (2557) : 87-102.
- ปาลิตา นิคมคล้าย. การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีหลายวัตถุประสงค์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.
- นพพล คำภิรมย์. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวอยู่ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- วันวิสา นฤมิตวงศ์. การจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านภายใต้ผลกระทบจากการเรียนรู้. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

ภาษาอังกฤษ

- Scholl, A. Balancing and sequencing of assembly lines. International Journal of Physical-Verlag (1995).
- Becker, C. and Scholl, A. A survey on problems and methods in generalized assembly line balancing. European Journal of Operational Research 168 (2006) : 694-715.

- Süer, G. A. and Dagli, C. H. A knowledge-based system for selection of resource allocation rules and algorithms. Handbook of Expert System Applications in Manufacturing, USA (1994) : 108-129.
- Miltenburg, J. and Wijngaard, J. The U-line balancing problem. Management Science 40 (1994) : 1378-1388.
- McMullen, P. R. and Frazier, G. V. Using simulated annealing to solve a multiobjective assembly line balancing problem with parallel workstations. International Journal of Production Research 36 (1998) : 2717-2741.
- Roshani, A., Roshani, A., Roshani, A., Salehi, M. and Esfandyari, A. A simulated annealing algorithm for multi-manned assembly line balancing problem. Journal of Manufacturing Systems 32 (2013) : 238-247.
- Bukchin, J., Dar-El, E. M. and Rubinovitz, J. Mixed model assembly line design in a make-to-order environment. Computers & Industrial Engineering 41 (2002) : 405-421.
- Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. A classification of assembly line balancing problems. European Journal of Operational Research 183 (2007) : 674-693.
- Capacho, L. and Pastor, R. ASALBP: the alternative subgraphs assembly line balancing problem. International Journal of Production Research. 46 (2008) : 3503-3516.
- Baykasoglu, A. and Dereli, T. Two-sided assembly line balancing using an ant-colony-based heuristic. Int J Adv Manuf Technol 36 (2008) : 582-588.
- Özcan, U., Çerçioğlu, H., Gökçen, H. and Tokly, B. A Tabu search algorithm for the parallel assembly line balancing problem. GU Journal of Science 22 (2009) : 313-323.
- Kelleg, T. and Toklu, B. An efficient branch and bound algorithm for assembly line balancing problems with parallel multi-manned workstations. Comput Oper Res 39 (2012) : 3344-3360.
- Kim, Y. K., Kim, Y. and Kim, Y. J. Two-sided assembly line balancing : a genetic algorithm approach. Production Planning and Control 11 (2000) : 44-53.
- Boysen, N., Fliedner, M. and Scholl, A. Assembly line balancing : Which model to use when. International Journal of Production Economics 111 (2008) : 509-528.

- Fattahi, P., Roshani, A. and Roshani, A. A mathematical model and ant colony algorithm for multi-manned assembly line balancing problem. Int J Adv Manuf Technol 53 (2011) : 363-378.
- Konak, et. al. Genetic algorithm and neural network tech for predicting wind power. 4th IEEE Conference on Prognostics and System Health Management 33 (2006) : 925-930.
- Fonseca, C. and Fleming, P. Genetic Algorithms for Multiobjective Optimization: Formulation, Discussion and Generalization. Proceedings of the Fifth International Conference, San Mateo, CA : Morgan-Kaufmann (1993).
- Simon, D. Biogeography-Based Optimization. Evolutionary Computation, IEEE Transactions on 12 (2008) : 702-13.
- Liao, C. J., Tseng, C. T. and Luarn, P. A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems. Comput Oper Res 34 (2007) : 3099-3111.
- Tiacci, L. Coupling a genetic algorithm approach and a discrete event simulator to design mixed-model un-paced assembly lines with parallel workstations and stochastic task times. International Journal of Production Economics. 159 (2015) : 319-333.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

ข้อมูลพื้นฐานของปัญหาที่ใช้ในการทดลองอัลกอริทึม

ปัญหาการจัดสมดุสยการประกอบแบบหลายคนผลิตภัณฑ์ผสมที่นำมาใช้ในการทดลองอัลกอริทึมมีข้อมูลพื้นฐานดังตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลพื้นฐานของปัญหาที่ใช้ในการทดลองอัลกอริทึม

ปัญหา	ที่มาของ CPD	จำนวนชิ้นงาน	รุ่นผลิตภัณฑ์	รอบเวลาการผลิต	ลำดับก่อนหลังของชิ้นงาน	เวลาชิ้นงาน
1	Roszieg	25	2	15, 18, 22	ตารางที่ ก.2	ตารางที่ ก.3
2	Gunther	35	2	50, 60, 70	ตารางที่ ก.4	ตารางที่ ก.5
3	WeeMag	75	2	30, 36, 42	ตารางที่ ก.6	ตารางที่ ก.7
4	Barthold	148	2	500, 600, 700	ตารางที่ ก.8	ตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.2 ลำดับก่อนหลังของชิ้นงานในปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน

ปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน	
ชิ้นงานก่อนหน้า	ชิ้นงานตามหลัง
1	3
2	3
3	4
4	5
4	8
5	6
6	7
6	10
7	11
7	12

ตาราง ก.2 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
8	9
8	11
9	13
9	10
11	13
12	15
13	14
14	16
14	19
14	20
15	17
15	22
16	18
17	18
17	23
18	25
19	22
20	21
20	25
21	22
21	24
23	25

ตารางที่ ก.3 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
1	4	4	4	F
2	3	3	3	E
3	9	9	9	F
4	6	4	4.67	E
5	7	11	9.67	E
6	4	4	4	E
7	10	6	7.33	E
8	7	7	7	E
9	5	5	5	B
10	1	1	1	R
11	2	4	3.33	E
12	1	1	1	R
13	7	3	4.33	E
14	3	3	3	F
15	6	4	4.67	E
16	3	3	3	B
17	11	15	13.67	E
18	6	4	4.67	E
19	2	2	2	R
20	2	4	3.33	E
21	5	9	7.67	E
22	6	4	4.67	F
23	4	2	2.67	B
24	12	4	6.67	B
25	4	4	4	E

ตารางที่ ก.4 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน

ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
1	2
1	5
1	7
1	10
1	12
2	3
3	4
4	11
5	6
6	7
6	8
7	14
7	18
8	9
9	13
10	14
11	28
11	33
12	18
13	28
13	33
14	15
15	16
16	21
17	20
18	19
19	20

ตาราง ก.4 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
20	21
21	22
21	25
21	30
21	32
22	23
23	24
24	27
25	26
26	27
27	28
27	33
27	34
28	29
30	31
31	32
32	33
33	35

ตารางที่ ก.5 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
1	29	29	29	R
2	3	3	3	B
3	5	5	5	E
4	20	24	22.67	R
5	10	2	4.67	L
6	10	18	15.33	F
7	2	2	2	E
8	9	1	3.67	L
9	20	24	22.67	E
10	35	25	28.33	E
11	23	23	23	E
12	35	25	28.33	E
13	20	26	24	R
14	4	0	4	E
15	18	20	19.33	R
16	28	30	29.33	E
17	0	4	4	E
18	0	4	4	F
19	17	21	19.67	F
20	17	21	19.67	F
21	10	2	4.67	E
22	10	10	10	R
23	20	12	14.67	L
24	20	26	24	B
25	10	0	10	R
26	4	6	5.33	L
27	4	6	5.33	E

ตาราง ก.5 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 35 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
28	40	40	40	E
29	4	0	4	B
30	3	7	5.67	L
31	3	7	5.67	E
32	1	1	1	B
33	38	42	40.67	F
34	2	2	2	E
35	2	2	2	B

ตารางที่ ก.6 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน

ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
1	2
1	3
1	4
1	5
1	6
1	7
2	15
3	13
3	24
4	8
4	14
4	16
5	12
5	15
6	9

ตาราง ก.6 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
6	10
6	11
6	13
9	20
9	24
10	18
12	19
13	22
15	17
15	20
15	23
16	21
16	26
17	30
18	26
18	30
20	27
21	33
24	25
25	28
25	30
25	33
25	34
26	31
26	32
26	41
27	29

ตาราง ก.6 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
27	35
27	36
31	37
31	39
32	44
32	45
33	41
35	38
35	42
36	40
36	43
39	51
40	46
42	47
43	48
43	50
46	51
46	48
47	49
47	50
47	52
47	53
49	59
49	61
49	62
50	54
50	55

ตาราง ก.6 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
50	60
50	62
52	56
52	57
53	58
55	63
58	65
59	64
59	66
62	67
66	68
68	69
68	70
68	71
68	72
68	73
68	74
68	75

ตารางที่ ก.7 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
1	23	23	23	E
2	24	24	24	F
3	25	25	25	R
4	25	27	26.33	E
5	26	20	22	E
6	21	23	22.33	E
7	2	10	7.33	F
8	25	19	21	E
9	25	21	22.33	L
10	20	22	21.33	E
11	20	24	22.67	R
12	20	10	13.33	E
13	5	5	5	R
14	25	21	22.33	E
15	0	8	8	E
16	29	23	25	L
17	25	17	19.67	E
18	5	5	5	L
19	26	22	23.33	F
20	26	24	24.67	B
21	26	26	26	E
22	27	25	25.67	R
23	22	26	24.67	L
24	30	24	26	R
25	15	25	21.67	F
26	20	26	24	B
27	22	28	26	E

ตาราง ก.7 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
28	10	16	14	B
29	3	3	3	B
30	11	11	11	F
31	22	20	20.67	F
32	22	22	22	R
33	22	20	20.67	E
34	18	26	23.33	L
35	27	23	24.33	F
36	10	6	7.33	E
37	22	22	22	E
38	25	23	23.67	E
39	20	24	22.67	E
40	25	16	19	E
41	0	12	12	R
42	26	26	26	B
43	26	18	20.67	E
44	7	5	5.67	B
45	21	21	21	E
46	26	24	24.67	F
47	12	10	10.67	E
48	24	20	21.33	L
49	20	22	21.33	R
50	25	25	25	L
51	24	20	21.33	B
52	24	20	21.33	B
53	20	26	24	E
54	20	24	22.67	R

ตาราง ก.7 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 75 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
55	20	24	22.67	E
56	24	26	25.33	B
57	23	23	23	R
58	22	20	20.67	F
59	22	22	22	E
60	22	22	22	L
61	22	22	22	L
62	22	22	22	E
63	21	21	21	E
64	30	24	26	F
65	21	25	23.67	F
66	4	0	4	E
67	25	27	26.33	E
68	25	25	25	E
69	20	28	25.33	F
70	24	20	21.33	R
71	24	24	24	E
72	4	4	4	L
73	22	22	22	L
74	12	8	9.33	B
75	25	25	25	B

ตารางที่ ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
1	2
1	5
1	7
1	10
1	12
2	3
3	4
4	11
5	6
6	7
6	8
7	14
7	18
8	9
9	13
10	14
11	28
11	33
12	18
13	28
13	33
14	15
15	16
16	21
17	20
18	19
19	20

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
20	21
21	22
21	25
21	30
21	32
22	23
23	24
24	27
25	26
26	27
27	28
27	33
27	34
28	29
30	31
31	32
32	33
33	35
34	36
35	36
36	37
37	38
37	45
38	39
39	40
40	41
40	48

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
40	54
42	43
43	44
45	46
46	47
47	48
47	49
47	54
50	51
51	53
51	69
52	53
54	55
54	72
54	76
54	89
54	90
55	133
56	73
57	82
58	86
58	88
59	75
59	89
61	62
62	63
63	67

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
64	65
64	71
64	72
65	66
65	99
66	67
67	68
68	95
68	98
69	79
70	71
72	134
73	86
73	88
73	89
73	90
73	96
74	75
75	90
75	97
76	77
77	78
78	82
79	85
79	80
79	143
79	146

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
80	81
81	82
82	83
83	84
84	106
86	87
90	111
91	105
92	135
95	101
96	104
98	101
99	100
100	101
101	102
101	103
102	127
103	127
105	119
106	107
107	108
108	109
109	110
111	112
112	113
113	114
113	116

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
113	120
113	123
113	128
114	115
115	125
116	117
117	118
118	126
120	121
121	122
122	126
123	124
124	125
128	129
129	130
130	131
130	137
132	135
133	135
134	135
135	136
138	139
139	140
141	142
142	143
142	146
142	147

ตาราง ก.8 ลำดับก่อนหลังของชั้นงานในปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน	
ชั้นงานก่อนหน้า	ชั้นงานตามหลัง
142	148
144	145
145	147
145	148

ตารางที่ ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
1	16	16	16	E
2	30	30	30	E
3	5	9	7.67	E
4	45	49	47.67	E
5	25	33	30.33	B
6	8	8	8	R
7	38	40	39.33	R
8	35	39	37.67	E
9	30	34	32.67	L
10	26	32	30	E
11	15	19	17.67	E
12	11	11	11	E
13	34	30	31.33	R
14	15	15	15	E
15	50	56	54	R
16	50	56	54	L
17	10	6	7.33	E
18	22	26	24.67	B
19	22	26	24.67	E

ตาราง ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
20	8	8	8	R
21	7	7	7	F
22	10	6	7.33	E
23	15	13	13.67	E
24	15	11	12.33	E
25	10	10	10	F
26	30	20	23.33	R
27	10	12	11.33	R
28	24	26	25.33	E
29	0	22	22	E
30	29	29	29	R
31	30	20	23.33	E
32	20	0	20	E
33	14	14	14	L
34	41	41	41	L
35	42	42	42	E
36	47	47	47	B
37	7	7	7	B
38	80	80	80	R
39	5	9	7.67	E
40	40	42	41.33	E
41	45	49	47.67	E
42	10	22	18	B
43	32	32	32	E
44	60	72	68	B
45	82	78	79.33	E
46	7	7	7	F

ตาราง ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
47	40	42	41.33	E
48	10	16	14	F
49	50	44	46	F
50	30	36	34	L
51	36	32	33.33	E
52	11	11	11	E
53	118	118	118	E
54	20	30	26.67	L
55	0	14	14	E
56	26	30	28.67	E
57	0	24	24	L
58	52	52	52	F
59	28	0	28	E
60	3	3	3	L
61	3	3	3	E
62	16	0	16	E
63	16	16	16	F
64	30	36	34	E
65	6	10	8.67	E
66	20	16	17.33	E
67	10	10	10	L
68	10	18	15.33	E
69	30	26	27.33	B
70	11	11	11	E
71	116	120	118.67	R
72	20	30	26.67	B
73	40	40	40	R

ตาราง ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
74	40	40	40	E
75	96	106	102.67	E
76	10	0	10	E
77	32	24	26.67	L
78	10	6	7.33	E
79	281	281	281	E
80	14	0	14	F
81	22	30	27.33	B
82	10	10	10	E
83	16	26	22.67	L
84	30	22	24.67	E
85	20	20	20	R
86	20	22	21.33	E
87	42	52	48.67	E
88	20	26	24	E
89	10	16	14	L
90	19	19	19	E
91	99	131	120.33	E
92	40	30	33.33	E
93	26	26	26	F
94	45	47	46.33	R
95	10	30	23.33	E
96	31	31	31	F
97	19	19	19	F
98	30	38	35.33	E
99	45	57	53	E
100	39	39	39	E

ตาราง ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
101	40	20	26.67	E
102	21	31	27.67	L
103	13	13	13	E
104	40	50	46.67	E
105	60	56	57.33	E
106	25	31	29	E
107	8	8	8	E
108	383	383	383	F
109	45	35	38.33	E
110	35	33	33.67	E
111	20	26	24	E
112	150	174	166	E
113	11	11	11	B
114	10	28	22	E
115	10	18	15.33	B
116	31	31	31	R
117	30	34	32.67	E
118	30	22	24.67	B
119	65	45	51.67	E
120	31	31	31	E
121	30	34	32.67	E
122	30	22	24.67	F
123	19	19	19	E
124	7	21	16.33	B
125	19	19	19	E
126	40	56	50.67	E
127	60	50	53.33	E

ตาราง ก.9 เวลาชั้นงานของปัญหาขนาด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาชั้นงาน (สินค้า 2 รุ่น อัตราส่วนการผลิต 1:2)			ด้าน
	รุ่นที่ 1	รุ่นที่ 2	เวลาชั้นงานรวม	
128	16	0	16	E
129	11	11	11	B
130	27	27	27	E
131	16	20	18.67	B
132	32	40	37.33	L
133	25	21	22.33	E
134	20	20	20	E
135	50	42	44.67	E
136	64	64	64	E
137	20	24	22.67	E
138	10	20	16.67	F
139	39	29	32.33	E
140	24	20	21.33	E
141	121	181	161	R
142	150	146	147.33	E
143	71	57	61.67	F
144	170	170	170	E
145	150	124	132.67	E
146	60	68	65.33	E
147	78	78	78	E
148	78	78	78	L

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะ

งานวิจัยฉบับนี้นำเสนอตัวชี้วัดสมรรถนะทั้งสิ้น 5 ตัว ได้แก่ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) อัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of non-dominated solutions : Pareto-optimum comparison) อัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่ดีในตัวเอง (Ratio of non-dominated solutions : self-comparison) และจำนวนคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-Dominated Solution) โดยตัววัดสมรรถนะนั้นมีเป้าหมายสำคัญ คือ กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal) ต้องมีค่าใกล้เคียงกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal) หรือกลุ่มคำตอบที่ได้ควรมีลักษณะการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ โดยในที่นี้จะเสนอวิธีการคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 5 ตัว โดยมีกลุ่มคำตอบที่และกลุ่มคำตอบที่แท้จริงดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 ตัวอย่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงและกลุ่มคำตอบที่ได้

กลุ่มคำตอบ	$f_1(x)$	$f_2(x)$
กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง (True Pareto Optimal)	10.8429	0.018
	10.8472	0.0177
	10.8406	0.0238
	10.8514	0.0138
	10.8333	0.0443
	10.8358	0.0355
กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal)	10.8429	0.018
	10.8472	0.0177
	10.8406	0.0238
	10.8514	0.0138

1. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal Solution) กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหรือกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Solution) โดยมีการสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{Convergence} = \frac{1}{|S^*|} \sum_{y \in S^*} \min\{d_{xy} \mid x \in S_j\} \quad (\text{ข.1})$$

กำหนดให้
$$d_{xy} = \sqrt{\sum_{i=1}^k \left(\frac{f_i(x) - f_i(y)}{f_i^{\max} - f_i^{\min}} \right)^2}$$

S_j คือ เซตคำตอบในการเปรียบเทียบ

S^* คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$|S^*|$ คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

d_{xy} คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับ y คำตอบที่แท้จริง

f_i^{\max} & f_i^{\min} คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ที่มีค่ามากที่สุดและค่าน้อยที่สุด

$f_i(x)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่หาได้

$f_i(y)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่แท้จริง

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง นั่นคือ อัลกอริทึมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่ดีและเหมาะสมกว่า โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. จากตารางที่ ข.1 ทำการหาค่าน้อยที่สุดและมากที่สุดของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 และฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ของการรวมกันระหว่างกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงและกลุ่มคำตอบที่ได้ ซึ่งจากตัวอย่างจะได้ $f_1^{\max} = 10.8514$, $f_1^{\min} = 10.8333$, $f_2^{\max} = 0.0443$ และ $f_2^{\min} = 0.0138$ จากนั้นคำนวณหาระยะทางแต่ละคำตอบ โดยใช้สมการที่ ข.1
2. หาระยะทางการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ได้ที่มีค่าน้อยที่สุดของแต่ละคำตอบเพื่อทำการรวมระยะทาง และหาค่าเฉลี่ยโดยการหารด้วยจำนวนสมาชิกกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง

ตารางที่ ข.2 ระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชัน
วัตถุประสงค์ที่ 1

True-Pareto	Obtained Pareto			
	10.8429	10.8472	10.8406	10.8514
10.8429	0.0000	0.0564	0.0161	0.2205
10.8472	0.0564	0.0000	0.1330	0.0538
10.8406	0.0161	0.1330	0.0000	0.3560
10.8514	0.2205	0.0538	0.3560	0.0000
10.8333	0.2813	0.5898	0.1627	1.0000
10.8358	0.1539	0.3967	0.0703	0.7428

จากตารางที่ ข.2 แสดงระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น คำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงเท่ากับ 10.8429 และคำตอบที่ได้เท่ากับ 10.8429 จะได้ระยะทางเท่ากับ $\left(\frac{10.8429-10.8429}{10.8514-10.8333}\right)^2 = \left(\frac{0}{0.0181}\right)^2 = 0$

ตารางที่ ข.3 ระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชัน
วัตถุประสงค์ที่ 2

True-Pareto	Obtained Pareto			
	0.018	0.0177	0.0238	0.0138
0.018	0.0000	0.0001	0.0362	0.0190
0.0177	0.0001	0.0000	0.0400	0.0164
0.0238	0.0362	0.0400	0.0000	0.1075
0.0138	0.0190	0.0164	0.1075	0.0000
0.0443	0.7436	0.7606	0.4518	1.0000
0.0355	0.3292	0.3406	0.1472	0.5062

จากตารางที่ ข.3 แสดงระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น คำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงเท่ากับ 0.018 และคำตอบที่ได้เท่ากับ 0.018 จะได้ระยะทางเท่ากับ $(\frac{0.018-0.018}{0.0443-0.0138})^2 = (\frac{0}{0.0305})^2 = 0$

ตารางที่ ข.4 ระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบจากการรวมกันของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

True-Pareto	Obtained Pareto				Minimum Distance
	1	2	3	4	
1	0.0000	0.2378	0.2287	0.4894	0.0000
2	0.2378	0.0000	0.4159	0.2649	0.0000
3	0.2287	0.4159	0.0000	0.6808	0.0000
4	0.4894	0.2649	0.6808	0.0000	0.0000
5	1.0124	1.1621	0.7839	1.4142	0.7839
6	0.6950	0.8587	0.4663	1.1176	0.4663
Average Minimum Distance					0.2084

จากตารางที่ ข.4 แสดงระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบจากการรวมกันของ 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยมีตัวอย่างการคำนวณเช่น ระยะทางระหว่างคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริงตัวที่ 1 กับคำตอบที่ได้ตัวที่ 1 มีค่าเท่ากับ $\sqrt{0.0564 + 0.0001} = \sqrt{0.0565} = 0.2378$ และจากการเปรียบเทียบระยะทางโดยหาระยะทางที่น้อยที่สุด และทำการหาค่าเฉลี่ยในการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง จะได้ค่าการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเท่ากับ 0.2084

2. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีสูตรการคำนวณดังนี้

$$\text{Spread} = \frac{d_f + d_l + \sum_{i=1}^{N-1} |d_i - \bar{d}|}{d_f + d_l + (N-1)\bar{d}} \quad (\text{ข.2})$$

กำหนดให้ d_f & d_l คือระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน

\bar{d} คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i

d_i คือ ระยะห่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N - 1$

N คือ จำนวนคำตอบที่หาได้

ถ้าตัวตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่หาได้นั้นมีการกระจายสม่ำเสมอ มีวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

1. คำนวณหาระยะทางคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน (d_i)
2. หาค่าเฉลี่ยระยะทางระหว่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน (\bar{d}) ที่อยู่ติดกันทั้งหมดซึ่งมีจำนวนคำตอบ $N - 1$ คำตอบ
3. คำนวณผลต่างระหว่าง d_i และ \bar{d} และหาผลรวมของผลต่างที่ได้ จากนั้นแทนค่าที่ได้ในสมการที่ ข.2 เพื่อคำนวณระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน ยกตัวอย่างดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.5 ระยะทางระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน

No.	Obtained Pareto		Normalized		Euclidean Distance (d_i)	
	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_1(x)$	$f_2(x)$		
1	10.8429	0.018	0.1585	0.0009	$d_1 = d_f$	0.3993
2	10.8472	0.0177	0.3735	0.3721	d_2	0.8635
3	10.8406	0.0238	1	1	$d_3 = d_l$	1.4142
4	10.8514	0.0138	\bar{d}			0.8923

จากตารางที่ ข.5 แสดงการหาระยะทางระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีตัวอย่างการคำนวณ เช่น การหาระยะทางระหว่างจุดที่ 1 และ 2 โดยที่ระยะทางของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 เท่ากับ $\left(\frac{10.8429-10.8472}{10.8514-10.8406}\right)^2 = 0.1585$ และระยะทางของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 เท่ากับ $\left(\frac{0.018-0.0177}{0.0238-0.0138}\right)^2 = 0.0009$ ดังนั้นระยะทางระหว่างคำตอบเท่ากับ $\sqrt{0.1585 + 0.0009} = 0.3993$

ตารางที่ ข.6 ผลต่างระยะทางของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันและค่าเฉลี่ยของระยะทาง

No.	d_i	$ d_i - \bar{d} $
1	0.3993	0.4930
2	0.8635	0.0289
3	1.4142	0.5219
4	$\sum_{i=1}^{N-1} d_i - \bar{d} $	1.0438

ดังนั้นค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเท่ากับ $\left(\frac{0.3993+1.4142+1.0438}{0.3993+1.4142+((4-1)(0.8923))}\right) = 0.6363$

3. การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด

3.1 Ratio of non-dominated solutions (self-comparison)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (First Pareto frontier solution) ที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Approximated True Pareto optimum) ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีในตัวเอง (Own first Pareto frontier solutions) โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$R_{NDS1} = \frac{|A_j - \{x \in A_j \mid \exists y \in A: y < x\}|}{|A_j|} \quad (\text{ข.3})$$

3.2 Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison)

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง โดยมีสมการการคำนวณดังนี้

$$R_{NDS2} = \frac{|A_j - \{x \in A_j \mid \exists y \in A: y < x\}|}{|A|} \quad (\text{ข.4})$$

กำหนดให้ A_j คือ กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่อัลกอริทึม j หามาได้ทั้งหมด เมื่อ $j = 1, 2, \dots, j$

A คือ เซตที่รวมเอาเซตคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหามาได้ของทุกอัลกอริทึมเข้าไว้ด้วยกัน

$$\text{ซึ่ง } A = A_1 \cup A_2 \dots \cup A_j$$

x คือ คำตอบที่หาได้

y คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$y < x$ คือ คำตอบ x เด่นกว่าคำตอบ y

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้นั้นมีคำตอบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง โดยมีวิธีการคำนวณดังนี้

1. สร้างเมตริกซ์ขนาด $A \times B$ โดยที่ A คือ จำนวนกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง และ B คือ จำนวนกลุ่มคำตอบที่ได้
2. เปรียบเทียบคำตอบที่หามาได้ กับคำตอบที่แท้จริง ด้วยหลักการ Pareto Dominance ดังนี้
 - a. คำตอบที่ได้เท่ากับจำนวนคำตอบที่แท้จริงทั้ง 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้ค่าเปรียบเทียบเท่ากับ 1
 - b. คำตอบที่ได้ไม่เท่ากับจำนวนคำตอบที่แท้จริงทั้ง 2 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ให้ค่าเปรียบเทียบเท่ากับ 0
3. หาผลรวมของแต่ละแถว เพื่อให้ทราบถึงจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด จากนั้นจึงแทนค่าในสมการที่ ข.3 และ ข.4 ตามลำดับ

ตารางที่ ข.7 การเปรียบเทียบจำนวนกลุ่มคำตอบที่ได้เทียบเท่ากับจำนวนกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

No.	True-Pareto		Obtained-Pareto				Value
			10.8429	10.8472	10.8406	10.8514	
			0.018	0.0177	0.0238	0.0138	
1	10.8429	0.018	1	0	0	0	1
2	10.8472	0.0177	0	1	0	0	1
3	10.8406	0.0238	0	0	1	0	1
4	10.8514	0.0138	0	0	0	1	1
5	10.8333	0.0443	0	0	0	0	0
6	10.8358	0.0355	0	0	0	0	0
Total Value							4

ดังนั้น จะได้ Ratio of non-dominated solutions (self-comparison) เท่ากับ $\frac{4}{4} = 1$ และ Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison) เท่ากับ $\frac{4}{6} = 0.6667$

4 การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านของจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ

จำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (The number of non-dominated solution) คือ จำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดของตัวเอง (First Pareto frontier obtained) เป็นการแสดงถึงสมรรถนะของอัลกอริทึมในการหาคำตอบที่ดี (กลุ่มคำตอบที่มีค่าความแข็งแรง เท่ากับ 1) ยกตัวอย่างดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ข.8 จำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ

กลุ่มคำตอบ	$f_1(x)$	$f_2(x)$
กลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal)	10.8429	0.018
	10.8472	0.0177
	10.8406	0.0238
	10.8514	0.0138
Total number of non-dominated solution	4	

จากตารางที่ ข.8 จะเห็นได้ว่ากลุ่มคำตอบที่ได้ หรือ กลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำมีจำนวนเท่ากับ 4



ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย กฤษณ์ ประเสริฐ เกิดเมื่อวันที่ 30 สิงหาคม พ.ศ. 2533 ที่จังหวัดสงขลา สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) จากภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร วิทยาเขตพระราชวังสนามจันทร์ ในปี พ.ศ. 2556 และหลังจากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

