การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

นายสถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2556
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ได้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
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 Graduate School.

MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINES

Mr. Sathaporn Olanviwatchai

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 2013

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน
โดย	นายสถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

……คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

……ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

……อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

……กรรมการ
(ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

……กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช)

สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย : การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน. (MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINES) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.ดร.ปารเมศ ชุติมา, 335 หน้า

การจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านมีความสำคัญอย่างยิ่งสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาสายการประกอบที่มีหลายผลิตภัณฑ์ให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งปัญหาชนิดนี้มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อน เนื่องจากเป็นปัญหาแบบ Non-deterministic Polynomial Hard: NP-Hard

โดยปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบผลิตภัณฑ์ผสมบนสายการประกอบแบบสองด้านนี้ ได้พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชันในงานวิจัยคือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด และนำเสนออัลกอริทึมการบรรจวบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ประยุกต์มาจาก COIN มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่ยอมรับในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต ได้แก่ NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN ผลจากการเปรียบเทียบพบว่า COIN-E มีประสิทธิภาพด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบ ด้านการกระจายกลุ่มคำตอบและด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเท่ากับ 91.28, 51.41 และ 52.13 ตามลำดับ ซึ่งจากตัวชี้วัดสมรรถนะของทั้ง 3 ชนิดจะพบว่า COIN-E มีประสิทธิภาพในการใช้การแก้ปัญหาได้ดีกว่า NSGAII, DPSO, BBO และ COIN

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

ปีการศึกษา 2556

5470402921: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORDS : EXPANDED COMBINATORIAL OPTIMIZATION WITH COINCIDENCE/ CAR-SEQUENCING ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINE

SATHAPORN OLANVIWATCHAI: MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINES. ADVISOR: ASSOC.PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 335 pp.

Car Sequencing on two-sided assembly line is an important problem in an automotive industry. Researchers and practitioners have attempted several approaches to solve this problem aiming at maximum production efficiency. The problem is considered as an “NP-Hard problem”.

In this paper, three objective functions are considered including (1) minimize utility work, (2) minimize the number of violation and (3) minimize the number of color changes. The expansion of Combinatorial Optimization with Coincidence (COIN-E) algorithm is developed from its original version (i.e. COIN). Several well-known algorithms are compared in solving this problem including Non-dominated Sorting Genetic Algorithms (NSGA-II), Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO), Biogeography-based Optimization (BBO) and (COIN). The experimental results indicate that COIN-E is efficient and it obtains the values of convergence = 91.28%, spread = 51.41% and ratio = 52.13%, which are significantly better than NSGA-II, DPSO, BBO and COIN..

Department: Industrial Engineering Student’s Signature:
Field of Study: Industrial Engineering Advisor’s Signature:
Academic Year: 2013

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้ได้ผลสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ด้วยคำชี้แนะและช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อเสนอแนะและรายละเอียดต่างๆเกี่ยวกับงานวิจัยเล่มนี้ตลอดจนให้ข้อคิดเห็นในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆด้วยความรักและเอาใจใส่ด้วยดีตลอดมาจนเสร็จสมบูรณ์ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ไว้ ณ โอกาสนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆ ทุกคนที่อยู่เคียงข้างและค่อยให้คำปรึกษารวมทั้งเป็นกำลังใจในการทำงานวิจัยครั้งนี้ตลอดระยะเวลาจนงานวิจัยประสบผลสำเร็จ

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญภาพ ..... ฑ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 4

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 4

1.4 ลักษณะของปัญหางานวิจัย 5

1.5 ขั้นตอนการวิจัย 6

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 6

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย 7

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 8

2.1 ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี 8

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดี 8

2.1.2 การผลิตแบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี 9

2.1.3 องค์ประกอบของการผลิตแบบทันเวลาพอดี 9

2.1.4 ผลกระทบจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี 10

2.1.5 ประโยชน์ที่เกิดจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี 11

2.2 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป 11

2.2.1 รูปแบบของสายการประกอบ 12

2.2.2 ลักษณะประเภทสายการประกอบ 14

หน้า

2.3 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ 15
2.3.1 การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ 15
2.3.2 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ 17
2.3.3 วัตถุประสงค์การจัดลำดับการผลิตรถยนต์ 18
2.3.4 ลำดับการผลิตที่เป็นไปได้ 29
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 30
2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบแบบสองด้าน 30
2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม 31
2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ 35

บทที่ 3 อัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัย 38
3.1 วิธีของเจนเนติกอัลกอริทึม 38
3.2 วิธีของการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง 41
3.3 วิธีของการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ 43
3.4 วิธีการบรรจวบและวิธีการบรรจวบแบบขยาย 46
3.5 สรุปท้ายบท 47

บทที่ 4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการบรรจวบ และการนำเอาวิธีการบรรจวบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 48
4.1 วิธีการบรรจวบ 48
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 48
4.3 ตัวอย่างการนำเอาวิธีการบรรจวบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 51

หน้า

4.4 ค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ 62
4.5 ผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN 62
4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ COIN 62
4.7 วิธีการบรรจวบแบบขยาย 63
4.7.1 การทดลองร้อยละการสุ่มประชากรที่เหมาะสมในแต่ละรอบ 64
4.7.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 71
4.7.3 ตัวอย่างการนำเอาวิธีการบรรจวบขยายไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 74
4.8 ค่าพารามิเตอร์ของวิธี COIN-E ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ 83
4.9 ผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-E 84
4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ COIN-E 84
4.11 สรุปท้ายบท 85

บทที่ 5 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละอัลกอริทึม 86
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลอง 86
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึม 94
5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดลองของแต่ละอัลกอริทึม 99
5.4 สรุปท้ายบท 136

บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 140
6.1 สรุปผลของงานวิจัย 140

หน้า

6.2 ข้อเสนอแนะ 144
รายการอ้างอิง 145

ภาคผนวก 151
ภาคผนวก ก รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 152
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหาที่ใช้ในการทดลอง 206
ภาคผนวก ค ผลการทดลองที่ได้รับจากโปรแกรม 334
ภาคผนวก ง ตัวอย่างการนำเอาวิธี NSGA-II ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 334
ภาคผนวก จ ตัวอย่างการนำเอาวิธี DPSO ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 334
ภาคผนวก ฉ ตัวอย่างการนำเอาวิธี BBO ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน 334
ภาคผนวก ช ตัวอย่างตัวชี้วัดสมรรถนะที่ใช้ในการเปรียบเทียบผล 334

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ 335

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทำวิจัย	5
2.1	จำนวนขั้นงานและเวลาดำเนินงานของแต่ละขั้นงานในรถยนต์ A, B และ C	21
2.2	ลำดับการผลิตที่ได้จากการจัดสมดุลสถานีงาน	22
2.3	เวลาดำเนินงานของแต่ละรถยนต์ที่ใช้ในแต่ละสถานีการทำงานและความยาวของสถานีการทำงาน	22
2.4	อัตราส่วนความต้องการตัวเลือกของรถยนต์	24
2.5	แสดงจำนวนการละเมิดของแต่ละตัวเลือก (Options)	25
2.6	แสดงจำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น	28
2.7	แสดงจำนวนการเปลี่ยนแปลงสีของลำดับการผลิตรถยนต์ A B C B C C	29
4.1	ตารางค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น	52
4.2	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์	53
4.3	ค่าความแข็งแรงที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ	54
4.4	ค่าของความหนาแน่นที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ	54
4.5	คำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี	55
4.6	ตารางค่าความน่าจะเป็นปรับปรุงจากคำตอบที่ดี	58
4.7	ตารางค่าความน่าจะเป็นปรับปรุงจากคำตอบที่ดีและไม่ดี	60
4.8	ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้า	61
4.9	ค่าฟังก์ชั่นที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน	61
4.10	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับวิธี COIN	63
4.11	ตารางค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น	76
4.12	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์	77
4.13	ค่าแต่ละฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรงที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ	77
4.14	ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นแบบ COIN	79
4.15	ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่1	80

ตารางที่ หน้า

4.16 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่ 2 81
4.17 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่ 3 82
4.18 ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดที่ได้ของรอบก่อนหน้า 82
4.19 ค่าฟังก์ชั่นที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน 83
4.20 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN-E 84
5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี NSGA-II 94
5.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี DPSO 95
5.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี BBO 96
5.4 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN 97
5.5 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN-E 98
5.6 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 1 100
5.7 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 1 102
5.8 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 1 103
5.9 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 1 104
5.10 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 1 105
5.11 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 1 107
5.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 1 108
5.13 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 1 109
5.14 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 1 110
5.15 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 1 112
5.16 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 1 113
5.17 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 2 114
5.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 2 116
5.19 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 2 117
5.20 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 2 118
5.21 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 2 119

ตารางที่ หน้า

5.22 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 2 121
5.23 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 2 122
5.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 2 123
5.25 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 2 124
5.26 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 2 126
5.27 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 2 127
5.28 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 128
5.29 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 129
5.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 129
5.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 130
5.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 131
5.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 132
5.34 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 132
5.35 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 133
5.36 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 134
5.37 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 135
5.38 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ 135
5.39 ผลการทดลองเฉลี่ยรวมทั้ง 2 รอบ 138
5.40 เปอร์เซ็นต์ผลการทดลองเฉลี่ยของทั้ง 2 รอบของแต่ละอัลกอริทึม 139

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
2.1	ทิศทางการไหลของชิ้นงาน	12
2.2	ลักษณะของสายการประกอบแบบสองด้าน	12
2.3	ขั้นงานของสายการประกอบแบบสองด้าน	13
2.4	สายการประกอบแบบสองด้านในอุตสาหกรรมยานยนต์	13
2.5	สายการประกอบแบบขนาน	13
2.6	สายการประกอบแบบตัวยู	14
2.7	สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด	14
2.8	สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว	14
2.9	สายการประกอบแบบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์	15
2.10	สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม	15
2.11	Pareto Optimal Solution	17
2.12	รูปแบบแผนกที่ใช้ในการผลิตรถยนต์	17
2.13	ตัวอย่างการไหลงานไปยังสถานีงาน และจำนวนปริมาณของงานที่ทำไม่เสร็จ (Utility Work)	19
2.14	สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่ได้จากการจัดสมดุลสถานีงานที่ Cycle time = 8	21
3.1	ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม	40
3.2	ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี DPSO	43
3.3	ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี BBO	46
4.1	ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี COIN	50
4.2	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.1	64
4.3	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.2	65
4.4	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.1	66
4.5	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.2	66
4.6	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.1	67
4.7	ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.2	68

ภาพที่ หน้า

4.8 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.1 68
4.9 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.2 69
4.10 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.1 70
4.11 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมการทดลองของปัญหา 5.2 70
4.12 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมการทดลองของปัญหา Set 6 71
4.13 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E 73
5.1 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.1 87
5.2 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.2 87
5.3 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.1 88
5.4 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.2 89
5.5 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.1 89
5.6 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.2 90
5.7 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.1 91
5.8 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.2 91
5.9 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.1 92
5.10 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.2 93
5.11 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา Set 6 93
5.12 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 1 100
5.13 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 1 101
5.14 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 1 103
5.15 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 1 104
5.16 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 1 105

ภาพที่		หน้า
5.17	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 1	106
5.18	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 1	108
5.19	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 1	109
5.20	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 1	110
5.21	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 1	111
5.22	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 1	113
5.23	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 2	114
5.24	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 2	115
5.25	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 2	117
5.26	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 2	118
5.27	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 2	119
5.28	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 2	120
5.29	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 2	122
5.30	การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 2	123

ภาพที่ หน้า
5.31 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 2 124
5.32 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 2 125
5.33 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 2 127

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

สภาพในยุคปัจจุบันนี้โรงงานอุตสาหกรรมมีการออกแบบสายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการประกอบพร้อมๆ กัน และมีความต่อเนื่องอยู่ตลอดเวลา (Akgunduz and Tunal, 2010) รวมไปถึงอุตสาหกรรมรถยนต์ที่มีความต้องการจำนวนของรถยนต์สำหรับการผลิตในแต่ละวันที่มีจำนวนแตกต่างกันขึ้นอยู่กับใบสั่งซื้อของลูกค้า โดยการประกอบรถยนต์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ส่วนของโครงรถยนต์ (Body) ส่วนของพ่นสี (Paint) และส่วนของการประกอบ (Assembly) ซึ่งรถยนต์แต่ละคันมีเอกลักษณ์เฉพาะของแต่ละตัวเลือก (Option) ที่แตกต่างกัน เช่น รถยนต์รุ่นเดียวกันแต่คันหนึ่งจะสามารถเปิด-ปิดหลังคารถยนต์ได้ แต่อีกคันไม่สามารถเปิด-ปิดหลังคารถยนต์ได้ ดังนั้นการติดตั้งชุดของตัวเลือกจะต้องออกแบบมาเพื่อจัดการไม่ให้จำนวนรถยนต์เกินจำนวนของแต่ละตัวเลือกในลำดับการผลิตย่อยของแต่ละครั้งการผลิต (Zinflou, 2008) ปัญหาในเรื่องการผลิตสำหรับหลายผลิตภัณฑ์บนสายการประกอบ ก็คือ การทำให้ลำดับการผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุด โดยขึ้นอยู่กับแต่ละโรงงานอุตสาหกรรมที่จะให้ความสำคัญในเรื่องใดเป็นพิเศษ เช่น ต้นทุน/เวลาการปรับตั้งเครื่องจักร อัตราการผันแปรของการผลิต ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จ (Akgunduz and Tunal, 2010) ในภาคปฏิบัติจริงในอุตสาหกรรมจะมีการพิจารณากันหลายวัตถุประสงค์ ซึ่งในแต่ละวัตถุประสงค์ที่พิจารณานั้นบ่อยครั้งที่วัตถุประสงค์ที่พิจารณาจะเกิดความขัดแย้งกันเองเกิดขึ้น (Hyun et al, 1998)

ปัญหาการจัดลำดับการผลิตจึงจัดเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากซับซ้อนและใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนาน จึงจำเป็นที่จะต้องนำฮิวริสติกเข้ามาช่วยให้การแก้ปัญหา เนื่องจากฮิวริสติกจะใช้เวลาการหาคำตอบที่ไม่ยาวนานและคำตอบที่ได้ก็เป็นคำตอบที่มีเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ โดยฮิวริสติกที่นิยมกันใช้และเป็นวิธีที่มีการยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาได้ เช่น วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs) เป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหาในการจัดลำดับการผลิตที่มีความซับซ้อน โดย GA จะเป็นอัลกอริทึม ที่มีแนวคิดมาจากการตัดต่อทางพันธุกรรมของมนุษย์ โดยอัลกอริทึมนี้ลดเวลาการค้นหาคำตอบ และให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ Simon (2008) ได้มีการนำเสนออัลกอริทึมใหม่ที่มีชื่อว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography Based Optimization: BBO) โดยใช้แนวคิดการย้ายถิ่นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีความต้องการที่จะอยู่อาศัยในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่

ถ้าพื้นที่ที่อยู่นั้นมีความหนาแน่น สิ่งมีชีวิตจะเริ่มทำการย้ายที่อยู่อาศัยไปสู่ที่อื่นที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่า และพัฒนาที่อยู่ใหม่ให้มีความอุดมสมบูรณ์ โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์นี้ได้มีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากปัญหาในภาคปฏิบัติ ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมหลายตัว

Solnon (2008) ได้นำเสนอการจัดการแข่งขันปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์เมื่อปี 2005 โดยใช้ข้อมูลจริงจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ (RENAULT) ในประเทศฝรั่งเศส ในการแข่งขันนั้นมีผู้เข้าร่วมการแข่งขันจะเสนอวิธีการต่างๆในการแก้ปัญหาโดยได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ 3 วัตถุประสงค์คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยผู้ชนะได้เลือกเอาวิธีการ Local Search มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยผลที่ได้จากการแข่งขันนี้ได้นำไปสู่งานวิจัยต่อๆไปในการใช้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการแข่งขันนี้ Knausz (2008) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำวิธีการ Parallel Multi Neighbourhood-Order Variable Neighbourhood Search (PMNOVNS) เปรียบเทียบกับ Parallel Efficiency Guided Variable Neighbourhood Search (PEGVNS) และ Time Restricted Randomised Variable Neighbourhood Search (TRRVNS) โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด ผลสรุปจากงานวิจัยนี้คือ วิธีการ PEGVNS มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบกับอีกสองวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย

Malte Fliedner และ Boysen (2008) ได้นำอัลกอริทึม Branch & Bound มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์เพื่อแก้ปัญหาภาระงานเกินในสถานีงาน โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนการละเมิดแบบใหม่จากเดิมที่ใช้การนับที่เรียกว่า Sliding Window ซึ่งการนับแบบนี้จะมีข้อเสียคือ เกิดการนับจำนวนการละเมิดที่ซ้ำเกิดขึ้นในแต่ละลำดับย่อยที่พิจารณา จึงทำให้ได้จำนวนการละเมิดที่มากเกินความเป็นจริง งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการนับจำนวนการละเมิดแบบใหม่ขึ้น โดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนความต้องการและถ้าได้มีการนับไปแล้วในลำดับย่อยก่อนหน้านี้จะไม่ถูกนับในลำดับย่อยที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งการนับนี้จะป้องกันการนับซ้ำ Zinflou (2009) ได้นำอัลกอริทึม PMS^{MO} (Pareto Memetic Strategy for multiple objective) มาเปรียบเทียบกับ NSGA-II มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการ

เปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าอัลกอริทึม PMS^{MO} เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธี NSGA-II Zinflou (2011) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม GISMOO มาเปรียบเทียบกับ NSGA-II กับ PMS^{MO} โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีการ GISMOO เป็นลูกผสมระหว่าง GA และระบบภูมิคุ้มกันเทียม มาใช้ในการแก้ปัญหา สรุปว่าอัลกอริทึม GISMOO เป็นวิธีการมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาเนื่องจากวิธีการนี้แก้ปัญหาช่องว่างระหว่างทฤษฎีกับแนวทางการปฏิบัติในปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมรถยนต์ เพราะฉะนั้นในการพัฒนาอัลกอริทึม ควรมีการพัฒนาประสิทธิภาพทั้งในการหาคำตอบและการนำไปใช้งานจริงควบคู่ไปกับเวลาที่ใช้หาคำตอบ นพพล คำภิรมย์ (2551) ได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยู โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรและความผันแปรของภาระงานในระบบการผลิตน้อยที่สุด ผลจากงานวิจัยพบว่า COIN จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อได้มีการรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์บนสายการประกอบลักษณะตัวยูได้มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ จากงานวิจัยที่กล่าวมา พบว่า COIN มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว เนื่องจากมีการจดจำลักษณะต่ำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันและมีการจดจำลักษณะต่ำแหน่งของผลิตภัณฑ์ที่ดีและไม่ดี

ในปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์จะมีสิ่งที่มีผลกระทบต่อการหาคำตอบการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ก็คือ ตัวเลือก สี และสายการประกอบ ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำ เสนออัลกอริทึมการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ประยุกต์มาจาก COIN มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านและทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของ COIN-E กับอัลกอริทึมที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาประเภทนี้ได้ ได้แก่ NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการนำวิธีการบรรจวบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E), Genetic Algorithms (GA), Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) และ Combinatorial Optimization with Coincidence (COIN) เข้ามาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1.3.1 ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม และสายการประกอบมีความสมดุลในระบบการผลิต รถยนต์ที่มีการประกอบมีตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป และสามารถจัดลำดับรถยนต์แต่ละชนิดเข้าสู่สายการประกอบสลับลำดับกันอย่างไรก็ได้

1.3.2 ลำดับของวันก่อนหน้าและวันถัดไปได้มีการกำหนดไว้แล้วจากผู้วางแผนการผลิต

1.3.3 รถยนต์ที่ทำการผลิตจะมีหลากหลายรุ่นแต่มีคุณสมบัติคล้ายกันจึงสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ และรถยนต์บางรุ่นที่ไม่มีการทำในบ้างขั้นงาน (Task) ขั้นงานนั้นจะเป็นขั้นงานของตัวเลือกที่รถยนต์รุ่นนั้นไม่มีตัวเลือกนี้

1.3.4 นำวิธีการของ COIN-E เข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ

1.3.5 การหาคำตอบของปัญหาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีวัตถุประสงค์ดังนี้

- เพื่อหาปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด (Minimize Utility Work)
- เพื่อหาจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด (Minimize the Number of Violations)
- เพื่อหาจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Minimize the Number of Colour Changes)

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธี**การบรรจวบแบบขยาย**กับอัลกอริทึมตัวอื่นๆสำหรับหลายวัตถุประสงค์ โดยใช้ตัวชี้วัด 3 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) ในการประเมินคำตอบ

ปัญหาของการจัดลำดับการผลิตที่จะทำการศึกษามีดังนี้

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทำวิจัย

ปัญหาการทดลอง		จำนวนรุ่นรถยนต์	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS)	ความยาวสตริง	จำนวนสีรถยนต์ (ซ้ำไม่เกิน)	จำนวนตัวเลือก Options
Set 1	1	5	5:3:2:1:1	12	4(2)	2
	2	5	4:4:2:1:1	12	4(2)	2
Set 2	3	5	7:3:2:2:1	15	4(2)	4
	4	5	4:3:3:3:2	15	4(2)	4
Set 3	5	5	8:7:2:2:1	20	4(2)	7
	6	5	5:4:4:4:3	20	4(2)	7
Set 4	7	10	7:5:1:1:1:1:1:1:1:1	20	8(4)	8
	8	10	4:4:4:2:1:1:1:1:1:1	20	8(4)	8
Set 5	9	15	20:20:20:15:15:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1	100	10(5)	10
	10	15	15:15:10:10:10:10:10:10:4:1:1:1:1:1:1	100	10(5)	10
Set 6		15	20:20:20:15:15:10:20:10:5:20:5:10:10:10:10	200	15(7)	10

หมายเหตุ : Set ปัญหาการทดลอง (McMullen, 2001), (Mansouri, 2005)

1.4 ลักษณะของปัญหางานวิจัย

สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยได้นำสมมติฐานบางส่วนมาจาก Hyun et al. (1998)

- ลักษณะของสายการประกอบจะเป็นชนิดสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน
- สายการประกอบมีความสมดุลในการจัดลำดับการผลิต โดยการจัดสมดุลจะพิจารณาจากความต้องการผลิตภัณฑ์
- รถยนต์ที่ทำการผลิตจะมีหลากหลายรุ่นแต่มีคุณสมบัติคล้ายกันจึงสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ และรถยนต์บางรุ่นที่ไม่มีการทำในบ้างขั้นงาน (Task) ขั้นงานนั้นจะเป็นขั้นงานของตัวเลือกที่รถยนต์รุ่นนั้นไม่มีตัวเลือกนั้น
- พิจารณาความต้องการผลิตภัณฑ์จาก Minimum Part Set (MPS)
- สถานีงานจะเป็นชนิดสถานีงานแบบปิด

- ทราบจำนวนสถานีงานในสายการผลิตจากการจัดสมดุลและเวลาดำเนินงานของขั้นงานที่อยู่ในสถานีงาน
- เวลาเดินทางและระยะทางของพนักงานจะไม่นำเข้ามาพิจารณา
- การปล่อยวัตถุดิบจะมีรอบเวลาการปล่อยที่เข้าสู่สายพานการผลิต
- การปรับตั้งเครื่องจักรการผลิตขึ้นอยู่กับลำดับงานที่ในลำดับก่อนหน้า
- งานทุกงานมีการเตรียมพร้อมที่จะทำตลอดเวลา
- งานต้องถูกทำจนเสร็จตามที่กำหนด จึงจะส่งต่อไปยังเครื่องจักรถัดไปได้
- เครื่องจักรสามารถทำงานได้เพียงชิ้นงานเดียวในช่วงเวลานั้น
- คำสั่งผลิตจะไม่มีการยกเลิกการผลิตในช่วงเวลากลางคัน
- ไม่ให้มีการแทรกงานเกิดขึ้นในการผลิต
- บริเวณแถวคอยในการผลิตมีพื้นที่ไม่จำกัด

1.5 ขั้นตอนการวิจัย

1.5.1 ศึกษาเกี่ยวกับทฤษฎี และบทความงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในการทำงานวิจัย

1.5.2 ศึกษาและทดลองการใช้โปรแกรม MATHLAB

1.5.3 เขียนโค้ดโปรแกรมอัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัยโดยใช้โปรแกรม MATHLAB

1.5.4 แก้ไขและทดลองโปรแกรมให้เกิดความเสถียรและถูกต้อง

1.5.5 เปรียบเทียบผลการใช้อัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหา

1.5.6 วิเคราะห์ผลและสรุป

1.5.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.6.1 ทำให้ช่วยลดระยะเวลาและความยุ่งยากในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

1.6.2 นำขั้นตอนการตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านไปช่วยตัดสินในการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

1.6.3 เป็นแนวทางในประยุกต์อัลกอริทึมที่มีอยู่ เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

1.6.4 ผลที่ได้จากการวิจัยสามารนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่จะเกิดขึ้นในอนาคตได้

1.6.5 ในภาคปฏิบัติสามารถนำเอาวิธีการแก้ปัญหาไปประยุกต์ใช้งานจริงได้

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์ วิธีการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ของงานวิจัย งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย การทดสอบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ใน Set ปัญหา การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการค้นหากลุ่มของคำตอบในแต่ละอัลกอริทึม ผลสรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะต่างๆ จากการทำวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 อธิบายทฤษฎีการจัดลำดับการผลิตและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจัดลำดับการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป ประเภทของสายการประกอบ ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ วิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสอง วัตถุประสงค์ของการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ จำนวนการจัดลำดับการผลิตทั้งหมดและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 อธิบายทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) วิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E)

บทที่ 4 อธิบายทฤษฎี ขั้นตอนวิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) รวมถึงการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

บทที่ 5 อธิบายผลการทำการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม

บทที่ 6 เป็นการสรุปงานวิจัย ผลการนำเอาวิธีการบรรจวบแบบขยายมาประยุกต์ใช้กับปัญหาในงานวิจัย และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี

การผลิตแบบทันเวลาพอดีคือการที่ชิ้นส่วนที่ต้องใช้ในการประกอบจำเป็นต้องเข้ามาถึงกระบวนการผลิตในเวลาที่ต้องการใช้และตามจำนวนที่ต้องการใช้ โดยความต้องการของลูกค้าเป็นตัวกำหนดปริมาณการผลิตและการใช้วัตถุดิบในแต่ละรอบการผลิต ซึ่งลูกค้าในที่นี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะลูกค้าผู้ซื้อสินค้าเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงบุคคลในส่วนงานต่างๆที่ต้องการงานระหว่างทำหรือวัตถุดิบเพื่อทำการผลิตต่อเนื่องด้วย โดยใช้ระบบการดึง (Pull Method of Material Flow) ไว้ค่อยควบคุมวัสดุคงคลังและการผลิต ณ สถานีที่ทำการผลิตนั้น ๆ ซึ่งถ้าทำได้ตามแนวคิดนี้แล้ววัสดุคงคลังที่ไม่จำเป็นในรูปของวัตถุดิบ งานระหว่างทำและสินค้าสำเร็จรูปจะถูกขจัดออกไปในระบบ โดยที่ระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี มีคุณสมบัติต่อไปนี้

1. การไหลของวัสดุแบบดึง (Pull Method of Material Flow) เป็นวิธีการที่ใช้ความต้องการของลูกค้าเป็นเครื่องกำหนดปริมาณการผลิตและการใช้วัตถุดิบ ซึ่งลูกค้าในที่นี้ไม่ได้หมายถึงเฉพาะลูกค้าผู้ซื้อสินค้าเท่านั้น แต่ยังหมายรวมถึงบุคลากรในส่วนงานอื่นที่ต้องการงานระหว่างทำหรือวัตถุดิบ เพื่อทำการผลิตต่อเนื่อง โดยวิธีดึงเป็นวิธีการควบคุมวัสดุคงคลัง และการผลิต ณ สถานีทำงานที่ทำการผลิตนั้น ๆ
2. การรักษาคุณภาพในระดับสูงอย่างคงที่ (Consistently High Quality) ระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี เป็นระบบการดำเนินงานที่ค้นหาและขจัดเศษซาก หรือชิ้นงานที่เสียออกจากกระบวนการ เพื่อให้ระบบการไหลของงานเป็นไปอย่างสม่ำเสมอ ระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี

2.1.1 วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดี

วัตถุประสงค์ของการผลิตแบบทันเวลาพอดีมีรายละเอียดดังนี้

1. ควบคุมวัสดุคงคลังให้อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดหรือให้เท่ากับศูนย์ (Zero Inventor)
2. ลดเวลานำหรือระยะเวลารอคอยในกระบวนการผลิต (Zero Lead Time)
3. ขจัดปัญหาของเสียที่เกิดขึ้นจากการผลิต (Zero Failures)
4. ขจัดความสูญเปล่าในการผลิต (Eliminate 7 Types of Waste) ดังต่อไปนี้

- การผลิตมากเกินไป (Overproduction) ชิ้นส่วนและผลิตภัณฑ์ถูกผลิตมากเกินความต้องการ
- การรอคอย (Waiting) วัสดุหรือข้อมูลสารสนเทศ หยุดนิ่งไม่เคลื่อนไหวหรือติดขัด
- การขนส่ง (Transportation) มีการเคลื่อนไหวหรือมีการขนย้ายวัสดุในระยะทางที่มากเกินไป
- กระบวนการผลิตที่ขาดประสิทธิภาพ (Processing Itself) มีการปฏิบัติงานที่ไม่จำเป็น
- การมีวัสดุหรือสินค้าคงคลัง (Stocks) วัตถุดิบและผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปมีเก็บไว้มากเกินความจำเป็น
- การเคลื่อนไหว (Motion) มีการเคลื่อนไหวที่ไม่จำเป็นของผู้ปฏิบัติงาน
- การผลิตของเสีย (Making Defect) วัสดุและข้อมูลสารสนเทศไม่ได้มาตรฐาน ผลิตภัณฑ์ไม่มีคุณภาพ

2.1.2 การผลิตแบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี

วัตถุประสงค์ของระบบ JIT คือ การผลิตเฉพาะสิ่งที่ลูกค้าต้องการ ในอัตราที่ต้องการ ด้วยคุณภาพที่สมบูรณ์แบบ ระบบ JIT พยายามจะชี้ให้เห็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อเป้าหมายที่สำคัญ คือ ปัญหาจากแถวคอย ซึ่งแถวคอยหรืองานระหว่างผลิต ทำให้งานเกิดการหยุดชะงัก และทำให้เวลาในการส่งมอบยาวนานขึ้น ดังนั้นจึงต้องคอยควบคุมไม่ให้มากเกินไปหรือทำให้หมดไป แถวคอยอาจเกิดได้จากสาเหตุหลายประการ เช่นจากการผลิตไม่สมดุล การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต เครื่องจักรเสีย ใช้เวลาตั้งเครื่องนาน มีปัญหาด้านคุณภาพ และการขาดงานของพนักงาน จากแนวทางการผลิตของ JIT จะผลิตแต่สิ่งที่ลูกค้าต้องการ (ทั้งลูกค้าภายในและภายนอก ในอัตราและเวลาเดียวกันกับที่ลูกค้าต้องการ โดยให้ความต้องการของลูกค้าเป็นกำหนดปริมาณการผลิตและขับเคลื่อนความต้องการใช้วัตถุดิบ ผ่านกลไกของระบบคัมบัง เรียกว่าการควบคุมการไหลด้วยวิธีการดึงจากความต้องการใช้ของลูกค้า

การผลิตที่ปรับเรียบและการจัดลำดับ การปรับเรียบภาระงาน (Load Smoothing หรือ Load leveling) เป็นการทำให้ปริมาณสูงสุดและต่ำสุดของการผลิตผลิตภัณฑ์มีความสมดุลกัน การปรับเรียบการผลิตช่วยให้สามารถผลิตผลิตภัณฑ์หลากหลายชนิดที่ลูกค้าต้องการตามลำดับที่ผสมผสานกันอย่างสม่ำเสมอได้ ซึ่งทำให้มีสินค้าคงคลังและความล่าช้าเกิดขึ้นน้อยที่สุด

2.1.3 องค์ประกอบของการผลิตแบบทันเวลาพอดี

การที่จะนำระบบ JIT เข้ามาใช้ในองค์กรจำเป็นต้องเปลี่ยนเปลี่ยนแปลงระบบการผลิตและสภาพแวดล้อมในองค์กร ตามแนวทางของ JIT ซึ่งแนวทางดังกล่าวพอสรุปได้ดังนี้

1. ในสายการผลิตต้องมีการจัดสมดุลการไหลให้แต่ละสถานีงานมีภาระงานเท่ากัน สามารถรองรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย และต้องทำให้เวลาในการตั้งเครื่อง (Setup Time) ในการเปลี่ยนแปลงรุ่นการผลิตให้น้อยที่สุด

2. ต้องมีการวิจัยและพัฒนาด้านผลิตภัณฑ์และการผลิต เพื่อปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง

3. ควรลดขนาดรุ่นของการผลิต การสั่งซื้อ การสั่งผลิตให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้ และมีความถี่ในการสั่งสูง

4. ควรพัฒนาพนักงานให้มีความชำนาญหลายอย่าง เพื่อให้เกิดความยืดหยุ่นสามารถรองรับกับความต้องการผลิตภัณฑ์ที่มีการเปลี่ยนแปลง ทั้งชนิดและจำนวน

5. ควรมีระบบบำรุงรักษาที่ดี สามารถดูแลเครื่องจักรให้พร้อมใช้งานได้อย่างมีคุณภาพตลอดเวลา

6. ต้องสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพสูงได้อย่างสม่ำเสมอ (Consistently High Quality Level)

7. มีความสัมพันธ์อย่างใกล้ชิดกับผู้ส่งมอบ มีความเชื่อถือได้ และมีความร่วมมือกันในการยกระดับและเพิ่มขีดความสามารถของตนเองอยู่เสมอ

8. มีการปรับปรุงการทำงานอย่างต่อเนื่อง (Continuous Improvement)

2.1.4 ผลกระทบจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี

1. ปริมาณการผลิตขนาดเล็ก (Small Lot Size) ระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี จะพยายามรักษาวัสดุคงคลังให้อยู่ในระดับที่น้อยที่สุดเท่าที่ทำได้เพื่อไม่ให้เกิดเป็นค่าใช้จ่ายในส่วนของต้นทุนในการจัดเก็บและต้นทุนค่าเสียโอกาส จึงผลิตในปริมาณเท่าที่ต้องการ

2. ระยะเวลาการติดตั้งและเริ่มดำเนินงานสั้น (Short Setup Time) ผลจากการลดขนาดการผลิตให้เล็กลง จึงเป็นเหตุให้ฝ่ายผลิตต้องเพิ่มความละเอียดในการจัดการการผลิตเพิ่มขึ้น ดังนั้นผู้ควบคุมกระบวนการผลิตจึงต้องปรับลดเวลาของการติดตั้งให้สั้นลง เพื่อไม่ทำให้พนักงานเกิดเวลาว่างในการทำงานและทำให้ใช้เครื่องมืออุปกรณ์ให้เกิดประสิทธิภาพเต็มที่

3. วัสดุคงคลังในระบบการผลิตลดลง (Reduce WIP Inventory) เหตุผลที่จำเป็นต้องมีวัสดุคงคลังสำรองเกิดจากความไม่แน่นอน ความผิดปกติที่เกิดขึ้นระหว่างกระบวนการผลิต ระบบ

ผลิตแบบทันเวลาพอดีมีนโยบายที่จะขจัดวัสดุคงคลังสำรองออกไปจากกระบวนการผลิตให้หมด โดยให้คนงานช่วยกันแก้ไขปัญหาความไม่สม่ำเสมอที่เกิดขึ้น

4. สามารถควบคุมคุณภาพสินค้าได้อย่างทั่วถึง ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี เป็นผู้การควบคุมและตรวจสอบคุณภาพจะกระทำโดยผู้ปฏิบัติงานโดยตรง หรือที่เรียกว่า “คุณภาพ ณ แหล่งกำเนิด (Quality at the source)”

2.1.5 ประโยชน์ที่เกิดจากการผลิตแบบทันเวลาพอดี

ประโยชน์ที่เกิดจากการผลิตแบบทันเวลาพอดีมีดังนี้

1. เป็นการยกระดับคุณภาพสินค้าให้สูงขึ้นและลดของเสียจากการผลิตให้น้อยลง โดยคนงานจะทำงานให้ส่วนที่ตัวเองรับผิดชอบเสร็จแล้วก็จะส่งชิ้นงานของตัวเองไปสู่ขั้นงานต่อไป ซึ่งถ้าส่งงานที่มีข้อบกพร่องไปให้กับคนงานคนต่อไป คนงานก็จะพบข้อบกพร่องนั้นแล้วจะได้แจ้งให้มีการปรับปรุงแก้ไขให้ถูกต้องได้ทันที คุณภาพสินค้าจึงออกมามีคุณภาพ ต่างจากการผลิตครั้งละมากๆ คนงานที่รับชิ้นส่วนมามักไม่ให้ความสำคัญของการทำงานโดยจะรีบผลิตต่อทันทีเพราะยังมีชิ้นส่วนที่ค้างที่จะต้องมีการผลิตอีกหลายชิ้น

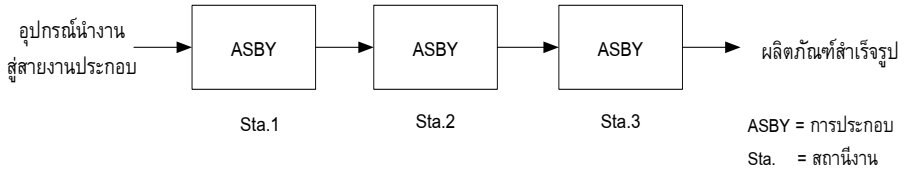
2. ตอบสนองความต้องการของตลาดได้รวดเร็ว เนื่องจากการผลิตมีความคล่องตัวสูง การเตรียมการผลิตใช้เวลาน้อย และสายการผลิตก็สามารถผลิตสินค้าได้หลายอย่างพร้อมกันในเวลาเดียวกัน จึงทำให้สินค้าสำเร็จรูปคงคลังเหลืออยู่น้อยมาก เพราะการผลิตในแต่ละครั้งจะเป็นไปตามความต้องการของตลาดอย่างแท้จริง การพยากรณ์การผลิตแม่นยำขึ้นเพราะเป็นการพยากรณ์ระยะสั้น ผู้บริหารลดการเผชิญปัญหาต่างๆของโรงงานและแก้ไขปัญหาต่างๆในโรงงาน ทำให้มีเวลาไปมุ่งพัฒนาโรงงานในวางแผนกลยุทธ์ต่างๆได้มากขึ้น

3. คนงานจะมีความรับผิดชอบต่องานของตนเองและงานของส่วนรวมสูงมาก ความรับผิดชอบต่อตนเอง ก็คือจะต้องผลิตสินค้าที่ดี มีคุณภาพสูง ส่งต่อให้คนงานคนต่อไปโดยถือเหมือนว่าเป็นลูกค้า ด้านความรับผิดชอบต่อส่วนรวมก็คือคนงานทุกคนจะต้องช่วยกันแก้ปัญหาเมื่อมีปัญหาเกิดขึ้นในการผลิต เพื่อไม่ให้สายการประกอบเกิดการหยุดชะงักเป็นเวลานาน

2.2 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป

สายการประกอบเป็นลักษณะที่มีชิ้นส่วนที่ผลิตไหลไปตามหน่วยการผลิตที่เรียกว่า สถานีงาน (Work Station) โดยที่ชิ้นส่วนที่ไหลไปอยู่ที่สถานีงานใดแล้วจะต้องทำการประกอบในสถานีนั้นให้

เสร็จตามระยะเวลาที่ชิ้นส่วนนั้นต้องการเรียกว่า ระยะเวลาดำเนินงาน โดยเมื่อชิ้นส่วนนั้นได้ทำการประกอบที่สถานีใดเสร็จก็จะถูกส่งต่อไปยังสถานีงานต่อๆไปจนครบสถานีงานที่ต้องการ ดังรูปที่ 2.1

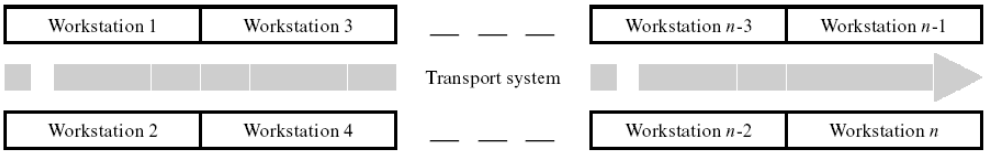


ภาพที่ 2.1 ทิศทางการไหลของชิ้นงาน

2.2.1. รูปแบบของสายการประกอบ

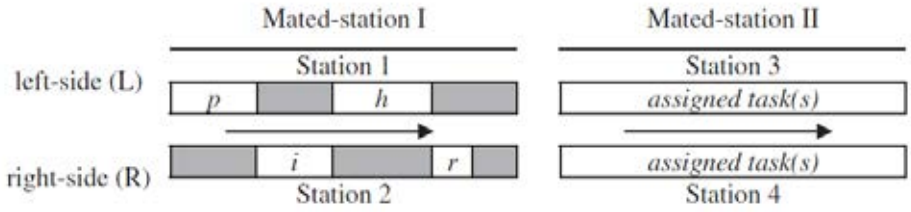
สายการประกอบแบบเส้นตรง (Straight Line) เป็นสายการประกอบที่มีลักษณะเป็นเส้นตรง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์จะไหลในทิศทางเป็นเส้นตรงตั้งแต่สถานีแรกไปจนครบสถานีงาน โดยที่จะไม่มีการย้อนกลับไปยังสถานีก่อนหน้า

สายการประกอบแบบสองด้าน (Two – Sided Assembly Line) สายการประกอบแบบสองด้านนั้นจะมีลักษณะสายการประกอบเป็นเส้นตรง โดยมีสถานีงานอยู่ในทางด้านซ้ายและทางด้านขวา ดังรูปที่ 2.2 โดยเป็นสายการประกอบนี้ออกแบบมาสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ เช่น รถยนต์ รถบรรทุกหรือรถบัส



ภาพที่ 2.2 ลักษณะของสายการประกอบแบบสองด้าน (Kim et al., 2000)

สายการประกอบแบบสองด้านนั้นจะมีข้อจำกัดในเรื่องการจัดสรรงานก็คืองานบ้างงานจะสามารถจัดสรรงานได้เพียงด้านใดด้านหนึ่ง เช่น ขั้นงานของการประกอบพวงมาลัยรถยนต์ในประเทศไทย จะเป็นขั้นงานที่จะต้องจัดสรรขั้นงานนี้ลงในสถานีงานทางด้านขวาได้อย่างเดียว โดยห้ามจัดสรรขั้นงานนี้ลงในสถานีงานทางด้านซ้ายเนื่องจากจะผิดข้อจำกัดในเรื่องของสายการประกอบ หรือขั้นงานบ้างขั้นงานก็จะสามารถจัดสรรขั้นงานได้เพียงสถานีงานที่อยู่ทางด้านซ้ายเพียงด้านเดียว แต่ในขั้นงานไหนที่ไม่มีเงื่อนไขในการประกอบก็จะสามารถจัดสรรขั้นงานนั้นลงในสถานีงานทางด้านใดก็ได้



ภาพที่ 2.3 ขั้นงานของสายการประกอบแบบสองด้าน (Ozcan and Toklu, 2009b)

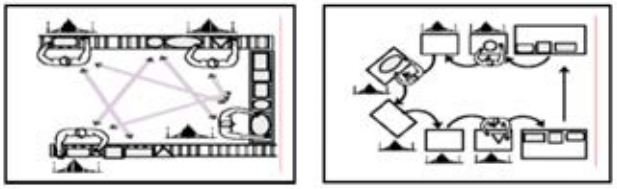
จากภาพที่ 2.3 จะเห็นว่าสายการประกอบแบบสองด้านนี้มีจำนวนสถานีงานทั้งหมด 4 สถานีงาน โดยสถานีงานที่ 1 จะอยู่ทางด้านซ้าย ส่วนสถานีงานที่ 2 จะอยู่ทางด้านขวา ซึ่งทั้ง 2 สถานีงานนี้จะเรียกว่า สถานีงานคู่ (Mated-Station) โดยมีขั้นงานที่จะต้องเริ่มทำการประกอบจะคือขั้นงานของ p ที่จะต้องทำการประกอบในสถานีงานที่ 1 โดยที่ขั้นงานที่ i จะไม่สามารถเริ่มทำการประกอบได้ถ้าขั้นงานของ p ยังทำการประกอบไม่เสร็จ ในกรณีเดียวกันขั้นงานของ h ก็จะไม่สามารถเริ่มทำการประกอบได้ ถ้าขั้นงานของ i ยังไม่เสร็จ ซึ่งจากเงื่อนไขของจำกัดนี้จึงทำให้สายการประกอบแบบสองด้านนี้จะเกิดสิ่งที่เรียกว่า เวลาเดินเปล่า (Idel Time) เกิดขึ้น ซึ่งทำให้สายการประกอบแบบสองด้านนี้เวลาดำเนินการจะรวมเวลาเดินเปล่าเข้าไปด้วย

ภาพที่ 2.4 สายการประกอบแบบสองด้านในอุตสาหกรรมยานยนต์จริง (Betancourt, 2007)

สายการประกอบแบบขนาน (Parallel Lines) เป็นสายการประกอบที่เป็นเส้นตรง 2 เส้นขนานกันไป ดังภาพที่ 2.5

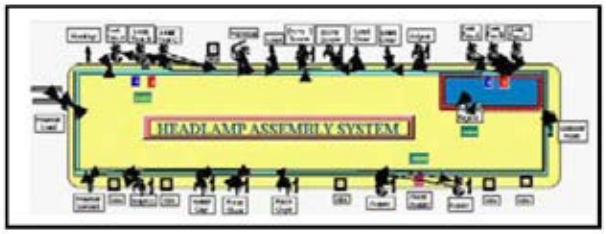
ภาพที่ 2.5 สายการประกอบแบบขนาน (Betancourt, 2007)

สายการประกอบแบบตัวยู (U-Shaped Lines) เป็นสายการประกอบที่เป็นเส้นตรงแล้วนำมาหักงอเป็นลักษณะเป็นรูปตัวยู โดยจะมีข้อดีตรงที่หนักงานสามารถเดินข้ามมาทำการประกอบในระหว่าง ดังภาพที่ 2.6



ภาพที่ 2.6 สายการประกอบแบบตัวยู (Betancourt, 2007)

สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด (Circle/Closed Lines) เป็นสายการประกอบที่มีรูปลักษณะเป็นรูป ดังภาพที่ 2.7



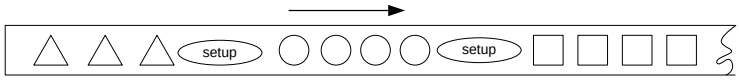
ภาพที่ 2.7 สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด (Betancourt, 2007)

2.2.2. ประเภทของสายการประกอบ

สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดียว (Single Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่ทำการประกอบผลิตภัณฑ์ชนิดเดียวในสายการประกอบ ดังภาพที่ 2.8

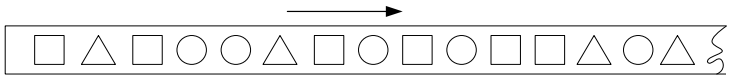
ภาพที่ 2.8 สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ชนิดเดียว

สายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีตั้งแต่ 2 ชนิด โดยจะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ทีละชนิดแล้วจึงทำการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดถัดไป ทำให้ต้องมีการ Set up เกิดขึ้นระหว่างที่มีการเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต ดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 สายการประกอบแบบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์

สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่มีผลิตภัณฑ์ตั้งแต่ 2 ชนิดขึ้นไป ทำการผลิตโดยที่ผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการประกอบชนิดใดก็ได้ปะปนกัน โดยที่ไม่มีการกำหนดว่าจะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ใดก่อน ซึ่งจะแตกต่างจากสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ที่จะต้องผลิตผลิตภัณฑ์ทีละชนิด ดังภาพที่ 2.10



ภาพที่ 2.10 สายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม

2.3 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์

สำหรับการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ให้มีค่าที่น้อยที่สุดหรือมากที่สุดในทุกฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์นั้นเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นได้ยากมาก เนื่องจากฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่กำลังพิจารณานั้นจะมีความขัดแย้งระหว่างกันทำให้ค่าที่ได้นั้นจะไม่ใช่คำตอบที่น้อยที่สุดหรือมากที่สุด จึงทำให้ไม่สามารถจะบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Srinivas and Deb, 2002) (Konak et.al, 2006)

2.3.1 การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

การแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมสำหรับหลายวัตถุประสงค์จะนำอาเทคนิคการค้นหากลุ่มคำตอบที่เกิดขึ้นในส่วนของคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ (Feasible Region) ทั้งหมด ในการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ดีที่สุดนั้นมีหลายวิธีในการค้นหาคำตอบ เช่น วิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) วิธีคำนวณค่าแบบเวกเตอร์ (Vector Evaluation Approach) หรือวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) เป็นต้น

วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมที่ถูกนำมาใช้ในงานวิจัยนี้ โดยค่าที่สำคัญที่จะต้องมีการกำหนดคือ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับกลุ่มคำตอบที่ได้โดยใช้การจัดลำดับคำตอบแบบพาเรโต

(Pareto Ranking Approach) คำตอบที่อยู่ใน Pareto Optimal Set หรือ Pareto Optimal Front จะเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด โดยที่กลุ่มคำตอบที่อยู่ในนี้จะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่ากลุ่มคำตอบใดเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีกว่ากันหรือที่เรียกว่า Non-dominated Solution จากกลุ่มของคำตอบอื่น โดยในการพิจารณาว่ากลุ่มคำตอบที่เหมาะสมนั้นควรจะมีคุณสมบัติที่ต้องคำนึงดังนี้ (นพพล คำภิรมย์ , 2551)

- กลุ่มคำตอบที่ดีควรจะมีการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงหรือควรเป็นสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่แท้จริง
- กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีการกระจายตัวที่สม่ำเสมอและมีคำตอบที่หลากหลาย
- กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีคำตอบที่ตรงกับปลายสุดของกลุ่มคำตอบในส่วนพื้นที่ของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่พิจารณาได้

ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาไปพร้อมกันทั้งหมด ดังสมการที่ 2.1

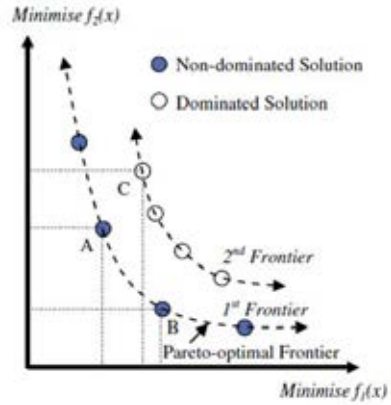
$$Minimize\ \{f_1(\vec{x}), f_2(\vec{x}), \dots, f_k(\vec{x})\} \qquad (2.1)$$

โดย $\vec{x}$ คือ เวคเตอร์ของตัวแปรในการตัดสินใจ

$f_1(\vec{x})$ คือ ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละเรื่อง

ถ้าเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ x ให้คำตอบที่ดีกว่าเวคเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ y แล้ว จะได้ว่า$f_i(x) \leq f_i(y)$ สำหรับทุกค่า $i \in \{1,2, \dots, k\}$ และ $f_i(x) \leq f_i(y)$ มีอย่างน้อย 1 ค่าของ $i \in \{1,2, \dots, k\}$

จากภาพที่ 2.11 เป็นการพิจารณาหาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้ง 2 ฟังก์ชั่น โดยจุดแต่ละจุดจะแทนกลุ่มคำตอบที่หาได้ โดยจะเห็นว่าจุดของ A และ B จะเป็นจุดของกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Frontier) โดยที่ A กับ B จะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่า จุดใดเป็นจุดที่ให้คำตอบได้ดีกว่ากันหรือเรียกว่า Non-dominated set แต่สามารถบ่งบอกได้ว่าจุด A และ B เป็นจุดของคำตอบที่ดีกว่าจุด C



ภาพที่ 2.11 Pareto Optimal Solution (Chutima and Chimklai, 2012)

2.3.2 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

ในแต่ละวันจะมีใบคำสั่งซื้อของลูกค้าส่งมายังโรงงานผลิตรถยนต์ โดยขั้นตอนนี้จะเป็นหน้าที่ของนักวางแผนในการมอบหมายงานเกี่ยวกับใบคำสั่งซื้อรถยนต์ส่งไปยังสายการประกอบ ซึ่งในการจัดลำดับการผลิตของรถยนต์ในแต่ละวัน จะต้องคำนึงในส่วนของที่แผนกต่างๆ ที่จะต้องส่งไปสำหรับการผลิตรถยนต์แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ 1. Body Shop 2. Paint Shop และ Assembly Line (Solnon et al.,2008) ดังภาพที่ 2.12

ภาพที่ 2.12 รูปแบบแผนกที่ใช้ในการผลิตรถยนต์

ในการแข่งขันการจัดลำดับรถยนต์ในปี 2005 ของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศฝรั่งเศส ได้กำหนดปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่สำคัญที่จะใช้ในการพิจารณาคือ ประการแรกคือตัวเลือกของรถยนต์ โดยในรถยนต์แต่คันจะมีตัวเลือกที่ต่างกัน เช่น ถุงลมนิรภัยรถคันหนึ่งจะมีตัวเลือกนี้ แต่อีกคันจะไม่มีตัวเลือกนี้ โดยในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์นั้นจึงจำเป็นต้องพิจารณาตัวเลือกของรถยนต์พยายามไม่ให้ผลิตเกินค่าที่กำหนด โดยพิจารณาจากค่า อัตราส่วน p/q (เมื่อ p คือ ความต้องการตัวเลือก และ q คือ จำนวนลำดับการผลิตย่อย) เช่น ถ้าอัตราส่วนเท่ากับ 1 ต่อ 3 จะหมายความว่า ในการผลิตรถยนต์ 3 คันจะมีรถยนต์ที่มีตัวเลือกนี้ได้ไม่เกิน 1 คัน ถ้ามีการเกินจะนับจำนวนที่เกินเป็นจำนวนการละเมิดที่เกินขึ้น โดยจะพิจารณาไปเรื่อยๆจนครบ

ลำดับการผลิตรถยนต์เพื่อทำให้การจัดลำดับการผลิตรถยนต์เกิดการละเมิดตัวเลือกรถยนต์นี้น้อยที่สุด โดยในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ในแต่ละวันจำเป็นที่จะต้องมีการนำข้อมูลลำดับการผลิตจากวันก่อนมาพิจารณาและจำเป็นต้องมีการวางแผนลำดับการผลิตไว้ในวันถัดไป เพื่อนำมาใช้ในการจัดลำดับการผลิตของวันปัจจุบัน เพื่อจะทำให้ลำดับการผลิตนั้นมีประสิทธิภาพตรงตามวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 1 ประการที่สองก็คือ เรื่องสีของรถยนต์เนื่องจากให้การพ่นสีให้รถยนต์แต่ละคันนั้น ลำดับการผลิตรถยนต์จะมีผลอย่างมากให้การพ่นสีเพราะ ถ้าลำดับการผลิตรถยนต์มีสีเดียวกันที่ติดต่อกันก็จะทำให้ไม่ต้องมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีและเปลี่ยนน้ำยาในการพ่นทำให้เป็นการลดต้นทุนให้การผลิต แต่ถ้าพ่นสีที่เป็นสีเดียวกันติดต่อกันหลายลำดับนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการล้างทำความสะอาดหัวปืนพ่นสี เนื่องจากถ้าไม่ทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีจะมีการอุดตันและสีที่พ่นออกมาก็จะไม่มีคุณภาพในการผลิต ดังนั้นจึงต้องมีการกำหนดสีเดียวกันที่สามารถพ่นสีติดต่อกันได้ไม่เกินต่อคัน

2.3.3 **วัตถุประสงค์การจัดลำดับการผลิตรถยนต์** (Objective Function)

วัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ

- ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด (Utility Work) ดังสมการที่ (2.1)
- จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด (Minimize the Number of Violations)
- จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Minimize the Number of Colour Changes)

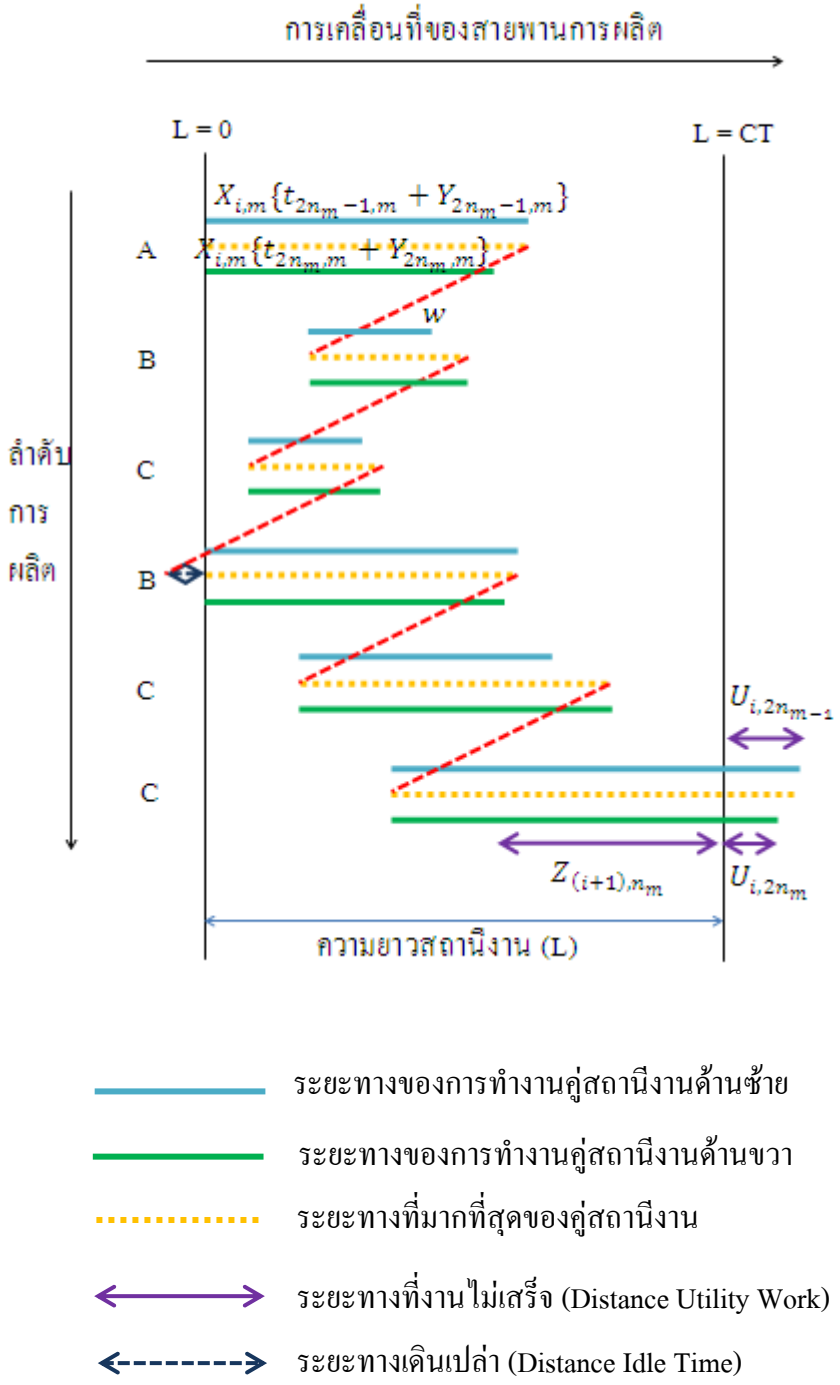
$$Minimize\ \{f_1(x), f_2(x), f_3(x)\}$$

$$f_1(x) = \sum_{n_m=1}^{N_M}\left(\sum_{i=1}^{I} U_{i,n_m} + Z_{(i+1),n_m}/v_c\right) \qquad (2.1)$$

เมื่อ

$$U_{i,n_m} = \left\{ \begin{matrix} max\left[0, \frac{\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}\} - L_{n_m}\right)}{v_c}\right] \\ + max\left[0, \frac{\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}\} - L_{n_m}\right)}{v_c}\right] \end{matrix} \right\}$$

$$Z_{(i+1),n_m} = max\left\{ \begin{matrix} max\left[0, min\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}\} - \gamma v_c, L_{n_m} - \gamma v_c\right)\right], \\ max\left[0, min\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}\} - \gamma v_c, L_{n_m} - \gamma v_c\right)\right] \end{matrix} \right\}$$



ภาพที่ 2.13 ตัวอย่างการไหลงานไปยังสถานีงาน และจำนวนปริมาณของงานที่ทำไม่เสร็จ

กำหนดให้

$f_1(x)$ คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิต

$f_2(x)$ คือ จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวม

$f_3(x)$ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสี

CT คือ รอบเวลาการผลิต (Cycle Time) ทั้งหมดของแต่ละผลิตภัณฑ์

n_m คือ คู่สถานีงาน (Mated Station) โดย n_m = 1, 2, ..., n_m

n_w คือ คู่สถานีงานด้านซ้ายและด้านขวา $n_w = 2n_m - 1$ และ $2n_m$ โดย n_w = 1, 2, ..., $n_w = 2n_m$

M คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ทำการผลิต

d_m คือ ความต้องการผลิตภัณฑ์ (MPS) แต่ละชนิดผลิตภัณฑ์ โดย $m = 1, 2, \dots, M$

T คือ เวลาดำเนินการทั้งหมดในแต่ละลำดับการผลิต (Model Sequence) โดยที่

$$T = \sum_{n_m=1}^{N_M} max\left[\sum_{m=1}^{M}(t_{2n_m-1,m}d_m + Y_{2n_m-1,m}), \sum_{m=1}^{M}(t_{2n_m,m}d_m + Y_{2n_m,m})\right]$$

$t_{2n_m-1,m}$ และ $t_{2n_m,m}$ คือ เวลาดำเนินการ (Processing Time) ทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่

$p_{k,m}$ คือ เวลาดำเนินงาน (Processing Time) ในขั้นงาน k ของผลิตภัณฑ์ m

k คือ ขั้นงานของแต่ละผลิตภัณฑ์

$Y_{2n_m-1,m}$ และ $Y_{2n_m,m}$ คือ เวลาเดินเปล่าทั้งหมด เนื่องมาจากลำดับก่อนหน้าของขั้นงานของผลิตภัณฑ์ m ที่คู่สถานีงานด้านซ้ายและด้านขวา

γ คือ ช่วงเวลาของการปล่อย(Launch Interval) ผลิตภัณฑ์ให้เข้าสู่สายการประกอบ
โดยที่ $\gamma = T/(I * N_M)$

w คือ ระยะทางที่ใช้ของพนักงานในการกลับไปผลิตผลิตภัณฑ์ชิ้นต่อไป โดยที่ $w = \gamma \times v_c$

v_c คือ อัตราความเร็วที่ใช้ของสายพานลำเลียงการผลิต

$x_{i,m}$ คือ จำนวนหน่วยทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่ถูกผลิตในลำดับการผลิต i เมื่อ $i = 1,2, \dots I$

U_{i,n_m} คือ ปริมาณของงานที่ทำไม่เสร็จ (Utility Work) ของลำดับที่ i ในแต่ละคู่สถานีงาน n_m

$Z_{(i+1),n_m}$ คือ เวลาเริ่มดำเนินการของงานในผลิตภัณฑ์ลำดับที่ i ในคู่สถานีงาน n_m

$x_{i,m}$ คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตที่ตรงกับชนิดที่ m โดยที่ $x_{i,m} = 1$ และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตที่ไม่ตรงกับชนิดที่ m โดยที่ $x_{i,m} = 0$

L_j คือ ความยาวสถานีงานที่ j

D คือ ลำดับการผลิตของวันปัจจุบัน

D-1 คือ ลำดับการผลิตของวันก่อนหน้า

D+1 คือ ลำดับการผลิตของวันถัดไป

p คือ ความต้องการตัวเลือกในแต่ละลำดับการผลิตย่อย

q คือ จำนวนลำดับการผลิตย่อย

C คือ สีที่ใช้ในการพ่นสีของวันปัจจุบัน

C-1 คือ สีที่ใช้ในลำดับสุดท้ายของวันก่อนหน้า

1. **ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด** (Minimize Utility Work)

จากสมการที่ (2.1) $f_1(x) = \sum_{n_m=1}^{N_M}(\sum_{i=1}^{I} U_{i,n_m} + Z_{(i+1),n_m}/v_c)$

ตัวอย่างการคำนวณกำหนดให้ ลำดับการผลิตรถยนต์คือ A B C B C C

ตารางที่ 2.1 จำนวนขั้นงานและเวลาดำเนินงานของแต่ละขั้นงานในรถยนต์ A, B และ C

ขั้นงาน	ด้านการทำงาน	เวลาดำเนินงาน			เวลาเฉลี่ย
		A	B	C	
1	L	2	6	3	1.833333
2	R	3	6	9	3
3	E	2	0	3	0.833333
4	L	3	4	3	1.666667
5	E	1	4	9	2.333333
6	L	1	0	6	1.166667
7	E	3	4	3	1.666667
8	R	3	2	6	1.833333
9	E	2	2	0	0.666667
10	E	2	6	3	1.833333
11	E	1	4	9	2.333333
12	R	0	2	6	1.333333

หมายเหตุ ขั้นงานที่ 3 เป็นขั้นงานถุงลมนิรภัยโดยมีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3

ขั้นงานที่ 6 เป็นขั้นงาน Navigator โดยมีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2/3

ขั้นงานที่ 9 เป็นขั้นงานหลังคาเปิด-ปิดโดยมีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/2

ขั้นงานที่ 12 เป็นขั้นงานระบบเบรก ABS โดยมีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/4

เมื่อทำการจัดสมดุลการประกอบแล้วจะได้ดังนี้

ภาพที่ 2.14 สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีความสมดุลที่ Cycle time = 8

ตารางที่ 2.2 ลำดับการผลิตที่ได้จากการจัดสมดุลสถานีงาน

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
WS	1	2	1	1	2	1	1	2	2	3	4	4
Seq	2	5	1	3	6	4	8	7	10	9	11	12

ตารางที่ 2.3 เวลาดำเนินงานรถยนต์ที่ใช้ในแต่ละสถานีงานและความยาวของสถานีงาน

สถานีงาน	Model Sequence						ความยาวสถานีงาน
	A	B	C	B	C	C	
1	11	7	7	7	7	7	8
2	10	7	8	7	8	8	8
3	2	3	1	3	1	1	8
4	1	3	5	3	5	5	8

เมื่อได้เวลาในการประกอบในการจัดลำดับการผลิตแบบ A B C B C C ของแต่ละสถานีงานมาแล้ว ในการจัดสมดุลการผลิตนี้จะกำหนดให้รอบเวลาการผลิตทั้งหมดของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Cycle time) เท่ากับ 8 ซึ่งจะเท่ากับความยาวสถานีงาน จากนั้นจะทำการคำนวณค่าดังนี้

$$d_1 = 1, d_2 = 2, d_3 = 3 \ \therefore I = \sum_{m=1}^{3} d_m = 1 + 2 + 3 = 6$$

$$T = \sum_{n_m=1}^{N_M} max\left[\sum_{m=1}^{M}(t_{2n_m-1,m}d_m + Y_{2n_m-1,m}), \sum_{m=1}^{M}(t_{2n_m,m}d_m + Y_{2n_m,m})\right]$$

$$T = \max(11 + 7 + \cdots + 7, 10 + 7 + \cdots + 8) + \max(2 + 3 + \cdots + 1, 1 + 3 + \cdots + 5)$$

$$T = \max(46, 48) + \max(11, 22)$$

$$T = 48 + 22 = 70$$

$$\gamma = \frac{T}{I * N_M} = \frac{70}{6 \times 2} = 5.8333$$

$$w = \gamma \times v_c = 5.8333 \times 1 = 5.8333$$

เมื่อคำนวณหาค่าที่สำคัญที่ใช้สำหรับการค่าปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จครบทุกค่าแล้ว ก็นำไปแทนค่าในสมการที่ 2.1 ก็จะได้ผลดังต่อไปนี้

$Z_{(i+1),n_m}$ =

$$max\begin{Bmatrix} max\left[0, min\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}\} - \gamma v_c, L_{n_m} - \gamma v_c\right)\right], \\ max\left[0, min\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}\} - \gamma v_c, L_{n_m} - \gamma v_c\right)\right] \end{Bmatrix}$$

$$U_{i,n_m} = \begin{Bmatrix} max\left[0, \frac{\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}\} - L_{n_m}\right)}{v_c}\right] \\ + max\left[0, \frac{\left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{i,m}\{t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}\} - L_{n_m}\right)}{v_c}\right] \end{Bmatrix}$$

โดยจะเริ่มจากคู่สถานีงานที่ 1 สถานีงานซ้ายคือสถานีงานที่ 1 และสถานีงานขวาคือสถานีงานที่ 2

คำนวณหาค่า Utility Work ของคู่สถานีงาน ได้ผลดังนี้

คู่สถานีงานที่ 1 และคู่สถานีงานที่ 2

i	$Z_{(i+1)j} = \max[0, \min[Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{im} t_{jm} - w, L_j - w]]$	$U_{ij} = \max[0, (Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{im} t_{jm} - L_j)/v_c]$
1	Z_{21}=max(0,min(0+11-5.8333,8-5.8333) ,min(0+10-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{11}=max(0,(0+11-8))+ max(0,(0+10-8))=5
2	Z_{31}=max(0,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333) ,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{21}= max(0,(2.1667+7-8))+ max(0,(2.1667+7-8))=2.3334
3	Z_{41}= max(0,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333) ,min(2.1667+8-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{31}= max(0,(2.1667+7-8))+ max(0,(2.1667+8-8))=3.3334
4	Z_{51}= max(0,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333) ,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{41}= max(0,(2.1667+7-8))+ max(0,(2.1667+7-8))=2.3334
5	Z_{61}= max(0,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333) ,min(2.1667+8-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{51}= max(0,(2.1667+7-8))+ max(0,(2.1667+8-8))=3.3334
6	Z_{71}= max(0,min(2.1667+7-5.8333,8-5.8333) ,min(2.1667+8-5.8333,8-5.8333))=2.1667	U_{61}= max(0,(2.1667+7-8))+ max(0,(2.1667+8-8))=3.3334
$\therefore \sum_{i=1}^{6} U_{i,1} + Z_{7,1}/v_c = (5 + \ldots + 3.3334) + 2.1667 = 21.8337$		

i	$Z_{(i+1)j} = \max[0, \min[Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{im} t_{jm} - w, L_j - w]]$	$U_{ij} = \max[0, (Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^{M} X_{im} t_{jm} - L_j)/v_c]$
1	Z_{22}=max(0,min(0+2-5.8333,8-5.8333), min(0+1-5.8333,8-5.8333))=0	U_{12}=max(0,(0+2-8))+ max(0,(0+1-8))=0
2	Z_{32}= max(0,min(0+3-5.8333,8-5.8333), min(0+3-5.8333,8-5.8333))=0	U_{22}= max(0,(0+3-8))+ max(0,(0+3-8))=0
3	Z_{42}= max(0,min(0+1-5.8333,8-5.8333), min(0+5-5.8333,8-5.8333))=0	U_{32}= max(0,(0+1-8))+ max(0,(0+5-8))=0
4	Z_{52}= max(0,min(0+3-5.8333,8-5.8333), min(0+3-5.8333,8-5.8333))=0	U_{42}= max(0,(0+3-8))+ max(0,(0+3-8))=0
5	Z_{62}= max(0,min(0+1-5.8333,8-5.8333), min(0+5-5.8333,8-5.8333))=0	U_{52}= max(0,(0+1-8))+ max(0,(0+5-8))=0
6	Z_{72}= max(0,min(0+1-5.8333,8-5.8333), min(0+5-5.8333,8-5.8333))=0	U_{62}= max(0,(0+1-8))+ max(0,(0+5-8))=0
$\therefore \sum_{i=1}^{6} U_{i,2} + Z_{7,2}/v_c = 0$		

ดังนั้นลำดับการผลิตรถยนต์ A B C B C C จะมีปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จเท่ากับ 21.8333

2.**จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด** (Minimize the Number of Violations)

ตารางที่ 2.4 อัตราส่วนความต้องการตัวเลือกของรถยนต์

ตัวเลือก	อัตราส่วนข้อกำหนด (p/q)	รุ่นของรถยนต์		
		A	B	C
หลังคาเปิด-ปิด	1/ 2	✓	✓	
ระบบเบรก ABS	1/ 4		✓	✓
Navigator	2/ 3	✓		✓
ถุงลมนิรภัย	1/ 3	✓		✓

จากตารางที่ 2.1 แสดงขั้นงานและเวลาดำเนินงานของรุ่นรถยนต์ A, B และ C ก่อนทำการจัดลำดับการผลิต จะสังเกตว่ารถยนต์ทั้งสามรุ่นจะมีขั้นงานที่เหมือนกัน แต่บางรถยนต์จะไม่มีการทำขั้นงานบางขั้นงานที่เป็นขั้นงานเกี่ยวกับตัวเลือก (Options) โดยจากตารางที่ 4 มีการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ A, B และ C กำหนดให้มีสัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS) = 1:2:3 แสดงว่าในการจัดลำดับการผลิตครั้งนี้จะต้องมีรถยนต์ A จำนวน 1 คัน ผลิตรถยนต์ B จำนวน 2 คันและรถยนต์ C จำนวน 3 คัน เข้าไปในสายการประกอบ โดยมีการจัดลำดับการผลิต (Model Sequence) เป็น ABCBCC จะเริ่มจากการผลิตรถยนต์ A ก่อน แล้วผลิตรถยนต์ B และ C ไปเรื่อยๆ จนครบตามลำดับการผลิตที่วางไว้

วิธีการคำนวณจากตารางที่ 2.5 โดยเริ่มจากการพิจารณาวัตถุประสงค์คือ จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดน้อยที่สุด โดยลำดับการผลิตคือ ABCBCC ซึ่งวิธีคำนวณดังต่อไปนี้

ตารางที่ 2.5 แสดงจำนวนการละเมิดของแต่ละตัวเลือก (Options)

ลำดับการผลิตรถยนต์	D-1			D						D+1			จำนวนการละเมิด
	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	6+1	6+2	6+3	
	C	A	C	A	B	C	B	C	C	B	A	C	
1/ 2	0	1	0	1	1	0	1	0	0	1	1	0	1
1/ 4	1	0	1	0	1	1	1	1	1	1	0	1	5
2/ 3	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1
1/ 3	1	1	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	4
													11

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาตัวเลือก (Option) ของหลังคาเปิด-ปิด ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/2 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิตคือ ABCBCC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 2 ลำดับโดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ต่อเมื่อในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนที่ต้องการแต่ถ้าลำดับของตัวเลือกนั้นได้ถูกนับการละเมิดไปแล้วในลำดับย่อยที่ผ่านๆมาแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิด เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการนับซ้ำ ซึ่งการนับแบบนี้จะป้องกันปัญหาการนับซ้ำที่เกิดในแต่ละรอบของการนับจำนวนการละเมิดในแต่ละลำดับย่อย ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -1 และ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณา

ลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้น ซึ่งเท่ากับ 2 (q=2) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C และ A ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกของหลังคาเปิด-ปิด นี้ แต่รถยนต์ A ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -1 และ1 ไม่ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 2 จึงไม่นับเป็นจำนวนการละเมิด ต่อไปพิจารณาลำดับการที่ 1 และ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ A และB ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A ต้องทำการประกอบตัวเลือกหลังคาเปิด-ปิดนี้และรถยนต์ B ก็ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ 1 และ2 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 2 จึงนับจำนวนนับการละเมิดเป็น 1 จำนวนที่ลำดับการผลิตที่ 2 พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆ ไปจนครบลำดับการผลิตทั้งหมด จะพบว่าจะมีจำนวนการละเมิดรวมของตัวเลือกหลังคาเปิด-ปิด ทั้งหมด 1 จำนวน

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาตัวเลือก (Option) ของระบบเบรก ABS ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/4 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิตคือ ABCBCC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 4 ลำดับโดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ต่อเมื่อในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนที่ต้องการแต่ถ้าลำดับของตัวเลือกนั้นได้ถูกนับการละเมิดไปแล้วในลำดับย่อยที่ผ่านๆมาแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิด เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการนับซ้ำ ซึ่งการนับแบบนี้จะป้องกันปัญหาการนับซ้ำที่เกิดในแต่ละรอบของการนับจำนวนการละเมิดในแต่ละลำดับย่อย ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -3 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้น ซึ่งเท่ากับ 4 (q=4) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C, A, C และA ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้มีจำนวน 2 คัน แต่รถยนต์ A ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -3 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 4 ที่ลำดับการผลิตที่ -1 แต่ไม่นับเป็นจำนวนการละเมิดเท่ากับ 1 เนื่องจากเป็นลำดับการผลิตของวันก่อนหน้านี้ ซึ่งเราจะนับจำนวนการละเมิดที่ผลิตเฉพาะวันปัจจุบัน ต่อไปพิจารณาลำดับการที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ A, C, A, B ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C และB ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ แต่รถยนต์ A ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 4 จึงนับเป็น 1 จำนวนการละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 2 ต่อไปพิจารณาลำดับการที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 3 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C,A,B,C ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C และB ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ แต่รถยนต์ A ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 3 ผลิตตัวเลือกนี้

ทั้งหมด 3 คันจาก 4 คันที่พิจารณา ซึ่งเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 4 แต่จะนับเป็น 1 จำนวนการละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 3 เนื่องจากลำดับการผลิตที่ 2 ได้ถูกนับไปแล้วในลำดับที่ย่อยที่พิจารณาก่อนหน้านี้ จึงไม่นับเป็น 2 จำนวนการละเมิด เนื่องจากจะทำให้เกิดปัญหาการนับซ้ำเกิดขึ้น พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต โดยลำดับการผลิตใดที่ได้มีการนับเป็นการละเมิดแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิดในลำดับย่อยที่จะพิจารณาครั้งถัดไป เพื่อจะได้ไม่เกิดปัญหาการนับซ้ำที่เกิดขึ้น ซึ่งจะพบว่าจะมีจำนวนการละเมิดรวมของตัวเลือกของระบบเบรก ABS มีทั้งหมด 5 จำนวน

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาตัวเลือก (Option) ของ Navigator ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2/3 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิตคือ ABCBCC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับโดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ต่อเมื่อในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนที่ต้องการแต่ถ้าลำดับของตัวเลือกนั้นได้ถูกนับการละเมิดไปแล้วในลำดับย่อยที่ผ่านๆมาแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิด เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการนับซ้ำ ซึ่งการนับแบบนี้จะป้องกันปัญหาการนับซ้ำที่เกิดในแต่ละรอบของการนับจำนวนการละเมิดในแต่ละลำดับย่อย ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้น ซึ่งเท่ากับ 3 (q=3) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ A,C และA ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A และC ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงนับจำนวนนับการละเมิดเป็น 1 จำนวนที่ลำดับการผลิตที่ 1 ต่อไปพิจารณาลำดับการที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C, A และB ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A, C ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย แต่รถยนต์ B ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 ไม่ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นจำนวนการละเมิด ต่อไปก็พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ซึ่งจะพบว่ามีจำนวนการละเมิดตัวเลือกของ Navigator นี้ทั้งหมด 1 จำนวน

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาตัวเลือก (Option) ของถุงลมนิรภัย ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิตคือ ABCBCC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับโดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ต่อเมื่อในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนที่ต้องการแต่ถ้าลำดับ

ของตัวเลือกนั้นได้ถูกนับการละเมิดไปแล้วในลำดับย่อยที่ผ่านๆมาแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิด เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการนับซ้ำ ซึ่งการนับแบบนี้จะป้องกันปัญหาการนับซ้ำที่เกิดในแต่ละรอบของการนับจำนวนการละเมิดในแต่ละลำดับย่อย ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้น ซึ่งเท่ากับ 3 (q=3) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ A,C และA ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A และC ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงนับจำนวนนับการละเมิดเป็น 1 จำนวนที่ลำดับการผลิตที่ 1 โดยไม่นับการละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ -1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะนับเฉพาะในวันปัจจุบันเท่านั้น เพราะลำดับของวันก่อนนี้ได้ถูกพิจารณาไปแล้วสำหรับการนับจำนวนการละเมิดในการผลิตของวันก่อนหน้า ต่อไปพิจารณาลำดับการที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C, A และB ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A, C ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ด้วย แต่รถยนต์ B ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 แต่ไม่นับเป็นจำนวนการละเมิด เนื่องจากลำดับการผลิตที่ 1 ได้ถูกนับไปแล้วในลำดับย่อยที่ได้พิจารณาก่อนหน้านี้แล้วและเพื่อไม่ให้เป็นการนับซ้ำ ต่อไปก็พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ซึ่งจะพบว่ามีจำนวนการละเมิดตัวเลือกของถุงลมนิรภัย นี้ทั้งหมด 4 จำนวน

ดังนั้นลำดับการผลิต ABCBCC จะพบจำนวนการละเมิดรวมของแต่ละตัวเลือก (Options) ทั้งหมด 11 จำนวน

3. **จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด** (Minimize the Number of Colour Changes)

ตารางที่ 2.6 แสดงจำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น

สี	สีเดียวกันติดต่อกันได้ไม่เกิน/คัน	จำนวนสีแต่ละรุ่นรถยนต์		
		A	B	C
1	2	0	1	1
2	2	1	1	0
3	2	0	0	1
4	2	0	0	1

ส่วนเรื่องของสีที่พ่นให้กับรถยนต์นั้นจะพิจารณาดูว่ามีการเปลี่ยนแปลงสีไปทั้งหมดกี่ครั้ง ตัวอย่างเช่น ลำดับการผลิตคือ ABCBCC มาจัดวางลำดับ โดยที่จะนำเอาลำดับสุดท้ายของวันที่ผ่านมามาวางในตำแหน่งที่ -1 เพื่อเป็นการพิจารณาว่าจะต้องมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีก่อนหรือไม่ โดยเมื่อมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีจะนับการเปลี่ยนแปลงสีเป็นหนึ่งครั้งแต่ถ้ามีการพ่นสีเดียวกันติดต่อกันเกิน 2 คันติดต่อกันก็จะต้องมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสี จึงจำเป็นต้องนับเป็นหนึ่งครั้ง เนื่องจากถ้าไม่ทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีจะทำให้ได้สีที่ไม่มีคุณภาพ โดยพิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิตของวันนั้น ซึ่งจะได้จำนวนการเปลี่ยนแปลงสีดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.7 แสดงจำนวนการเปลี่ยนแปลงสีของลำดับการผลิตรถยนต์ A B C B C C

ลำดับ	C-1	C					
	-1	1	2	3	4	5	6
รถยนต์	C	A	B	C	B	C	C
สี	1	2	1	1	2	3	4
#การเปลี่ยนแปลงสี	-	1	1	0	1	1	1
						รวม	5

ดังนั้นลำดับการผลิตรถยนต์ A B C B C C จะมีจำนวนครั้งที่เปลี่ยนแปลงทั้งหมด 5 ครั้ง

2.3.4 ลำดับการผลิตที่เป็นไปได้

ในปัญหาการจัดลำดับผลิตบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสม จะมีความแตกต่างของลำดับการผลิตในเรื่องของเวลาที่ใช้ในการดำเนินการและสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ จึงทำให้เกิดลำดับการผลิตที่มีความหลากหลาย ดังนั้นจำนวนลำดับการผลิตทั้งหมดสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 2.2 (Mansouri, 2005) (Akgunduz and Tunal, 2010)

$$\text{จำนวนลำดับการผลิตทั้งหมด (Total Sequence)} = \frac{(\sum_{m=1}^{M} d_m)!}{\prod_{m=1}^{M} (d_m!)} \qquad (2.2)$$

โดยกำหนดให้ M เป็นจำนวนรวมของผลิตภัณฑ์ m ทั้งหมด และ d_m เป็นจำนวนความต้องการของผลิตภัณฑ์ m แต่ละผลิตภัณฑ์ เมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นจะทำให้จำนวนของคำตอบที่เป็นไป

ได้จะเพิ่มขึ้นแบบก้าวกระโดดหรือเรียกว่าแบบ Exponential ปัญหาการจัดลำดับการผลิตจึงจัดเป็นปัญหาชนิดแบบ NP-hard

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัยได้รวมรวบและศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยแบ่งเป็นหัวข้อดังนี้

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบแบบสองด้าน

2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

2.5.1 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบแบบสองด้าน

Kim et al. (2000) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้านที่มีการกำหนดสถานีงาน เพื่อหารอบเวลา (Cycle Time) การผลิตที่น้อยที่สุดด้วย โดยอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหาคือ วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยสายการประกอบประเภทนี้จะเหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่ หลังจากนำอัลกอริทึมเจนเนติกอัลกอริทึมมาให้ในการแก้ปัญหาการผลิตพบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสำหรับกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ได้ดี

Lee et al. (2001) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้าน โดยมีการนำเอาวิธีการจัดกลุ่มเข้ามามีส่วนร่วมในการจัดสรรขั้นงานแต่ละขั้นงานลงไปในสถานีงานที่เหมาะสม โดยได้มีการกำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยก็คือเพื่อให้ได้ Work Relatedness และ Work Slackness ที่มีค่าน้อยที่สุด โดยจากการจัดสรรขั้นงานได้มีการจัดสรรขั้นงานโดยยึดความสัมพันธ์ก่อน-หลังของแต่ละขั้นงานเป็นตัวกำหนดโดยคาดหวังว่าจะทำให้ลดรอบเวลาการทำงานและจำนวนสถานีงานลง ซึ่งผลที่ได้ก็ปรากฏว่าเวลาของรอบการทำงาน และสถานีงานลดน้อยลง

Ozcan and Toklu (2009a) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้าน โดยได้มีการนำเสนอออกเป็นวิธีการต่างๆคือ วิธี Mathematical Model, วิธี Pre-Emptive Goal Programming Model และ วิธี Fuzzy Goal Programming Model เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาประเภทนี้ โดยสนใจที่จะเอาไปแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับจำนวน

สถานีงาน โดยได้กำหนดวัตถุประสงค์ก็คือเพื่อทำให้จำนวนคู่ของสถานีงาน และจำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

Kim et al. (2009) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในรูปแบบของชนิดสายการประกอบแบบสองด้าน โดยได้นำเสนอ Mathematical Model และนำอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหา โดยนำวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมเข้ามาแก้ปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาคือเพื่อทำให้จำนวนของรอบเวลาการทำงานให้มีค่าน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดค่าของจำนวนของคู่สถานีงาน (Mated-Stations) ไว้ในการทำการวิจัย

Ozcan and Toklu (2009b) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน โดยได้นำเสนอ Mathematical Model และอัลกอริทึม Simulated Annealing มาใช้สำหรับการแก้ปัญหา โดยให้ความสำคัญในเรื่องลดของจำนวนคู่สถานีงาน (Mated-Stations) และลดจำนวนสถานีงาน โดยกำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยเพื่อจะได้ทำให้มีจำนวนของคู่สถานีงานและจำนวนสถานีงานค่าน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดค่าของรอบเวลาการทำงานในแต่ละปัญหาที่ใช้ในการแก้ปัญหา

Ozcan and Toklu (2010) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยที่เวลาของการปรับตั้งเครื่องขึ้นอยู่กับลำดับของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ก่อนหน้า โดยได้นำเสนอวิธี Mixed Integer Program (MIP) และวิธี 2-COMSOAL/S มาใช้ โดยให้ความสำคัญในเรื่องลดของจำนวนคู่สถานีงาน (Mated-Stations) และลดจำนวนสถานีงาน จึงกำหนดวัตถุประสงค์คือเพื่อทำให้ค่าจำนวนของคู่สถานีงาน (Mated-Stations) และจำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ผลสรุปของงานวิจัยในการแก้ปัญหาพบว่าทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพที่ดีใกล้เคียงกันสำหรับใช้ในการแก้ปัญหาประเภทนี้

2.5.2 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

Tsai (1995) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตสำหรับหลายผลิตภัณฑ์ โดยกำหนดวัตถุประสงค์การวิจัยคือเพื่อทำให้ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จ และความเสี่ยงในการหยุดของสายการประกอบมีค่าน้อยที่สุด โดยหลังจากการวิจัยได้พบว่าปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบหลายผลิตภัณฑ์เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากและมีความสลับซับซ้อนในการแก้ปัญหาหรือที่เรียกว่าเป็นปัญหาแบบ NP-hard

Hyun et al. (1998) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์แบบผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยได้ศึกษา 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน คือ จำนวนผลรวมของปริมาณงานที่ไม่เสร็จมีค่าน้อยที่สุด อัตราการใช้ชิ้นส่วนประกอบสม่ำเสมอ และผลรวมจำนวนค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการปรับตั้งเครื่องมีค่าน้อยที่สุด โดยได้พัฒนาวิธีการการค้นหาคำตอบเพื่อทำให้ได้กลุ่มของคำตอบที่มีประสิทธิภาพสำหรับใช้ในกการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ จึงได้เสนอวิธีการที่มีชื่อว่า Pareto Stratum-Niche Cubic (PS-NC) มาใช้ในการแก้ปัญหา

McMullen and Frazier (2000) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์สำหรับระบบผลิตที่เป็นแบบทันเวลาพอดี โดยได้นำอัลกอริทึม Simulated Annealing มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับที่มีวัตถุประสงค์คือการปรับตั้งเครื่องมีค่าน้อยที่สุด และอัตราการใช้ชิ้นส่วนประกอบที่สม่ำเสมอ ผลของงานวิจัยสรุปว่าอัลกอริทึม Simulated Annealing มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก

McMullen et al. (2001) ได้ศึกษาลักษณะการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) โดยนำอัลกอริทึมหลายๆตัวมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้แก่วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม วิธี Simulated Annealing และวิธี Tabu Search มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต โดยสนใจในเรื่องของการทำให้ระบบการผลิตมีความยืดหยุ่นมากที่สุด และการปรับตั้งเครื่องให้เกิดขึ้นน้อยครั้งที่สุด โดยผลสรุปของงานวิจัยพบว่าวิธีทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาประเภทนี้ได้มีความใกล้เคียงกันในกรณีปัญหาที่มีขนาดเล็ก ส่วนอัลกอริทึมของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึมนั้นพบว่ามีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสำหรับกรณีปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าสองวิธีที่กล่าวข้างต้น

Kotani et al. (2004) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์แบบผสม โดยนำระบบการผลิตของบริษัทรถยนต์ยี่ห้อโตโยต้า ซึ่งก็คือระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยให้ความสำคัญในเรื่องของการทำให้เกิดการหยุดของสายการผลิตน้อยที่สุด โดยถ้าเกิดการหยุดของสายการประกอบจำมีการป้อนพนักงานเข้าไปปรับปรุงแก้ไขให้สายการประกอบกลับสู่สภาพคงเดิมและในเรื่องของการใช้ชิ้นส่วนประกอบให้มีความสม่ำเสมอ จึงนำทั้ง 2 ข้อมากำหนดเป็นวัตถุประสงค์ในการทำงานวิจัย โดยได้มี

การนำเสนอวิธี Approximation Algorithm มาช่วยค้นหาคำตอบเพื่อแก้ปัญหาประเภทนี้ให้เกิดความเหมาะสม

Mansouri (2005) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์ผสมบนสายการประกอบของระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) โดยมีการนำเอาอัลกอริทึมที่มีชื่อว่า เจนเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Genetic Algorithms: MOGAs) มาใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อจะทำให้เกิดอัตราความผันแปรในการผลิตที่น้อยที่สุดและจำนวนครั้งการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด แต่จากสิ่งที่สนใจในเรื่องทั้งสองที่จะใช้ในการแก้ปัญหาพบว่า เป็นเรื่องที่มีความขัดแย้งกันโดยตรงหรือกล่าวได้ว่าเป็นเรื่องที่มีความผันแปรกันในทิศทางตรงกันข้าม จึงทำให้จะได้คำตอบที่ไม่ใช่เป็นคำตอบที่น้อยที่สุดของแต่ละวัตถุประสงค์แต่จะเป็นคำตอบที่มีความเหมาะสมที่ใช้ในการแก้ปัญหา ซึ่งพบว่าวิธี MOGAs มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตมากกว่าวิธีการอื่นๆ

Ding et al. (2006) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์แบบผสมบนสายการประกอบโดยมีหลายวัตถุประสงค์ที่สนใจที่จะใช้ในการแก้ปัญหาก็คือ เพื่อทำให้เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมีความแตกต่างกันของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดให้มีค่าน้อยที่สุด โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยคือ ความสม่ำเสมอของการใช้ชิ้นส่วนประกอบ ความสม่ำเสมอในเรื่องปริมาณปริมาณงานและภาระงานให้มีค่าน้อยที่สุด โดยในงานวิจัยได้นำวิธีการ Comparing Two Weighted มาใช้ในการแก้ปัญหาและผลการวิจัยก็จะชี้ให้เห็นว่าวิธีการดังกล่าวนั้นมีประสิทธิภาพสำหรับนำไปใช้ในปัญหานี้

Konak et al. (2006) ได้ศึกษาการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยได้มีการนำเอาอัลกอริทึมที่มีชื่อว่า เจนเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการแก้ปัญหาเรื่องนี้ โดยได้นำเจนเนติกอัลกอริทึมไปประยุกต์ใช้กับอัลกอริทึมต่างๆมากมาย เช่น Vector Evaluated GA (VEGA), Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA), Niched Pareto Genetic Algorithm (NPGA), Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA) และ Fast Nondominated Sorting Genetic Algorithm (NSGA-II) เป็นต้น โดยจากผลการวิจัยพบว่าเจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับหลายวัตถุประสงค์

Simon (2008) ได้มีการนำเสนออัลกอริทึมใหม่ที่มีชื่อว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography Based Optimization: BBO) โดยใช้แนวคิดการย้ายถิ่นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีความต้องการที่จะอยู่อาศัยในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้าพื้นที่ที่อยู่นั้นมีความหนาแน่น สิ่งมีชีวิตจะเริ่มทำการย้ายที่อยู่อาศัยไปสู่ที่อื่นที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่า และพัฒนาที่อยู่ใหม่ให้มีความอุดมสมบูรณ์ โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์นี้ได้มีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากปัญหาในภาคปฏิบัติ ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมหลายตัว

Mo and Xu (2010) ได้ทำวิจัยโดยได้นำเอาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์หรือ BBO มาทำการแก้ปัญหาที่เรียกว่า Travelling Salesman โดยนำมาประยุกต์ให้สามารถใช้ในการแก้ปัญหามีชื่อว่า TSPBMA (Travelling Salesman Biogeography Migration Algorithm) โดยมีอัลกอริทึมที่นำมาใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพคือ ACO, GA, PSO, IA และ Fish Swarm ซึ่งผลสรุปงานวิจัยพบว่าวิธี TSPBMA (Travelling Salesman Biogeography Migration Algorithm) เป็นอัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา และยังเป็นอัลกอริทึมที่ใช้เป็นทางเลือกในการแก้ปัญหาประเภทนี้

Ma (2010) ได้ศึกษาในเรื่องของรูปแบบชนิดต่างๆสำหรับนำไปใช้ในการอพยพเคลื่อนย้ายของวิธีการที่มีชื่อว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography Based Optimization: BBO) โดยใช้ค่าของ Species Count ในการเลือกว่าควรจะมีการอพยพเข้ามากน้อยเท่าใด โดยงานวิจัยนี้ได้ทำการเปรียบเทียบชนิดของรูปแบบการอพยพออกเป็น 6 รูปแบบ โดยผลการวิจัยสรุปได้ว่า การอพยพรูปแบบที่ไม่ใช่เส้นตรง (Nonlinear Migration Models) มีความเหมาะสมกว่ารูปแบบเส้นตรง (Linear Migration Models)

นพพล คำภิรมย์ [2551] ได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยู โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรและความผันแปรของภาระงานในระบบการผลิตน้อยที่สุด ผลจากงานวิจัยพบว่า COIN จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อได้มีการรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II สามารถนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์บนสายการประกอบลักษณะตัวยูได้มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ จากงานวิจัยที่กล่าวมา พบว่า COIN มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่

รวดเร็ว เนื่องจากมีการจดจำลักษณะตำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันและมีการจดจำลักษณะตำแหน่งของผลิตภัณฑ์ที่ดีและไม่ดี

กรรณ จิตเมตตา (2011) ได้ศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้งหมด 2 วัตถุประสงค์โดยพิจารณาไปพร้อมกันได้แก่ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด และปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด โดยนำอัลกอริทึมแต่ละตัวมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้แก่ COMSOAL, NSGA-II, DPSO, BBO และ PSONK โดยผลการวิจัยพบว่าวิธี PSONK มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธีการอื่นๆ

วันวิสา นฤมิตวงศ์ (2012) ได้ศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านโดยมีในเรื่องของผลกระทบจากการเรียนรู้เข้ามาเกี่ยวข้อง โดยมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์โดยพิจารณาไปพร้อมกันได้แก่ ความแปรผันของการผลิตน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด และเวลาการปรับตั้งเครื่องน้อยที่สุด โดยนำอัลกอริทึมที่มีการยอมรับว่ามีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาประเภทนี้มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพได้แก่ BBO, NSGA-II, DPSO, PSONK และ BBO Adaptive โดยผลการวิจัยพบว่าวิธี BBO Adaptive มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธีการอื่นๆ

2.5.3 งานวิจัยเกี่ยวข้องกับลักษณะการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

Gagne et al. (2006) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยงานวิจัยนี้ได้เสนอวิธีการ ant-colony optimization (ACO) และวิธีการ Integer Linear Program (ILP) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์โดยนำข้อมูลจาก Groupe Renault โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง จำนวนการเปลี่ยนแปลงสีและจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าวิธีการ Ant-Colony Optimization (ACO) นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี Integer Linear Program (ILP)

Cordeau et al. (2008) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม Tabu Search มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์โดยนำผลที่ได้จากงานวิจัย The ROADEF challenge ในปี 2005 มาใช้ในการเปรียบเทียบ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการ

เปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าอัลกอริทึม Tabu Search นั้นง่ายต่อการนำไปใช้งานจริงและมีความรวดเร็วในการหาคำตอบ

Knausz (2008) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำวิธีการ Parallel Multi Neighbourhood-Order Variable Neighbourhood Search (PMNOVNS) เปรียบเทียบกับ Parallel Efficiency Guided Variable Neighbourhood Search (PEGVNS) และ Time Restricted Randomised Variable Neighbourhood Search (TRRVNS) โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด ผลสรุปจากงานวิจัยนี้คือ วิธีการ PEGVNS มีประสิทธิภาพมากที่สุดเมื่อเปรียบกับอีกสองวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหางานวิจัย

Ribeiro et al. (2008) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำวิธีการVariable Neighborhood Search (VNS) และ Iterated Local Search (ILS) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์โดยนำผลที่ดีที่สุดจากงานวิจัย The ROADEF challenge ในปี 2005 มาใช้ในการเปรียบเทียบ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าวิธีการที่ใช้ในงานวิจัยนี้ดีประสิทธิภาพกว่าผลที่ดีที่สุดจากงานวิจัย The ROADEF challenge ในปี 2005 ในบ้างกรณีหรือถ้าเปรียบลำดับก็จะอยู่ประมาณลำดับที่สองของการแข่งขัน

Solnon et al. (2008) ได้นำเสนอการจัดการแข่งขันปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์เมื่อปี 2005 โดยใช้ข้อมูลจริงจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์(RENAULT) ในประเทศฝรั่งเศส ในการแข่งขันนั้นมีผู้เข้าร่วมการแข่งขันจะเสนอวิธีการต่างๆในการแก้ปัญหาโดยได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ 3 วัตถุประสงค์คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยผู้ชนะได้เลือกเอาวิธีการ Local Search มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยผลที่ได้จากการแข่งขันนี้ได้นำไปสู่งานวิจัยต่อๆไปในการใช้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการแข่งขันนี้

Malte Fliedner and Boysen [2008] ได้นำอัลกอริทึม Branch & Bound มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์เพื่อแก้ปัญหาภาระงานเกินในสถานีงาน โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอวิธีการนับจำนวนการละเมิดแบบใหม่จากเดิมที่ใช้การนับที่เรียกว่า Sliding Window ซึ่งการนับแบบนี้จะมีข้อเสียคือ เกิดการนับจำนวนการละเมิดที่ซ้ำเกิดขึ้นในแต่ละลำดับย่อยที่พิจารณา จึงทำให้ได้จำนวนการละเมิดที่มากเกินความเป็นจริง งานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการนับจำนวนการละเมิดแบบใหม่ขึ้น โดยจะนับจำนวนการละเมิดก็ในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนความต้องการและถ้าได้มีการนับไปแล้วในลำดับย่อยก่อนหน้านี้จะไม่ถูกนับในลำดับย่อยที่กำลังพิจารณาอยู่ ซึ่งการนับนี้จะป้องกันการนับซ้ำ

Zinflou et al. (2008) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปแม้ว่าวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GA) จะเป็นวิธีการที่ลำยากในการกำหนดค่าและใช้เวลาในการหาคำตอบที่ค่อนข้างนาน แต่วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับของอุตสาหกรรมรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์

Zinflou et al. (2009) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม PMS^{MO} (Pareto Memetic Strategy for multiple objective) มาเปรียบเทียบกับ NSGAII มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าอัลกอริทึม PMS^{MO} เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธี NSGAII

Zinflou et al. (2011) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม GISMOO มาเปรียบเทียบกับ NSGAII กับ PMSMO โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีการ GISMOO เป็นลูกผสมระหว่างวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) และระบบภูมิคุ้มกันเทียม มาใช้ในการแก้ปัญหา สรุปว่าอัลกอริทึม GISMOO เป็นวิธีการมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา เนื่องจากวิธีการนี้แก้ปัญหาช่องว่างระหว่างทฤษฎีกับแนวทางการปฏิบัติในปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมรถยนต์

บทที่ 3
อัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบในงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) วิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E)

3.1 วิธีของเจนเนติกอัลกอริทึม (Non-dominated Sorting Genetic Algorithms: NSGA-II)

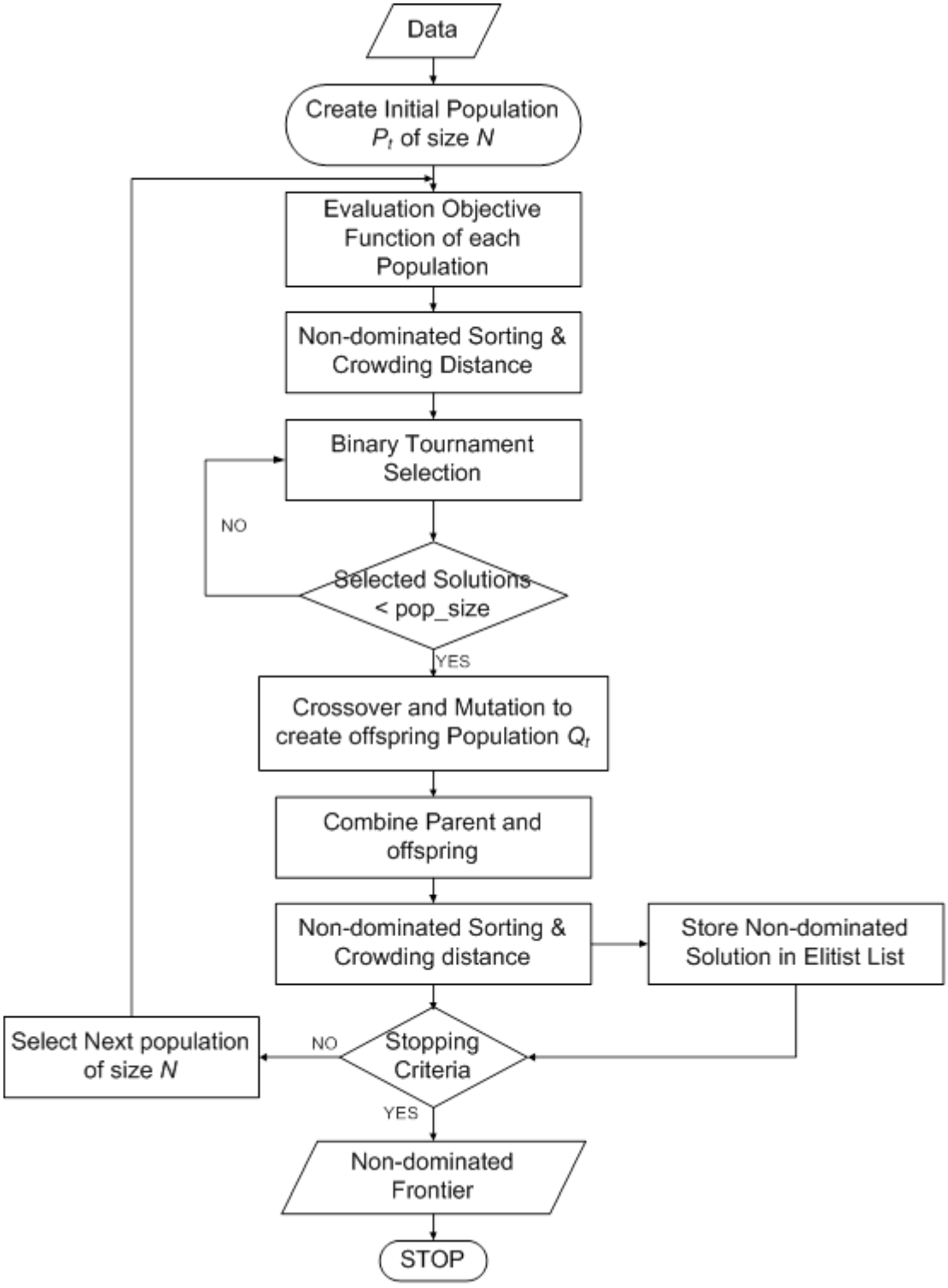
เจนเนติกอัลกอริทึม เป็นอัลกอริทึมที่เกิดจากแนวความคิดเรื่องพันธุกรรมของมนุษย์ ในเรื่องที่พ่อแม่จะถ่ายทอดพันธุกรรมไปสู่ลูก โดยจะเอาพันธุกรรมที่พ่อแม่ให้มาแล้วเข้าสู่กระบวนการคัดแยกเพื่อเป็นอีกคุณลักษณะ(Character) โดยจะเก็บเอาคำตอบของทั้งที่มาจากพันธุกรรมพ่อแม่และจากการที่ผ่านกระบวนการเป็นคุณลักษณะของรุ่นลูก เพื่อจะทำให้คำตอบที่ดีไม่ถูกหายไปจากกระบวนการคัดแยกคุณลักษณะ โดยวิธีการทางฮิวริสติกนี้ถือเป็นวิธีการที่นำมาใช้ได้การค้นหาคำตอบ เนื่องจากจะได้คำตอบที่มีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพที่ 3.1)

1. Data Input ข้อมูลการการนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ ได้แก่ จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละคัน ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป สีสุดท้ายที่ได้ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละชนิด เวลาการทำงานของรถยนต์ เวลาปรับตั้งเครื่องของรถยนต์แต่ละคัน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของขั้นงาน สถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว และค่าอัตราส่วนการผลิตย่อย
2. Representation & Initialization นำข้อมูลที่ได้นำเข้าจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเลือก P_t มาจำนวน N ตัว
3. Evaluation นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting
5. Density Information กำหนดค่าความหนาแน่นให้ให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowing Distance (Deb et al., 2002)
6. Selection นำสตริงคำตอบที่ดีเข้าสู่ Mating Pool ด้วยวิธี Binary Tournament Selection
7. Crossover นำสตริงคำตอบที่จัดไว้ใน Mating Pool มาทำการแลกเปลี่ยนลักษณะของตำแหน่งการผลิตของแต่ละตำแหน่งด้วยวิธี Weight Mapping Crossover (WMX)
8. Mutation นำสตริงคำตอบมาสลับกันภายในสตริงคำตอบของตัวเองด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation
9. Combination Population ทำการนำสตริงคำตอบที่ผ่านกระบวนออกมาเป็นรุ่นลูก (Q_t) มารวมกับสตริงคำตอบเริ่มแรกที่เป็นของพ่อแม่ (P_t)
10. Selection Next Population คัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกระบวนการขั้นตอนที่ 9 เพื่อนำไปใช้เป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในแต่ละรอบต่อไป
11. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำกับคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้และนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไปสร้างเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบต่อไป
12. Stopping Criteria ทำการวนซ้ำกระบวนการจนคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้
13. Stop หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ แล้วเก็บคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 12 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินการของวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม

ตัวอย่างวิธีการขั้นตอน NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน อยู่ในภาคผนวก ง

3.2 วิธีของการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO)

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง เป็นอัลกอริทึมที่เกิดจากพฤติกรรมของนกในการหาอาหาร โดยจะจดจำเส้นทางที่นกแต่ละฝูงที่ได้ออกบินไปหาอาหารแล้วพบเจออาหารไว้ โดยนกแต่ละฝูงก็จดจำเส้นทางที่ดีที่สุดของแต่ละฝูง เพื่อจะได้บินมาหาอาหารใหม่ในครั้งต่อไป โดยวิธีการนี้จะเป็นวิธีการที่จะค้นพบคำตอบได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากมีการจดจำเส้นทางที่จะนำไปสู่คำตอบที่ดี โดย Kennedy and Eberhart (1995) ได้เป็นผู้ที่ริเริ่มวิธีการนี้ จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization) เพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางระบบผลิต (Liao et al., 2007)

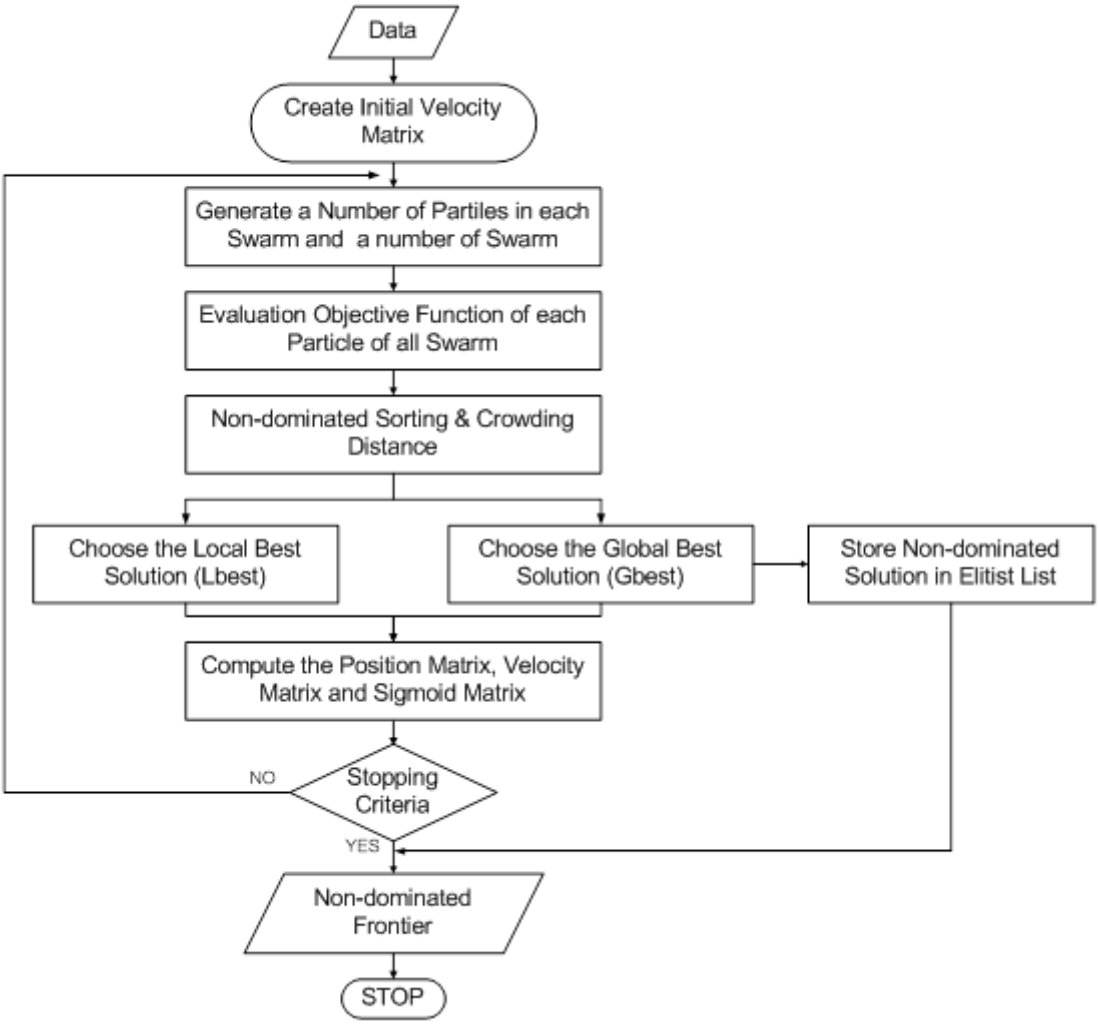
3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพที่ 3.2)

1. Data Input ข้อมูลการการนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ ได้แก่ จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละคัน ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป สีสุดท้ายที่ได้ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละชนิด เวลาการทำงานของรถยนต์ เวลาปรับตั้งเครื่องของรถยนต์แต่ละคัน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของขั้นงาน สถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว และค่าอัตราส่วนการผลิตย่อย
2. Representation & Initialization นำข้อมูลที่ได้นำเข้าจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเลือก P_t มาจำนวน N ตัว
3. Evaluation นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด
4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting
5. Density Information กำหนดค่าความหนาแน่นให้ให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowing Distance (Deb et al., 2002)

6. Selection เก็บค่าคำตอบจากสตริงคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และเก็บคำตอบที่ดีจากสตริงคำตอบของประชากรทั้งหมด (Gbest) และนำมาคัดเลือกโดยวิธี Non-dominated Sorting
7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ทำการเก็บจากรอบก่อนหน้า แล้วมารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการเก็บในรอบปัจจุบัน แล้วนำมาคัดเลือกหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยวิธี Non-dominated Sorting
8. Update Matrix ทำการอัพเดกตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และอัพเดกตารางตำแหน่งอนุภาค (Position Matrix) โดยที่ได้จากคำตอบที่ดีของแต่ละฝูง (Lbest) และจากคำตอบที่ดีของสตริงคำตอบทั้งหมด (Gbest)
9. Compute Sigmoid Matrix นำตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมาสร้างเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เรียกว่าตาราง Sigmoid Function โดยใช้ตารางนี้ในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป
10. Stopping Criteria ทำการวนซ้ำกระบวนการจนคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้
11. Stop หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ แล้วเก็บคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 10 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

ตัวอย่างวิธีการขั้นตอน DPSO ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน อยู่ในภาคผนวก จ



ภาพที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี DPSO

3.3 วิธีของการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO)

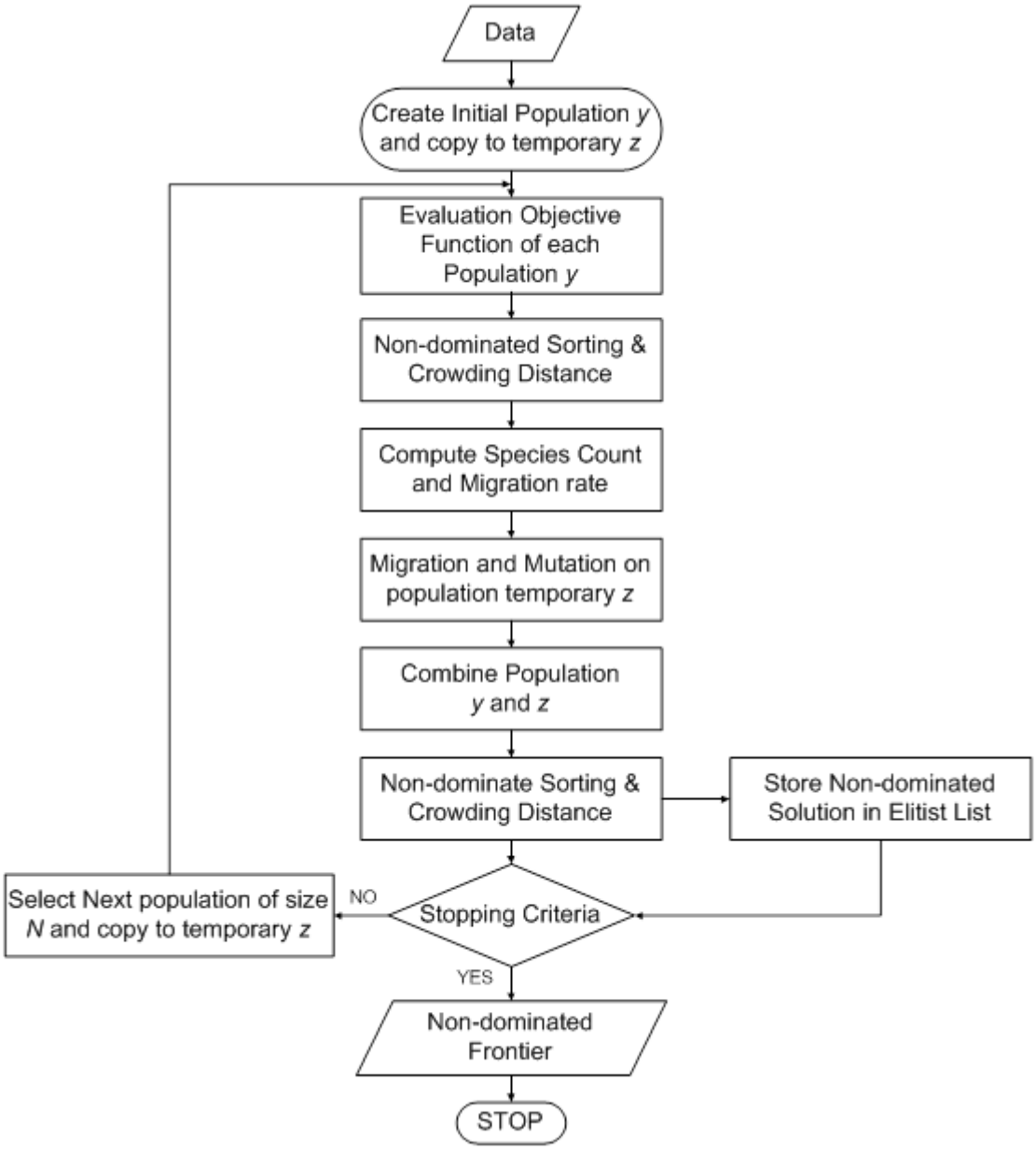
Simon [5] ได้มีการนำเสนออัลกอริทึมใหม่ที่มีชื่อว่า วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (Biogeography Based Optimization: BBO) โดยใช้แนวคิดการย้ายถิ่นฐานของสิ่งมีชีวิตที่มีความต้องการที่จะอยู่อาศัยในที่ที่มีความอุดมสมบูรณ์ แต่ถ้าพื้นที่ที่อยู่นั้นมีความหนาแน่น สิ่งมีชีวิตของจะเริ่มทำการย้ายที่อยู่อาศัยไปสู่ที่อื่นที่มีความอุดมสมบูรณ์น้อยกว่าและพัฒนาที่อยู่ใหม่ให้มีความอุดมสมบูรณ์ โดยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์นี้ได้มีการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากปัญหาในภาคปฏิบัติ ซึ่งพบว่าคำตอบที่ได้จึงมีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมหลายตัว

3.3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ BBO ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพที่ 4.1)

1. Data Input ข้อมูลการการนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ ได้แก่ จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละคัน ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป สีสุดท้ายที่ได้ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละชนิด เวลาการทำงานของรถยนต์ เวลาปรับตั้งเครื่องของรถยนต์แต่ละคัน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของขั้นงาน สถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว และค่าอัตราส่วนการผลิตย่อย
2. Representation & Initialization นำข้อมูลที่ได้นำเข้าจากขั้นตอนที่ 1 มาสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเลือก P_t มาจำนวน N ตัว
3. Evaluation นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด
4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989) หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting
5. Density Information กำหนดค่าความหนาแน่นให้ให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowing Distance (Deb et al., 2002)
6. Migration Rate กำหนดรูปแบบที่จะใช้ในการอพยพ (Migration Model) ทำการประเมินค่าอัตราการอพยพเข้าถิ่นฐานที่อยู่อาศัย (λ), อัตราการอพยพออกถิ่นฐานที่อยู่อาศัย (μ), ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการอพยพเข้าเข้าถิ่นฐานที่อยู่อาศัย (P_λ), ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการอพยพออกถิ่นฐานที่อยู่อาศัย (P_μ) และค่าความน่าจะเป็นที่จะเกิดในสปีชีส์เคาท์ (P_κ)
7. Migration ทำการอพยพโดยจะพิจารณาที่ละบิทในการอพยพเข้าและอพยพออกจนครบทุกสตริงคำตอบของประชากรทั้งหมดก็จะได้สตริงคำตอบที่ผ่านกระบวนการพิจารณาการอพยพ
8. Mutation สุ่มเลือกสตริงคำตอบที่ได้จากการอพยพมาเข้าสู่กระบวนการมิวเตชั่น โดยการสลับตำแหน่งภายในสตริงคำตอบของตัวเองด้วยวิธี Reciprocal Exchange Mutation

9. Selection Next Population นำสตริงคำตอบเริ่มต้น สตริงคำตอบที่ได้ผ่านกระบวนการอพยพและสตริงคำตอบจากกระบวนการมิวเตชั่น มาจัดลำดับโดยวิธีการ Non-dominated Sorting เพื่อจะได้เก็บคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันและนำสตริงคำตอบที่ดีนี้ไปใช้เป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบต่อไป
10. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำกับคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้และนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไปสร้างเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบต่อไป
11. Stopping Criteria ทำการวนซ้ำกระบวนการจนคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้
12. Stop หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ แล้วเก็บคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 11 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด



ภาพที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี BBO

ตัวอย่างวิธีการขั้นตอน BBO ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน อยู่ในภาคผนวก ฉ

3.4 วิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E)

วิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) จะกล่าวในบทถัดไป

3.5 สรุปท้ายบท

เนื้อหาที่กล่าวในบทนี้เป็นการนำทฤษฎีเบื้องต้นของอัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ ได้แก่ วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) โดยแต่ละวิธีการจะมีขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างกันในการค้นหาคำตอบเพื่อจะให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพที่สุด ซึ่งแต่ละวิธีการก็จะมีจุดเด่นในการค้นหาคำตอบ ตัวอย่างเช่น วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II) ก็จะเป็นการนำเอาแนวความคิดการถ่ายทอดทางพันธุกรรมของมนุษย์มาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ก็จะนำเอาแนวคิดการหาอาหารของฝูงนกมาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) ก็จะนำเอาแนวคิดการเคลื่อนย้ายถิ่นฐานที่อยู่อาศัยโดยพยายามทำให้ที่อยู่อาศัยของเราให้มีความอุดมสมบูรณ์มากที่สุด

บทที่ 4

ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการบรรจวบ และการนำเอาวิธีการบรรจวบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

ในบทนี้จะกล่าวถึงมีเนื้อหาของทฤษฎีของวิธีการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) และการนำวิธีการบรรจวบไปประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบสองด้าน ตัวอย่างการคำนวณพารามิเตอร์ที่เหมาะของวิธีกรบรรจวบ และการพัฒนาวิธีการบรรจวบให้มีประสิทธิภาพโดยได้มีการนำเสนอเป็นวิธีการที่มีชื่อว่า วิธีการบรรจวบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E)

4.1 วิธีการบรรจวบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN)

COIN มีแนวคิดหลักนั้นเป็นการศึกษาแนวทางของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (Not Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน โดยสตริงคำตอบที่ดีจะทำการให้รางวัล (Reward) แต่ถ้าสตริงคำตอบนั้นเป็นสตริงคำตอบที่ไม่ดีก็จะทำการลงโทษ (Punish) เพื่อเป็นตัวกำหนดทิศทางของคำตอบสุดท้าย โดยมีการสร้างตารางความน่าจะเป็นขึ้นมาแล้วสุ่มเลือกมาสร้างประชากรเริ่มต้น โดยมีการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นตลอดเวลาในแต่ละรอบ โดยปรับปรุงตามคำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี ถ้าเกิดเป็นคำตอบที่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะมากขึ้นเพื่อใช้ในการสุ่มรอบถัดไป แต่ถ้าคำตอบไม่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะถูกลดลงเพื่อจะได้สุ่มเจอน้อยลงในรอบถัดไป (นพพล ,2551)

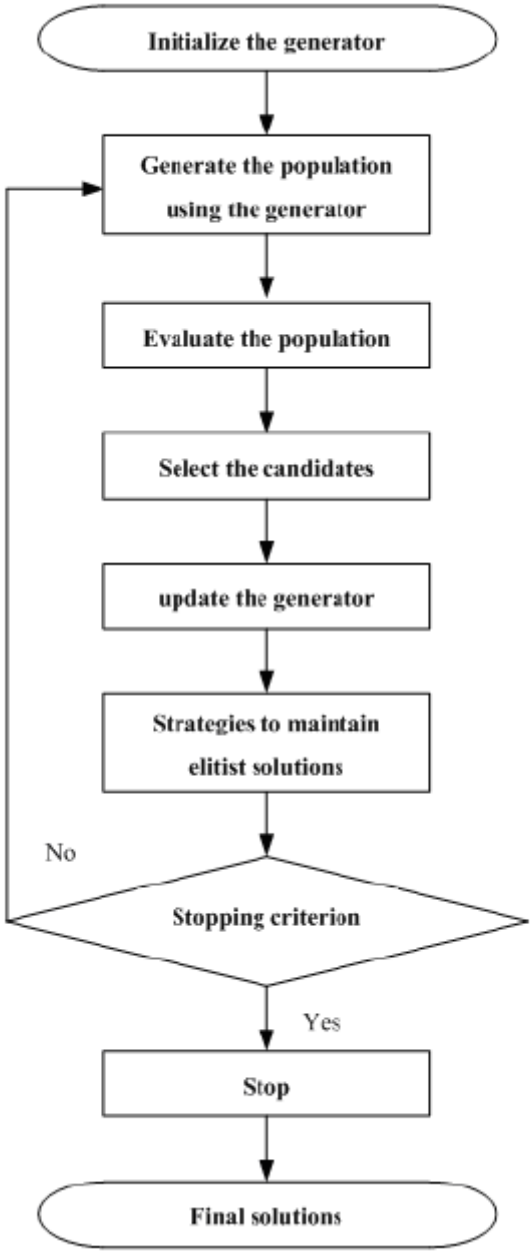
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพที่ 4.1)

14. Initialize the generator สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นโดยดูที่สัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ (MPS) เท่ากับขนาด n x n โดยที่ n จะเท่ากับจำนวนความยาวของ MPS ของแต่ละปัญหา
15. Generate the population using the generator เลือกลำดับการผลิตโดยการสุ่มจากตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดประชากร (Population Size) ที่

กำหนด โดยรอบแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น

16. Evaluation the population นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดและทำการหา Non-Dominated Sorting เพื่อหาลำดับการผลิตของรถยนต์ที่เป็นคำตอบดี และลำดับการผลิตรถยนต์ที่เป็นคำตอบไม่ดี
17. Select the candidates คัดเลือกคำตอบดีและคำตอบไม่ดี โดยพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยถ้าเป็นคำตอบที่ดีค่า Fitness จะมีค่าน้อยที่สุดแต่ถ้าเป็นคำตอบที่ไม่ดีค่า Fitness จะมีค่ามากที่สุด
18. update the generator ปรับปรุงตารางค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัลในกรณีคำตอบดี และการลงโทษในกรณีคำตอบไม่ดี เพื่อใช้ในการสุ่มเลือกรอบถัดไป
19. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำกับคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้จนครบจำนวนซ้ำของคำตอบที่ต้องการ
20. Repeat Step 2 กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั้งครบตามจำนวนรอบที่กำหนด



ภาพที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินการของวิธี COIN

4.3 ตัวอย่างการนำเอาวิธีการบรรจวบไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

4.3.1 ข้อมูลการการนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

ข้อมูลนำเข้าต่างๆ ได้แก่ จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละคัน ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป สีสุดท้ายที่ได้ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละชนิด เวลาการทำงานของรถยนต์ เวลาปรับตั้งเครื่องของรถยนต์แต่ละคัน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของขั้นงาน สถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว และค่าอัตราส่วนการผลิตย่อย

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธี COIN มีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
2. ค่าในการให้รางวัล (Reward) เท่ากับ 0.1
3. ค่าในการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1

4.3.1 การสร้างสตริงคำตอบที่ใช้ในการทำงานเริ่มต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการคือตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) โดยทำการนำจำนวนรถยนต์ทั้งหมด นำมาสร้างตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม ดังนี้ จำนวนชนิดของรถยนต์ 3 รุ่น ได้แก่ A, B และ C มีจำนวน Minimum Part Set (MPS) คือ 2:3:4 แสดงว่าในการจัดลำดับการผลิตครั้งนี้จะต้องมีรถยนต์ A จำนวน 2 คัน ผลิตรถยนต์ B จำนวน 3 คันและรถยนต์ C จำนวน 4 คัน เข้าไปในสายการประกอบ จากนั้นทำการใส่รหัสงานให้กับรถยนต์ที่ทำการจัดลำดับการผลิต

Model Sequence	A A B B B C C C C
String	1 2 3 4 5 6 7 8 9

เมื่อกำหนดรหัสของรถยนต์ที่จะทำการผลิตแล้ว ทำการสุ่มลำดับการผลิตรถยนต์มาจำนวน 5 จำนวนประชากร โดยมรลำดับการผลิตดังนี้

Strings	Model Sequences
1	9 1 3 6 2 4 7 5 8
2	9 5 3 7 8 2 6 4 1
3	7 5 3 9 2 8 6 1 4
4	7 6 3 4 9 8 5 1 2
5	1 6 5 4 9 7 3 2 8

โดยพิจารณาสตริงคำตอบแต่ละสตริงคำตอบจะมีจำนวนความยาวของ MPS (Length of MPS) หรือจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด คือ 9 หน่วย ดังนั้นขนาดของตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมคือ 9 x 9 โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์เริ่มแรก โดยที่การเริ่มต้นค่าความน่าจะเป็นในการถูกสุ่มเลือกเท่ากันทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{9-1} = 0.125$ เมื่อ n คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.1 ตารางค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.000	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
2	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
3	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
4	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
5	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250
6	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250
7	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250	0.1250
8	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000	0.1250
9	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.0000

จากตารางที่ 4.1 ค่าความน่าจะเป็นร่วมมีขนาดเท่ากับ n x n = 9x9 โดยเส้นทแยงมุมของตารางมีค่าเท่ากับ 0 เพราะว่าไม่มีโอกาสของการถูกสุ่มเลือกแล้วเจอรถยนต์คนเดิมที่ถูกสุ่มเลือกไปก่อนหน้านี้แล้ว ตัวอย่างเช่น ในการสุ่มเลือกรถยนต์เข้าสายการประกอบ ในการสุ่มครั้งแรกได้รถยนต์ รหัส 1 แสดงว่าในการสุ่มเลือกครั้งต่อไปรถยนต์รหัส 1 ไม่มีโอกาสของการถูก

สุ่มเลือกอีกครั้ง ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในคู่อันดับ (1,1) เท่ากับ 0 แต่ค่าที่เหลือในแถวนั้นจะมีโอกาสในการถูกสุ่มเลือกหลังจากสุ่มเลือกได้รถยนต์ โดยการสุ่มครั้งที่สองอาจสุ่มเจอรถยนต์ 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8 และ 9 ดังนั้นค่าค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกรถยนต์ในครั้งแรกในแถวของรหัส 1 เท่ากันหมดในคู่อันดับ (1,2), (1,3), …, (1,9) ในตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยผลรวมของค่าความน่าจะเป็นในแต่ละแถวเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{9-1} = 0.125$

4.3.3 การประเมินค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

ทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาไปพร้อมกันทั้ง 3 วัตถุประสงค์คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด (Utility Work) จำนวนการละเมิดรถยนต์รวมน้อยที่สุด (Total Number of Violations) และจำนวนการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Colour Changes)

ตารางที่ 4.2 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes
1	45.9491	17	7
2	44.6204	17	7
3	44.6204	18	8
4	42.9871	17	7
5	44.6204	16	8

1. **การกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธี** Non-Dominated Sorting

สตริงคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่าความแข็งแรงหรือค่า Fitness น้อยที่สุด ในทางกลับกันถ้าสตริงคำตอบใดที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แย่ที่สุดก็จะให้ค่าความแข็งแรงที่มากหรือค่า Fitness ที่มาก

ตารางที่ 4.3 ค่าของความหนาแน่นที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness
1	45.9491	17	7	3
2	44.6204	17	7	2
3	44.6204	18	8	3
4	42.9871	17	7	1
5	44.6204	16	8	1

2. **การกำหนดค่าความหนาแน่นด้วยวิธี** Crowding Distance

การกำหนดค่าความหนาแน่นจะนำเอาสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากันมาหาค่าความหนาแน่น Crowding Distance ระหว่างกัน แต่ในกรณีที่ค่า Fitness เท่ากันมีเพียงหนึ่งตัวหรือสองตัวจะกำหนดค่าค่าความหนาแน่น Crowding Distance ให้เท่ากับอนันต์ (Infinity)

ตารางที่ 4.4 ค่าของความหนาแน่นที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness	Crowding Distance
1	45.9491	17	7	3	Infinity
2	44.6204	17	7	2	Infinity
3	44.6204	18	8	3	Infinity
4	42.9871	17	7	1	Infinity
5	44.6204	16	8	1	Infinity

4.3.4 ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

การปรับปรุงความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมเป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุด เพื่อให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกผลิตภัณฑ์เป็นสตริงคำตอบให้กับสตริงคำตอบที่ดีในรอบต่อไป ในทางกลับกันเพื่อลงโทษ (Punish) หรือลดค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกผลิตภัณฑ์เป็นสตริงคำตอบให้กับสตริงคำตอบที่ไม่ดีในรอบต่อไป เพื่อกำหนดแนวทางในการสุ่มเลือกสตริงคำตอบในอนาคตให้มีโอกาสสุ่มเลือกเจอสตริงคำตอบที่ดีและหลีกเลี่ยงการสุ่มเลือกเจอสตริงคำตอบที่ไม่ดีเช่นกัน จากสตริงคำตอบที่คัดเลือกในตารางสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี (Good Solution) เป็นสตริงคำตอบที่ 4 และ 5 ส่วนสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ไม่ดี (Bad Solution) เป็นสตริงคำตอบที่ 1และ 3

ตารางที่ 4.5 คำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness
1	45.9491	17	7	3 (Bad Solution)
2	44.6204	17	7	2
3	44.6204	18	8	3 (Bad Solution)
4	42.9871	17	7	1 (Good Solution)
5	44.6204	16	8	1 (Good Solution)

4.3.4.1 กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี (Good Solution)

พิจารณาสตริงคำตอบที่ 4 คือ 7 6 3 4 9 8 5 1 2 ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะร่วมจากการเลือกรถยนต์อันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ซึ่งผลิตภัณฑ์อันดับแรกที่ทำถูกเลือกลง สตริงคำตอบที่ดีตัวที่หนึ่ง คือ รหัส 7 (รถยนต์รุ่น C) และผลิตภัณฑ์ลำดับสองที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ดีตัวที่หนึ่ง คือ รหัส 6 (รถยนต์รุ่น C) ทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (ผลิตภัณฑ์ตัวแรกที่สุ่มเจอ, ผลิตภัณฑ์ตัวที่สองที่สุ่มเจอ) คือคู่ลำดับ (7,6) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{9-1} = 0.0125$

(เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลที่กำหนดไว้เบื้องต้น) และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (7, 6)) ในแถวเดียวกันคือ (7, 1), (7, 2)… (7, 9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นคู่ลำดับละ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ (เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ในการถูกลงโทษที่กำหนดไว้เบื้องต้น) ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่จะเพิ่มให้คู่ลำดับ (7, 6) นั้นเอง โดยเริ่มแรกค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับต่างๆ อ้างอิงจากตารางที่ 4.1 ดังนั้นการคำนวณการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีคู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (7, 6) มีการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125+0.0125 = 0.1375

กรณีคู่ลำดับที่มีการถูกลงโทษ

ตำแหน่งที่ (7, 1) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 2) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 3) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 4) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 5) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 6) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1375-0.0016 = 0.1359

ตำแหน่งที่ (7, 8) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (7, 9) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ต่อจากนั้นผลิตภัณฑ์อันดับสามที่ถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ดีตัวแรกต่อจากรหัส 6 (รถยนต์รุ่น C) คือ รหัส 3 (รถยนต์รุ่น B) ดังนั้นจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (ผลิตภัณฑ์ตัวที่สองที่สุ่มเจอ, ผลิตภัณฑ์ตัวที่สามที่สุ่มเจอ) ก็คือคู่ลำดับ (6, 3) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม เท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{9-1} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นคู่ลำดับในตำแหน่ง (6, 1), (6, 2)… (6, 9) คู่ลำดับละ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ มีค่าดังนี้

กรณีคู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (6, 3) มีการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125+0.0125 = 0.1375

กรณีคู่ลำดับที่มีการถูกลงโทษ

ตำแหน่งที่ (6, 1) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 2) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 3) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1375-0.0016 = 0.1359

ตำแหน่งที่ (6, 4) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 5) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 7) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 8) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (6, 9) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ต่อจากนั้นผลิตภัณฑ์อันดับสี่ที่ถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ดีตัวแรกต่อจากรหัส 3 (รถยนต์รุ่นB) คือ รหัส 4 (รถยนต์รุ่น B) ดังนั้นจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (ผลิตภัณฑ์ตัวที่สามที่สุ่มเจอ, ผลิตภัณฑ์ตัวที่สี่ที่สุ่มเจอ) ก็คือคู่ลำดับ (3, 4) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม เท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{9-1} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นคู่ลำดับในตำแหน่ง (3, 1), (3, 2)… (3, 9) คู่ลำดับละ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ มีค่าดังนี้

กรณีคู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (3, 4) มีการเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125+0.0125 = 0.1375

กรณีคู่ลำดับที่มีการถูกลงโทษ

ตำแหน่งที่ (3, 1) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 2) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 4) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1375-0.0016 = 0.1359

ตำแหน่งที่ (3, 5) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 6) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 7) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 8) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (3, 9) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.125-0.0016 = 0.1234

ต่อมาทำการพิจารณาคู่ลำดับที่เหลือที่ถูกสุ่มเจอในสตริงคำตอบที่ดีตัวที่ 1 คือ (4, 9), (9, 8), (8, 5), (5, 1) และ(1, 2) ตามลำดับ ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามตัวอย่างคู่ลำดับข้างต้นจนครบคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ดีตัวแรก 7 6 3 4 9 8 5 1 2 ต่อจากนั้นก็ทำการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัลกับสตริงคำตอบตัวที่สองคือ สตริงคำตอบที่ 5 มีลำดับการผลิตเท่ากับ 1 6 5 4 9 7 3 2 8 โดยใช้ตารางค่าความน่าจะเป็นที่ได้

ปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่ดีตัวแรกของสตริงคำตอบที่ 4 มาใช้ในการปรับปรุงต่อ โดยวิธีการคำนวณเดียวกับคู่ลำดับข้างต้น ก็จะได้ค่าความน่าจะเป็นร่วมหลังทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีทั้ง 2 ตัวได้ผลดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ตารางค่าความน่าจะเป็นปรับปรุงจากคำตอบที่ดี

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.1343	0.1218	0.1218	0.1218	0.1343	0.1218	0.1218	0.1218
2	0.1234	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234
3	0.1218	0.1343	0	0.1343	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218
4	0.1218	0.1218	0.1218	0	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1468
5	0.1343	0.1218	0.1218	0.1343	0	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218
6	0.1218	0.1218	0.1343	0.1218	0.1343	0	0.1218	0.1218	0.1218
7	0.1218	0.1218	0.1343	0.1218	0.1218	0.1343	0	0.1218	0.1218
8	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0	0.1234
9	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1343	0.1343	0

4.3.4.2 **กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ไม่ดี** (Bad Solution)

พิจารณา สตริงคำตอบที่ 1 คือ 9 1 3 6 2 4 7 5 8 และสตริงคำตอบที่ 3 คือ 7 5 3 9 2 8 6 1 4 ซึ่งในที่นี้จะพิจารณาสตริงคำตอบที่ 1 ก่อนและพิจารณาสตริงคำตอบที่ 3 เนื่องจากทั้งสองสตริงคำตอบเป็นคำตอบที่ไม่ดีจึงทำการปรับปรุงตารางความน่าจะร่วมจากการเลือกผลิตภัณฑ์อันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ซึ่งผลิตภัณฑ์อันดับแรกที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ 1 ที่ไม่ดีตัวที่หนึ่งคือ รหัส 9 (รถยนต์รุ่น C) และผลิตภัณฑ์อันดับสองที่ทำถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ 1 คือ รหัส 1 (รถยนต์รุ่น A) ในสตริงคำตอบที่ 1 ที่เป็นสตริงคำตอบที่ไม่ดี ทำการลงโทษ (Punishment) หรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (ผลิตภัณฑ์ตัวแรกที่สุ่มเจอ, ผลิตภัณฑ์ตัวที่สองที่สุ่มเจอ) คือคู่ลำดับ (9, 1) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{9-1} = 0.0125$ (เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้เบื้องต้น) และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (9, 1)) ในแถวเดียวกันคือ (9, 2), (9, 3)… (9, 8) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นคู่ลำดับละ

$\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ (เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดไว้เบื้องต้น) ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่ลดจากคู่ลำดับ (9, 1) นั้นเอง โดยค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับต่างๆ อ้างอิงจากตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี ตารางที่ 4.6 ดังนั้นการคำนวณการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นแบ่งเป็น 2 กรณีดังนี้

กรณีคู่ลำดับที่มีการถูกลงโทษ

ตำแหน่งที่ (9, 1) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 – 0.0125 = 0.1093

กรณีคู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (9, 1) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1093 + 0.0016 = 0.1109

ตำแหน่งที่ (9, 2) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (9, 3) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (9, 4) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (9, 5) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (9, 6) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (9, 7) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1343 + 0.0016 = 0.1359

ตำแหน่งที่ (9, 8) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1343 + 0.0016 = 0.1359

ต่อจากนั้นผลิตภัณฑ์อันดับสามที่ถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ไม่ดี คือ รหัส 3 (รถยนต์ B) ดังนั้นจะทำการลงโทษ (Punish) หรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (ผลิตภัณฑ์ตัวที่สองที่สุ่มเจอ, ผลิตภัณฑ์ตัวที่สามที่สุ่มเจอ) ก็คือคู่ลำดับ (1, 3) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม เท่ากับ $\frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{9-1} = 0.0125$ ซึ่งนำมาเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับในตำแหน่ง (1, 3), (1, 4)… (1, 9) คู่ลำดับละ $\frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ โดยมีการปรับค่าความน่าจะเป็นดังนี้

กรณีคู่ลำดับที่มีการถูกลงโทษ

ตำแหน่งที่ (1, 3) มีการลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 - 0.0125 = 0.1093

กรณีคู่ลำดับที่มีการให้รางวัล

ตำแหน่งที่ (1, 2) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1343 + 0.0016 = 0.1359

ตำแหน่งที่ (1, 3) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1093 + 0.0016 = 0.1109

ตำแหน่งที่ (1, 4) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (1, 5) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ตำแหน่งที่ (1, 6) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1343 + 0.0016 = 0.1359
ตำแหน่งที่ (1, 7) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234
ตำแหน่งที่ (1, 8) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234
ตำแหน่งที่ (1, 9) มีการเพิ่มความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.1218 + 0.0016 = 0.1234

ต่อมาทำการพิจารณาคู่ลำดับที่เหลือที่ถูกสุ่มเจอในสตริงคำตอบที่ไม่ดีตัวที่ 1 คือ (3, 6), (6, 2) (2, 4) (4, 7) (7, 5) และ (5, 8) ตามลำดับ ทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามตัวอย่างคู่ลำดับข้างต้นจนครบคู่ลำดับของสตริงคำตอบที่ไม่ดีตัวที่สองคือ 7 5 3 9 2 8 6 1 4 ตามตัวอย่างข้างต้นก็จะได้ค่าความน่าจะเป็นร่วมหลังทำการปรับปรุงตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมโดยใช้สตริงคำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดีได้ผลดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางค่าความน่าจะเป็นปรับปรุงจากคำตอบที่ดีและไม่ดี

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0000	0.1375	0.1125	0.1125	0.1250	0.1375	0.1250	0.1250	0.1250
2	0.1266	0.0000	0.1266	0.1141	0.1266	0.1266	0.1266	0.1266	0.1266
3	0.1250	0.1375	0.0000	0.1375	0.1250	0.1125	0.1250	0.1250	0.1125
4	0.1234	0.1234	0.1234	0.0000	0.1234	0.1234	0.1109	0.1234	0.1484
5	0.1375	0.1250	0.1125	0.1375	0.0000	0.1250	0.1250	0.1125	0.1250
6	0.1125	0.1125	0.1375	0.1250	0.1375	0.0000	0.1250	0.1250	0.1250
7	0.1250	0.1250	0.1375	0.1250	0.1000	0.1375	0.0000	0.1250	0.1250
8	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1375	0.1125	0.1250	0.0000	0.1250
9	0.1125	0.1125	0.1250	0.1250	0.1250	0.1250	0.1375	0.1375	0.0000

4.3.5 เทคนิคในการเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงาน

ในการเก็บค่าที่ดีที่สุดจะพิจารณาสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากับ 1 ในแต่ละรอบ โดยนำเอาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกลับรอบปัจจุบันมาเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อเก็บสตริงคำตอบที่ให้ค่า Fitness เท่ากับ 1 ซึ่งจะคือกลุ่มของคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น แล้วพิจารณาแบบนี้ในทุกๆรอบการดำเนินการจนครบจำนวนรอบที่ทำการทดลอง ตัวอย่างนี้สมมติให้สตริงคำตอบในรอบก่อนหน้าที่ถูกจัดเก็บไว้ มีจำนวนสตริงคำตอบ

ทั้งหมด 2 สตริงคำตอบ คือ สตริงคำตอบตัวที่ 1 คือ 4 5 7 1 2 8 6 3 9 และสตริงคำตอบตัวที่ 2 คือ 8 4 5 6 2 1 7 3 9 โดยมีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้า

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes
1	43.8395	17	6
2	44.5596	17	8

นำสตริงคำตอบที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีในรอบปัจจุบัน (Current Good String) 2 สตริงคำตอบมารวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) จำนวน 2 สตริงคำตอบ ก็จะได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ค่าฟังก์ชั่นที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness
คำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า	43.8395	17	6	1
	44.5596	17	8	2
คำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน	42.9871	17	7	1
	44.6204	16	8	1

จากตารางที่ 4.9 จะเห็นได้ว่ามีสตริงคำตอบทั้ง 3 ตัวมีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงเท่ากับ 1 ดังนั้นจึงนำค่าสตริงคำตอบทั้งสามตัวจัดเก็บไว้ในรอบปัจจุบัน และจะกลายไปเป็นสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้าในรอบต่อไป ถ้าจำนวนรอบนี้มีค่าเท่ากับจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้ สตริงคำตอบที่ทำให้ค่าดีที่สุดเป็นไปตามฟังก์วัตถุประสงค์ จะเป็นสตริงคำตอบของปัญหาดังกล่าว

4.4 ค่าพารามิเตอร์ของ COIN ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

วิธีการบรรจวบ (COIN) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ ความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยแบ่งความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 เท่ากับ 0.100 คือ จะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่ 0.100 ในการให้รางวัล (Reward) หรือลงโทษ (Punish) สำหรับคำตอบที่ดีและไม่ดี ระดับที่ 2 เท่ากับ 0.125 และระดับที่ 3 เท่ากับ 0.150 โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดข้างต้น

4.5 ผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม โดยผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในแต่ละปัญหาการทดลอง อยู่ในภาคผนวก ฉ

4.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ COIN

จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 11 ปัญหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งจากการอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการทดลองเบื้องต้นของอัลกอริทึม COIN มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.10 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้สำหรับวิธี COIN

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิงจาก
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	Set 1.1 : 0.150	การทดลอง
	Set 1.2 : 0.100	
	Set 2.1 : 0.150	
	Set 2.2 : 0.100	
	Set 3.1 : 0.150	
	Set 3.2 : 0.100	
	Set 4.1 : 0.125	
	Set 4.2 : 0.150	
	Set 5.1 : 0.125	
	Set 5.2 : 0.100	
	Set 6 : 0.125	

4.7 วิธีการบรรจวบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E)

COIN มีแนวคิดหลักนั้นเป็นการศึกษาแนวทางของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (Not Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันเพื่อเป็นตัวกำหนดทิศทางของคำตอบสุดท้าย โดยมีการสร้างตารางความน่าจะเป็นขึ้นมาแล้วสุ่มเลือกมาสร้างประชากรเริ่มต้น โดยมีการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นตลอดเวลาในแต่ละรอบ โดยปรับปรุงตามคำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี ถ้าเกิดเป็นคำตอบที่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะมากขึ้นเพื่อใช้ในการสุ่มรอบถัดไป แต่ถ้าคำตอบไม่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะถูกลดลงเพื่อจะได้สุ่มเจอน้อยลงในรอบถัดไป (นพพล, 2551)

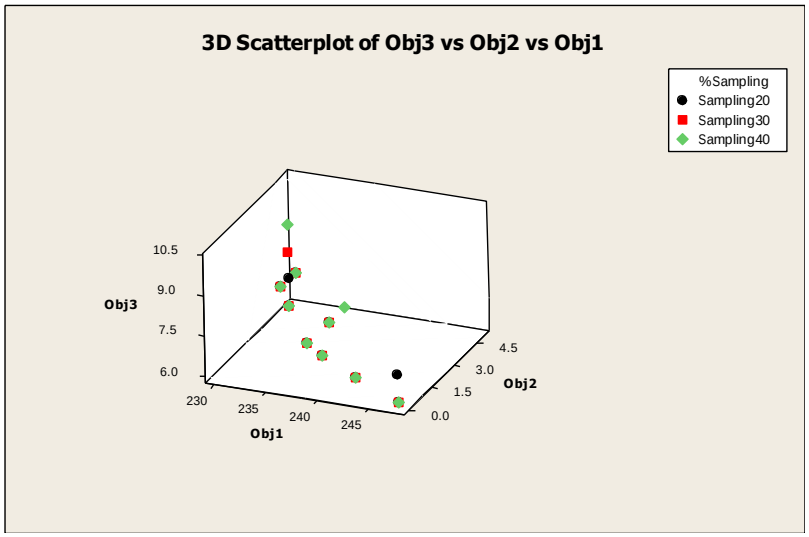
ในงานวิจัยนี้ได้นำแนวคิดของ COIN มาประยุกต์ในการหาคำตอบที่เหมาะสมโดยจากเดิมวิธีการ COIN จะใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการเลือกเดินเพื่อนำไปสู่คำตอบที่เหมาะสม แต่ใน COIN-E จะมีตารางความน่าจะเป็นร่วมเพิ่มมาอีก 3 ตารางที่ได้มาจากการหาคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์มาสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยนำคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีมาทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละ

วัตถุประสงค์มีค่าน้อยสุดในรอบนั้นจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แต่ถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่ามากสุดในรอบนั้นจะทำการลดค่าความน่าจะเป็นลง เพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้ก็จะมีการกระจายตัวของคำตอบมากกว่าวิธีการ COIN แบบเดิม โดย COIN-E จะเริ่มจากการสร้างตารางความน่าจะเป็นมาทั้งหมด 4 ตารางคือ 1. ตารางวิธีการแบบ COIN 2. ตารางจากวัตถุประสงค์แรก 3.ตารางจากวัตถุประสงค์สอง 4.ตารางจากวัตถุประสงค์สาม โดยแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบจะแบ่งสัดส่วนในการสุ่มของแต่ละตาราง โดยจะทำการทดสอบว่าสัดส่วนการสุ่มที่ระดับใดที่ให้กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด

4.7.1 การทดลองร้อยละการสุ่มประชากรที่เหมาะสมในแต่ละรอบ

การที่จะทำการสุ่มสตริงคำตอบในแต่ละรอบของการทดลองนั้นจำเป็นที่จะต้องหาร้อยละของการสุ่มในแต่ละตารางให้มีความเหมาะสม เพื่อจะทำให้ได้อัลกอริทึมนั้นประสิทธิภาพสูงสุดในการทำงาน โดยการกำหนดร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมจะใช้วิธี Pilot Run ทั้ง 11 ปัญหา โดยงานวิจัยนี้จะมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด โดยจะพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน จึงทำให้จะได้เห็นว่าร้อยละการสุ่มที่เท่าใดที่มีความเหมาะสมที่จะเอาอัลกอริทึมนี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

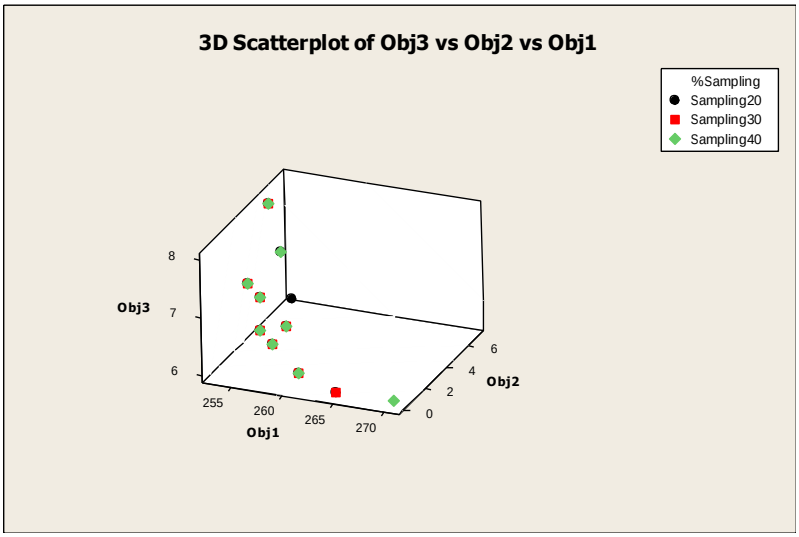
4.7.1.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1



ภาพที่ 4.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.1

จากภาพที่ 4.2 พบว่า ปัญหา Set 1.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 1.1 คือ 70-30

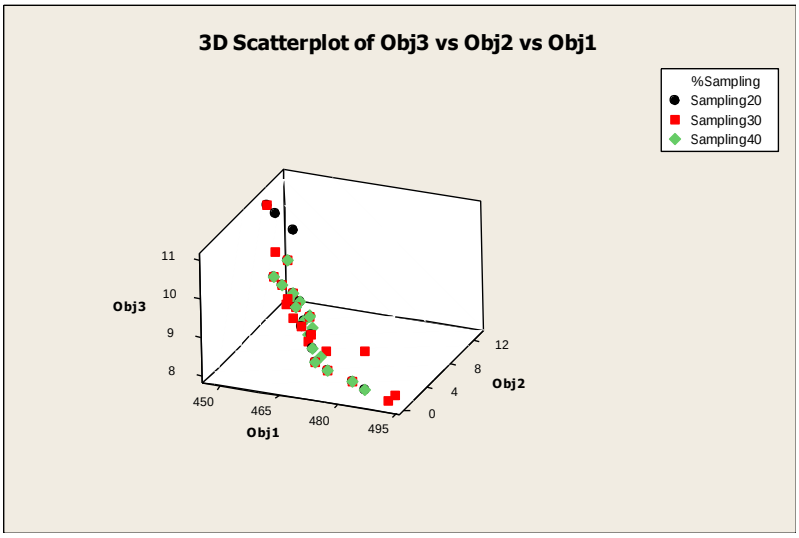
4.7.1.2 **ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา** Set 1.2



ภาพที่ 4.3 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.2

จากภาพที่ 4.3 พบว่า ปัญหา Set 1.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 1.2 คือ 70-30

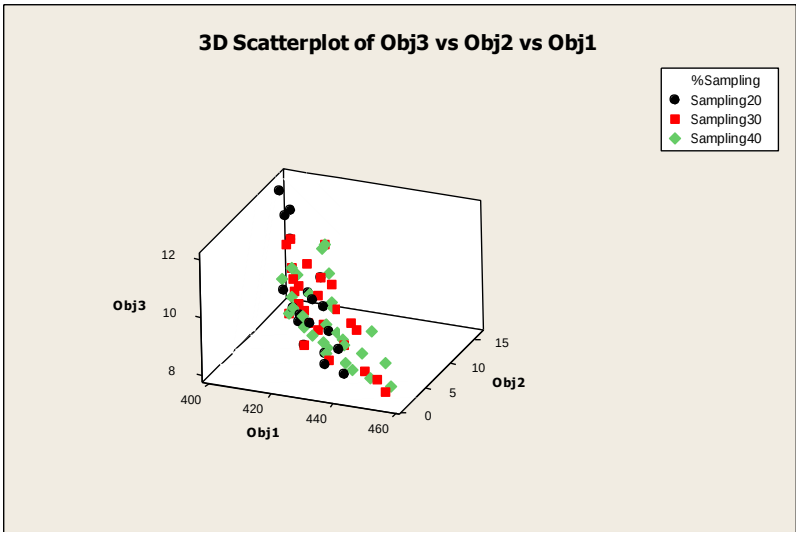
4.7.1.3 **ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา** Set 2.1



ภาพที่ 4.4 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.1

จากภาพที่ 4.4 พบว่า ปัญหา Set 2.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 2.1 คือ 70-30

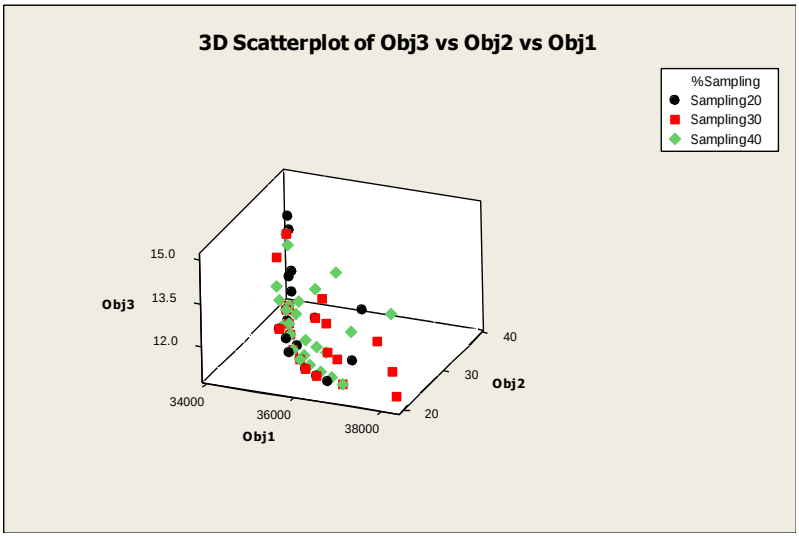
4.7.1.4 **ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา** Set 2.2



ภาพที่ 4.5 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.2

จากภาพที่ 4.5 พบว่า ปัญหา Set 2.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 2.2 คือ 70-30

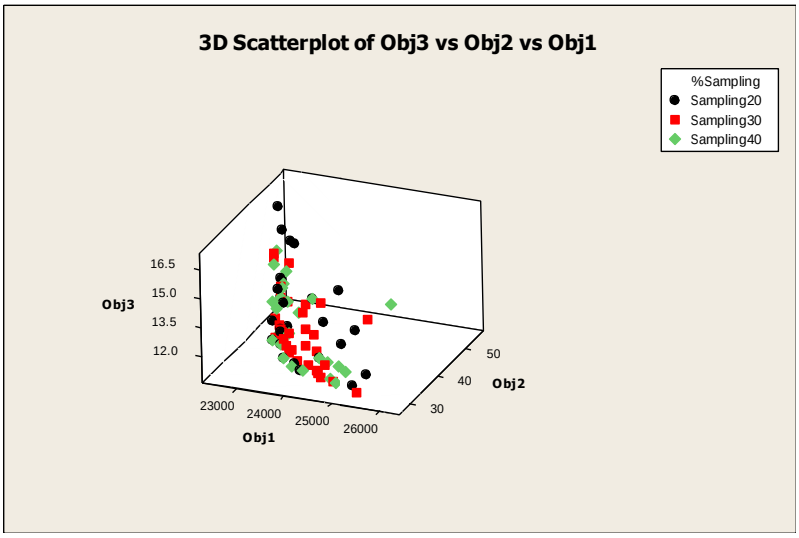
4.7.1.5 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1



ภาพที่ 4.6 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.1

จากภาพที่ 4.6 พบว่า ปัญหา Set 3.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 3.1 คือ 70-30

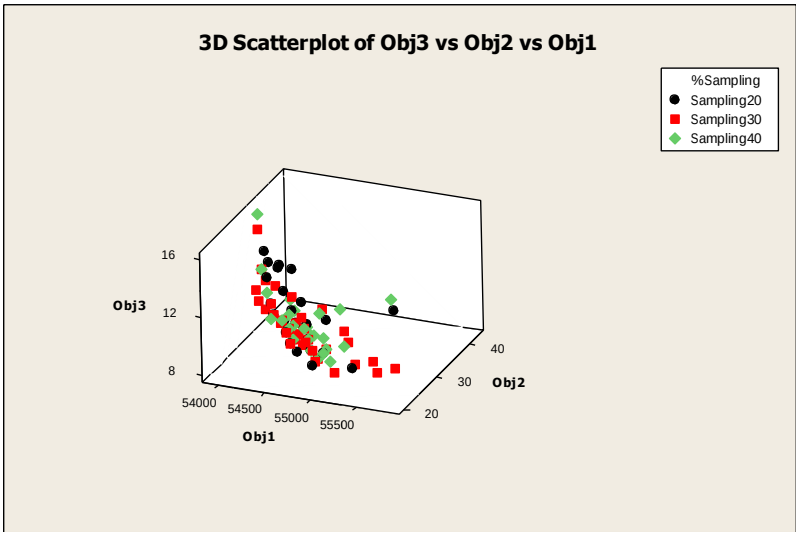
4.7.1.6 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2



ภาพที่ 4.7 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.2

จากภาพที่ 4.7 พบว่า ปัญหา Set 3.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 3.2 คือ 70-30

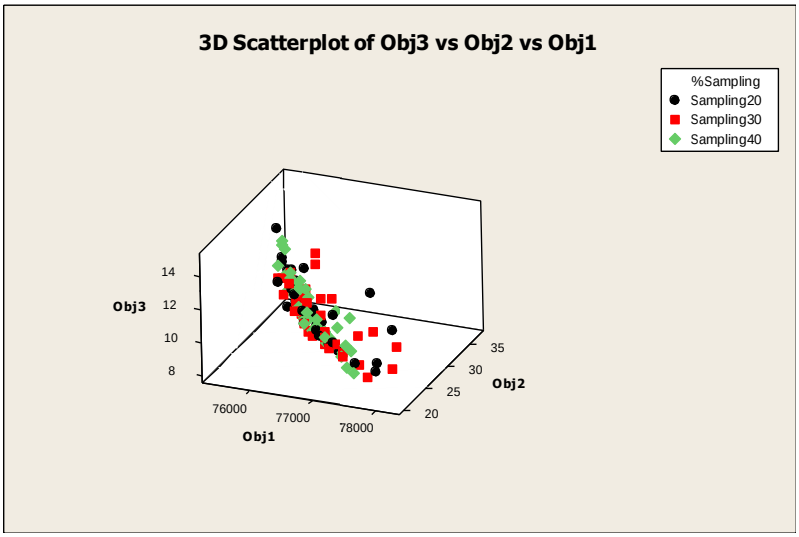
4.7.1.7 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1



ภาพที่ 4.8 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.1

จากภาพที่ 4.8 พบว่า ปัญหา Set 4.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 4.1 คือ 70-30

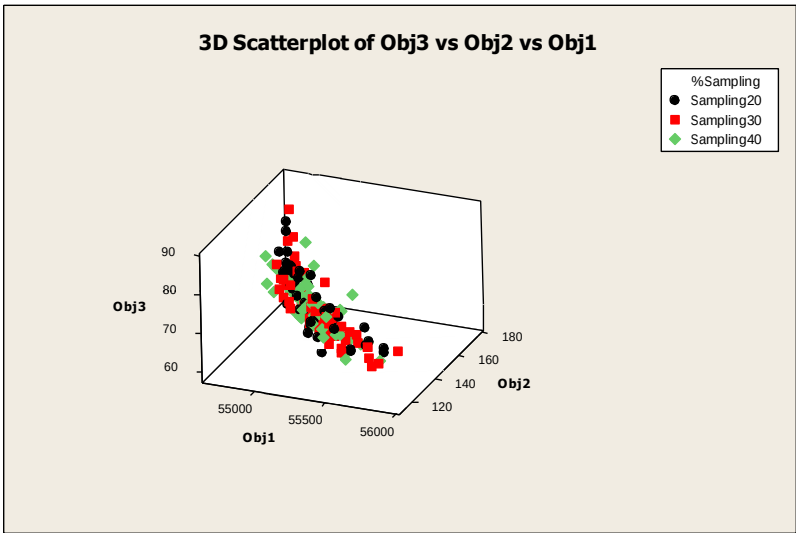
4.7.1.8 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2



ภาพที่ 4.9 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.2

จากภาพที่ 4.9 พบว่า ปัญหา Set 4.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 4.2 คือ 70-30

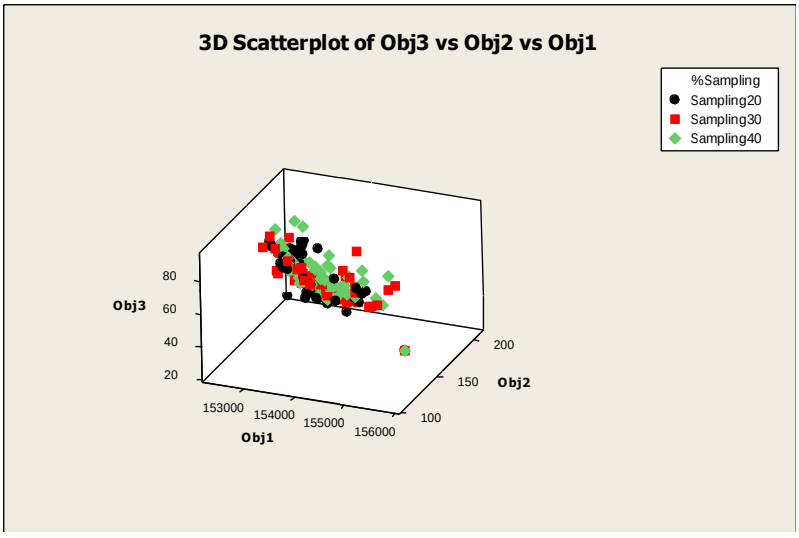
4.7.1.9 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1



ภาพที่ 4.10 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.1

จากภาพที่ 4.10 พบว่า ปัญหา Set 5.1 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 5.1 คือ 70-30

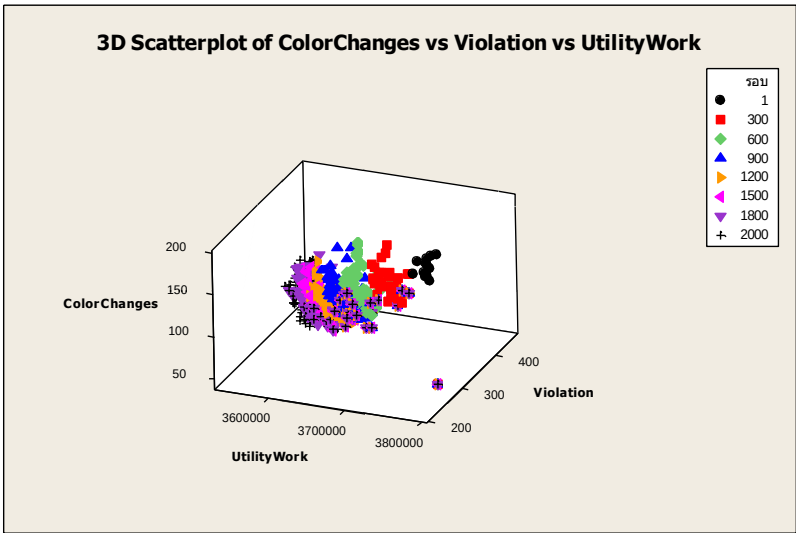
4.7.1.10 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2



ภาพที่ 4.11 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมการทดลองของปัญหา 5.2

จากภาพที่ 4.11 พบว่า ปัญหา Set 5.2 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 5.2 คือ 70-30

4.7.1.11ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมของปัญหา Set 6



ภาพที่ 4.12 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมการทดลองของปัญหา Set 6

จากภาพที่ 4.12 พบว่า ปัญหา Set 6 ร้อยละการสุ่มที่เหมาะสมที่ทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากที่สุดคือ การสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 และอีกร้อยละ 30 สุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์ ดังนั้นการสุ่มที่เหมาะของ ปัญหา Set 6 คือ 70-30

จะพบว่าทุกปัญหาที่ทำการทดลองตั้งแต่ปัญหาที่ Set 1 ถึง Set 6 แสดงให้เห็นว่าร้อยละที่ใช้ในการสุ่มในแต่ละรอบของวิธีการ COIN-E จะมีประสิทธิภาพที่การสุ่มจากตารางวิธีการ COIN ร้อยละ 70 และจากแต่ละตารางวัตถุประสงค์รวมกันอีกร้อยละ 30 จะทำให้วิธีการของ COIN-E มีประสิทธิภาพในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

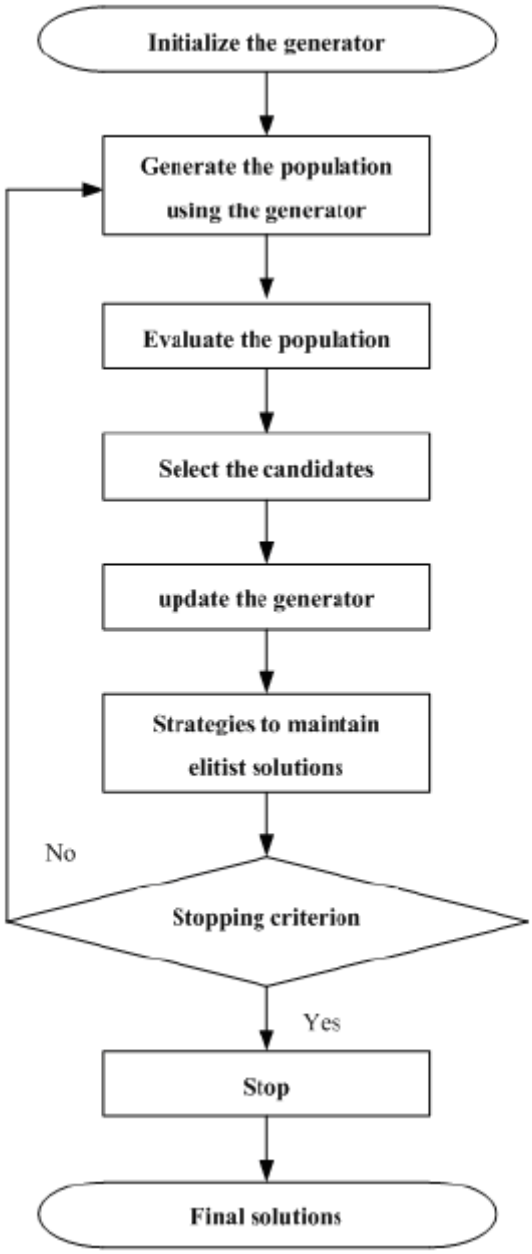
4.7.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ (ภาพที่ 4.31)

1. Initialize the generator สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นโดยดูที่สัดส่วนความต้องผลิตภัณฑ์ (MPS) เท่ากับขนาด n x n โดยที่ n จะเท่ากับจำนวนความยาวของ MPS ของแต่ละปัญหา
2. Generate the population using the generator เลือกลำดับการผลิตโดยการสุ่มจากตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดประชากร (Population Size) ที่กำหนด โดยรอบแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น
3. Evaluation the population นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดและทำการหา Non-Dominated Sorting เพื่อหาลำดับการผลิตของรถยนต์ที่เป็นคำตอบดี และลำดับการผลิตรถยนต์ที่เป็นคำตอบไม่ดี
4. Select the candidates คัดเลือกคำตอบดีและคำตอบไม่ดี ในกรณีตารางค่าความน่าจะเป็นตารางที่ 1 คือ ตารางวิธีการ COIN จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยถ้าเป็นคำตอบที่ดีค่า Fitness จะมีค่าน้อยที่สุดแต่ถ้าเป็นคำตอบที่ไม่ดีค่า Fitness จะมีค่ามากที่สุด ส่วนตารางที่ 2, 3 และ 4 จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น
5. update the generator ปรับปรุงตารางค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัลในกรณีคำตอบดี และการลงโทษในกรณีคำตอบไม่ดี โดยจะปรับปรุงตารางทั้งหมด 4 ตารางคือ คือ 1. ตารางวิธีการแบบ COIN 2. ตารางจากวัตถุประสงค์แรก 3.ตารางจากวัตถุประสงค์สอง 4.ตารางจากวัตถุประสงค์สาม โดยแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบคือจากตาราง COIN มาร้อยละ 70 ของประชากรทั้งหมด และสุ่มจากตารางคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์รวมกันร้อยละ 30 ของประชากรทั้งหมด เพื่อใช้ในการสุ่มเลือกรอบถัดไป
6. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำกับ

คัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้จนครบจำนวนซ้ำของคำตอบที่ต้องการ

7. Repeat Step 2 กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั้งครบตามจำนวนรอบที่กำหนด



ภาพที่ 4.13 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E

โดยจะเห็นว่าขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) จะมีความคล้ายคลึงกับวิธีการของ COIN แต่จะต่างกันในเรื่องการเพิ่มตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นร่วมเพื่อใช้ในการสุ่มประชากรในรอบต่อๆไป ซึ่งวิธีการบรรจวบแบบขยายจะทำให้ได้กลุ่มของคำตอบที่มีประสิทธิภาพเนื่องจากมีการป้องกันการผิดพลาดที่อาจจะเกิดขึ้นของวิธีการ COIN เนื่องจากการจดจำลักษณะตำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันที่อาจจะมีความผิดพลาดจากการสุ่มตั้งแต่รอบแรกจนทำให้การเดินเลือกลำดับในรอบถัดไปจะไปในทิศทางของคำตอบที่ผิดพลาดหรือไม่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเนื่องจากในแต่ละรอบจะมีการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมถ้าเลือกเดินผิดก็จะปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นที่ผิดไปเรื่อยๆ ซึ่งการนำวิธีการบรรจวบมาพัฒนาหรือประยุกต์เป็นวิธีการบรรจวบแบบขยายโดยสร้างตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมมาทั้งหมด 4 ตารางเพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

4.7.3 ตัวอย่างการนำเอาวิธีการบรรจวบขยายไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมชนิดแบบสองด้าน

4.7.3.1 ข้อมูลการการนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

ข้อมูลนำเข้าต่างๆ ได้แก่ จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละคัน ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป สีสุดท้ายที่ได้ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละชนิด เวลาการทำงานของรถยนต์ เวลาปรับตั้งเครื่องของรถยนต์แต่ละคัน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของขั้นงาน สถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว และค่าอัตราส่วนการผลิตย่อย

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธี COIN-E มีรายละเอียดดังนี้

1. จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว
2. ค่าในการให้รางวัล (Reward) และค่าในการลงโทษ (Punish) เท่ากับ 0.1
3. ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มจากตารางแต่ละวัตถุประสงค์เท่ากับ 50, 25 และ 25 ตามลำดับ

4.7.4 การสร้างสตริงคำตอบที่ใช้ในการทำงานเริ่มต้น

การสร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการคือตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) โดยทำการนำจำนวนรถยนต์ทั้งหมด นำมาสร้างตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม ดังนี้ จำนวนชนิดของรถยนต์ 3 รุ่น ได้แก่ A, B และ C มีจำนวน Minimum Part Set (MPS) คือ 1:2:3 แสดงว่าในการจัดลำดับการผลิตครั้งนี้จะต้องมีรถยนต์ A จำนวน 1 คัน ผลิตรถยนต์ B จำนวน 2 คันและรถยนต์ C จำนวน 3 คัน เข้าไปในสายการประกอบ จากนั้นทำการใส่รหัสงานให้กับรถยนต์ที่ทำการจัดลำดับการผลิต

Model Sequence	A B B C C C
String	1 2 3 4 5 6

เมื่อกำหนดรหัสของรถยนต์ที่จะทำการผลิตแล้ว ทำการสุ่มลำดับการผลิตรถยนต์มาจำนวน 5 จำนวนประชากร โดยมรลำดับการผลิตดังนี้

Strings	Model Sequences
1	1 3 4 2 6 5
2	2 5 4 1 3 6
3	1 6 5 3 2 4
4	5 1 3 2 4 6
5	3 2 6 1 4 5

โดยพิจารณาสตริงคำตอบแต่ละสตริงคำตอบจะมีจำนวนความยาวของ MPS (Length of MPS) หรือจำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด คือ 6 หน่วย ดังนั้นขนาดของตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมคือ 6 x 6 โดยการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์เริ่มแรก โดยที่การเริ่มต้นค่าความน่าจะเป็นในการถูกสุ่มเลือกเท่ากันทั้งหมดซึ่งมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{6-1} = 0.2$ เมื่อ n คือ จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมด ได้ตารางดังต่อไปนี้

ตารางที่ 4.11 ตารางค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น

From/To	1	2	3	4	5	6
1	0.0000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
2	0.2000	0.0000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000
3	0.2000	0.2000	0.0000	0.2000	0.2000	0.2000
4	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000	0.2000	0.2000
5	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000	0.2000
6	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.2000	0.0000

จากตารางที่ 4.11 ค่าความน่าจะเป็นร่วมมีขนาดเท่ากับ n x n = 6x6 โดยเส้นทแยงมุมของตารางมีค่าเท่ากับ 0 เพราะว่าไม่มีโอกาสของการถูกสุ่มเลือกแล้วเจอรถยนต์คนเดิมที่ถูกสุ่มเลือกไปก่อนหน้านี้แล้ว ตัวอย่างเช่น ในการสุ่มเลือกรถยนต์เข้าสายการประกอบ ในการสุ่มครั้งแรกได้รถยนต์ รหัส 1 แสดงว่าในการสุ่มเลือกครั้งต่อไปรถยนต์รหัส 1 ไม่มีโอกาสของการถูกสุ่มเลือกอีกครั้ง ดังนั้นค่าความน่าจะเป็นในคู่อันดับ (1,1) เท่ากับ 0 แต่ค่าที่เหลือในแถวนั้นจะมีโอกาสในการถูกสุ่มเลือกหลังจากสุ่มเลือกได้รถยนต์ โดยการสุ่มครั้งที่สองอาจสุ่มเจอรถยนต์ 2, 3, 4, 5, และ 6 ดังนั้นค่าค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกรถยนต์ในครั้งแรกในแถวของรหัส 1 เท่ากันหมดในคู่อันดับ (1,2), (1,3), …, (1,6) ในตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยผลรวมของค่าความน่าจะเป็นในแต่ละแถวเท่ากับ $\frac{1}{n-1} = \frac{1}{6-1} = 0.2$

4.7.5 การประเมินค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

ทำการคำนวณหาค่าวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้จะมีวัตถุประสงค์ที่จะพิจารณาไปพร้อมกันทั้ง 3 วัตถุประสงค์คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด (Utility Work) จำนวนการละเมิดรถยนต์รวมน้อยที่สุด (Total Number of Violations) และจำนวนการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Colour Changes)

ตารางที่ 4.12 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes
1	23.6596	11	6
2	23.6883	11	4
3	23.3394	12	6
4	23.8388	12	5
5	23.3681	11	6

4.7.6 การกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธี Non-Dominated Sorting

สตริงคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่เหมาะสมที่สุดจะมีค่าความแข็งแรงหรือค่า Fitness น้อยที่สุด ในทางกลับกันถ้าสตริงคำตอบใดที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แย่ที่สุดก็จะให้ค่าความแข็งแรงที่มากหรือค่า Fitness ที่มาก

ตารางที่ 4.13 ค่าแต่ละฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรงที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness	Crowding Distance
1	23.6596	11	6	2	Infinity
2	23.6883	11	4	1	Infinity
3	23.3394	12	6	1	Infinity
4	23.8388	12	5	2	Infinity
5	23.3681	11	6	1	3.0000

4.7.7 ปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมแบบ COIN

เริ่มต้นจะพิจารณาปรับปรุงจากตารางแรกคือ ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมโดยพิจารณาจากค่า Fitness จากตารางที่ 6 จะพบว่ามีสตริงคำตอบที่ดีหรือมีค่า Fitness น้อยที่สุดอยู่ 3 สตริงคำตอบ จึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็น ในทางตรงกันข้ามจะพบว่ามี

สตริงคำตอบที่ไม่ดีหรือมีค่า Fitness มากที่สุดอยู่ 2 สตริงคำตอบจึงทำการลงโทษหรือลงโอกาสในการสุ่มเจอในรอบถัดไป

กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดีจะพิจารณาปรับปรุงไปทีละสตริงคำตอบ โดยเริ่มที่สตริงคำตอบที่ 2 คือ 2 5 4 1 3 6 ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งรถยนต์อันดับแรกที่ถูกเลือกลงในสตริงคำตอบที่ คือ รหัส 2 (รถยนต์รุ่น B) และรถยนต์ลำดับที่สองที่ถูกเลือกลงในสตริงคำตอบที่ 2 คือ รหัส 5 (รถยนต์รุ่น C) ทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (รถยนต์คนแรกที่สุ่ม,รถยนต์คันที่สองที่สุ่มเจอ) คือคู่ลำดับ (2,5) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{6-1} = 0.02$ (เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลที่กำหนดไว้เบื้องต้น) และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (2, 5)) ในแถวเดียวกันคือ (2, 1), (2, 3)… (2, 6) โดยลดค่าความน่าจะเป็น $x = \frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(6-1)^2} = 0.004$ (เมื่อ k คือค่าพารามิเตอร์ในการถูกลงโทษที่กำหนดไว้เบื้องต้น) ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่จะเพิ่มให้คู่ลำดับ (2, 5) นั้นเอง

ต่อจากนั้นผลิตภัณฑ์อันดับสามที่ถูกเลือกลงสตริงคำตอบที่ดีตัวแรกต่อจากรหัส 5 (รถยนต์รุ่น C) คือ รหัส 4 (รถยนต์รุ่น C) ดังนั้นจะทำการให้รางวัล (Reward) หรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง พิจารณาแบบนี้ไปจนครบสตริงคำตอบที่ดีจะได้ตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ปรับปรุง

กรณีสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ไม่ดีจะพิจารณาปรับปรุงไปทีละสตริงคำตอบ โดยเริ่มที่สตริงคำตอบที่ 1 คือ 1 3 4 2 6 5 ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วม ซึ่งรถยนต์อันดับแรกที่ถูกเลือกลงในสตริงคำตอบที่ คือ รหัส 1 (รถยนต์รุ่น A) และรถยนต์ลำดับที่สองที่ถูกเลือกลงในสตริงคำตอบที่ 1 คือ รหัส 3 (รถยนต์รุ่น B) ทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่ง (รถยนต์คนแรกที่สุ่ม, รถยนต์คันที่สองที่สุ่มเจอ) คือคู่ลำดับ (1,3) ในตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมได้โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{k}{n-1} = \frac{0.1}{6-1} = 0.02$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (1, 3)) ในแถวเดียวกันคือ (1, 2), (1, 3)… (1, 6) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นคู่ลำดับเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่ลดจากคู่ลำดับเท่ากับ $x = \frac{k}{(n-1)^2} = \frac{0.1}{(6-1)^2} = 0.004$ ซึ่งค่าดังกล่าวจะมีค่าเท่ากับค่าความน่าจะเป็นที่ลดจากคู่ลำดับ (1, 3) นั้นเอง โดยค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับต่างๆ อ้างอิงจากตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี ซึ่งพิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบสตริงคำตอบที่ไม่ดี ก็จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดี ได้ผลดังตารางที่ 4.14

ตารางที่ 4.14 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นแบบ COIN

From/To	1	2	3	4	5	6
1	0	0.196	0.176	0.216	0.196	0.216
2	0.196	0	0.196	0.196	0.216	0.196
3	0.196	0.216	0	0.176	0.196	0.216
4	0.220	0.180	0.200	0	0.220	0.180
5	0.176	0.196	0.216	0.216	0	0.196
6	0.216	0.196	0.196	0.196	0.196	0

4.7.8 ปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 1

ตารางวัตถุประสงค์ที่ 1 คือ วัตถุประสงค์ของปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จ โดยนำค่าวัตถุประสงค์ที่ 1 มาเรียงจากค่าน้อยที่สุดไปยังมากที่สุด จากตารางที่ 4.24 จะเรียงลำดับสตริงคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดไปมากที่สุดคือ สตริงคำตอบที่ 3,5,1,2 และ 4 มีค่าเท่ากับ 23.3394, 23.3681, 23.6596, 23.6883 และ 23.8388 ตามลำดับ จะเห็นว่าสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 3 โดยมีลำดับการผลิตเท่ากับ 1 6 5 3 2 4 จึงนำสตริงคำตอบนี้ไปทำการให้รางวัลหรือเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็น ในทางตรงกันข้ามสตริงคำตอบที่มีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 4 โดยมีลำดับการผลิตเท่ากับ 5 1 3 2 4 6 ไปทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น โดยการคำนวณปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นจะมีวิธีการคำนวณเหมือนตารางความน่าจะเป็นร่วมจากค่า Fitness ที่ผ่านมา หลังจากปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของกลุ่มคำตอบที่ดีและไม่ดีจากวัตถุประสงค์ที่ 1 ได้ค่าดังตารางที่ 4.15

ตารางที่ 4.15 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่1

From/To	1	2	3	4	5	6
1	0	0.200	0.180	0.200	0.200	0.220
2	0.200	0	0.200	0.200	0.200	0.200
3	0.200	0.200	0	0.200	0.200	0.200
4	0.204	0.204	0.204	0	0.204	0.184
5	0.180	0.200	0.220	0.200	0	0.200
6	0.196	0.196	0.196	0.196	0.216	0

4.7.9 ปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 2

ตารางวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ วัตถุประสงค์ของจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมของตัวเลือก โดยนำค่าวัตถุประสงค์ที่ 2 มาเรียงจากค่าน้อยที่สุดไปยังมากที่สุด จากตารางที่ 4.24 จะเรียงลำดับสตริงคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดไปมากที่สุด จะพบว่ามีกลุ่มคำตอบที่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1,2 และ 5 มีค่าเท่ากับ 11 และมีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 3 และ 4 มีค่าเท่ากับ 12 โดยนำสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่ดีมาให้รางวัลหรือเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็น ในทางตรงกันข้ามสตริงคำตอบที่มีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดี ไปทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น โดยการคำนวณปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นจะมีวิธีการคำนวณเหมือนตารางความน่าจะเป็นร่วมจากค่า Fitness ที่ผ่านมา หลังจากปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของกลุ่มคำตอบที่ดีและไม่ดีจากวัตถุประสงค์ที่ 2 ได้ค่าดังตาราง 4.16

ตารางที่ 4.16 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่ 2

From/To	1	2	3	4	5	6
1	0	0.196	0.216	0.216	0.196	0.176
2	0.196	0	0.196	0.156	0.216	0.236
3	0.196	0.176	0	0.216	0.196	0.216
4	0.212	0.212	0.192	0	0.212	0.172
5	0.184	0.204	0.184	0.224	0	0.204
6	0.216	0.196	0.196	0.196	0.196	0

4.7.10 ปรับปรุงตารางวัตถุประสงค์ที่ 3

ตารางวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ วัตถุประสงค์ของจำนวนการเปลี่ยนแปลงสี โดยนำค่าวัตถุประสงค์ที่ 3 มาเรียงจากค่าน้อยที่สุดไปยังมากที่สุด จากตารางที่ 4.24 จะเรียงลำดับสตริงคำตอบที่มีค่าน้อยที่สุดไปมากที่สุด จะพบว่ามีกลุ่มคำตอบที่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 2 มีค่าเท่ากับ 4 และมีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1, 3 และ 5 มีค่าเท่ากับ 6 โดยนำสตริงคำตอบที่อยู่ในกลุ่มคำตอบที่ดีมาให้รางวัลหรือเพิ่มโอกาสค่าความน่าจะเป็น ในทางตรงกันข้ามสตริงคำตอบที่มีกลุ่มคำตอบที่ไม่ดี ไปทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น โดยการคำนวณปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นจะมีวิธีการคำนวณเหมือนตารางความน่าจะเป็นร่วมจากค่า Fitness ที่ผ่านมา หลังจากปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นของกลุ่มคำตอบที่ดีและไม่ดีจากวัตถุประสงค์ที่ 3 ได้ค่าดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 ตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมหลังจากการปรับปรุงจากตารางความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่ 3

From/To	1	2	3	4	5	6
1	0	0.208	0.208	0.188	0.208	0.188
2	0.208	0	0.208	0.188	0.228	0.168
3	0.208	0.168	0	0.188	0.208	0.228
4	0.224	0.184	0.204	0	0.184	0.204
5	0.200	0.200	0.180	0.220	0	0.200
6	0.192	0.212	0.212	0.212	0.172	0

4.7.11 เทคนิคในการเก็บค่าที่ดีที่สุดในแต่ละรอบการทำงาน

ในการเก็บค่าที่ดีที่สุดจะพิจารณาสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากับ 1 ในแต่ละรอบ โดยนำเอาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกลับรอบปัจจุบันมาเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อเก็บสตริงคำตอบที่ให้ค่า Fitness เท่ากับ 1 ซึ่งจะคือกลุ่มของคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น แล้วพิจารณาแบบนี้ในทุกๆรอบการดำเนินการจนครบจำนวนรอบที่ทำการทดลอง ตัวอย่างนี้สมมติให้สตริงคำตอบในรอบก่อนหน้าที่ถูกจัดเก็บไว้ มีจำนวนสตริงคำตอบทั้งหมด 2 สตริงคำตอบ คือ สตริงคำตอบตัวที่ 1 คือ 2 1 4 3 6 5 และสตริงคำตอบตัวที่ 2 คือ 6 3 5 2 4 1 โดยมีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดที่ได้ของรอบก่อนหน้า

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes
1	23.6883	10	4
2	24.4603	10	4

นำสตริงคำตอบที่ทำให้ได้คำตอบที่ดีในรอบปัจจุบัน(Current Good String) 2 สตริงคำตอบมารวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า (Previous Best String) จำนวน 2 สตริงคำตอบ ก็จะได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ดังตารางที่ 4.19

ตารางที่ 4.19 ค่าฟังก์ชั่นที่ดีที่สุดที่ได้ในรอบก่อนหน้าและรอบปัจจุบัน

Strings	Utility Work	Total Number of Violations	Colour Changes	Fitness
คำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า	23.6883	10	4	1
	24.4603	10	4	2
คำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน	23.6883	11	4	2
	23.3394	12	6	1
	23.3681	11	6	1

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่ามีสตริงคำตอบทั้ง 3 ตัวมีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Fitness) เท่ากับ 1 ดังนั้นจึงนำค่าสตริงคำตอบทั้งสามตัวจัดเก็บไว้ในรอบปัจจุบัน และจะกลายไปเป็นสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้าในรอบต่อไป โดยรอบถัดไปจะสุ่มมาจากตารางความน่าจะเป็นแบบ COIN ร้อยละ 70 และจากตารางที่เหลืออีกร้อยละ 30 ซึ่งถ้าจำนวนรอบนี้มีค่าเท่ากับจำนวนรอบสูงสุดที่กำหนดไว้ สตริงคำตอบที่ทำให้ค่าดีที่สุดเป็นไปตามฟังก์วัตถุประสงค์จะเป็นสตริงคำตอบของปัญหาดังกล่าว

4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี COIN-E ที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

วิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ ความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยจะใช้การอ้างอิงจากอัลกอริทึม COIN และพารามิเตอร์ที่จะใช้สุ่มจำนวนประชากรจากตารางความน่าจะเป็นของแต่ละวัตถุประสงค์ แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 (50-25-25) คือ ในแต่ละสตริงคำตอบจะสุ่มจากตารางวัตถุประสงค์ที่ 1 มาร้อยละ 50 จากตารางวัตถุประสงค์ที่ 2 ร้อยละ 25 และจากตารางวัตถุประสงค์ที่ 3 ร้อยละ 25 จนครบจำนวนสตริงคำตอบทั้งสิ้นร้อยละ 30 ของประชากรทั้งหมด ระดับที่ 2 (25-50-25) และระดับที่ 3 (25-25-50) ที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดข้างต้น

4.9 ผลการทดลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-E

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม โดยผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ในแต่ละปัญหาการทดลอง อยู่ในภาคผนวก ฉ

4.10 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ใน COIN-E

จากการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา 11 ปัญหา ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมทั้งจากการอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและจากการทดลองเบื้องต้นของอัลกอริทึม COIN-E มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 4.20 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN-E

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิงจาก
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง (ร้อยละของแต่ละวัตถุประสงค์ในการสุ่ม)	Set 1.1 : 0.150 (25-50-25)	การทดลอง
	Set 1.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 2.1 : 0.150 (50-25-25)	
	Set 2.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 3.1 : 0.150 (25-25-50)	
	Set 3.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 4.1 : 0.125 (25-25-50)	
	Set 4.2 : 0.150 (25-25-50)	
	Set 5.1 : 0.125 (25-25-50)	
	Set 5.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 6 : 0.125 (25-50-25)	

4.11 สรุปท้ายบท

เนื้อหาที่กล่าวในบทนี้จะเป็นเนื้อหาของวิธีการบรรจวบ (COIN) ในการนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน โดยที่ COIN มีแนวคิดหลักนั้นเป็นการศึกษาแนวทางของคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (Not Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน โดยสตริงคำตอบที่ดีจะทำการให้รางวัล (Reward) แต่ถ้าสตริงคำตอบนั้นเป็นสตริงคำตอบที่ไม่ดีก็จะทำการลงโทษ (Punish) เพื่อเป็นตัวกำหนดทิศทางของคำตอบสุดท้าย โดยมีการสร้างตารางความน่าจะเป็นขึ้นมาแล้วสุ่มเลือกมาสร้างประชากรเริ่มต้น โดยมีการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นตลอดเวลาในแต่ละรอบ โดยปรับปรุงตามคำตอบที่ดีและคำตอบที่ไม่ดี ถ้าเกิดเป็นคำตอบที่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะมากขึ้นเพื่อใช้ในการสุ่มรอบถัดไป แต่ถ้าคำตอบไม่ดีค่าความน่าจะเป็นก็จะถูกลดลงเพื่อจะได้สุ่มเจอน้อยลงในรอบถัดไป และนำแนวคิดของ COIN มาประยุกต์ในการหาคำตอบที่เหมาะสมเป็นวิธีการที่มีชื่อว่า วิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) โดยจากเดิมวิธีการ COIN จะใช้ตารางความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการเลือกเดินเพื่อนำไปสู่คำตอบที่เหมาะสม แต่ใน COIN-E จะมีตารางความน่าจะเป็นร่วมเพิ่มมาอีก 3 ตารางที่ได้มาจากการหาคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์มาสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม โดยนำคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ดีและไม่ดีมาทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่าน้อยสุดในรอบนั้นจะทำการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น แต่ถ้าคำตอบที่ได้ในแต่ละวัตถุประสงค์มีค่ามากสุดในรอบนั้นจะทำการลดค่าความน่าจะเป็นลง เพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและคำตอบที่ได้ก็จะมีการกระจายตัวของคำตอบมากกว่าวิธีการ COIN แบบเดิม โดย COIN-E จะเริ่มจากการสร้างตารางความน่าจะเป็นมาทั้งหมด 4 ตารางคือ 1. ตารางวิธีการแบบ COIN 2. ตารางจากวัตถุประสงค์แรก 3.ตารางจากวัตถุประสงค์สอง 4.ตารางจากวัตถุประสงค์สาม โดยแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบคือจากตาราง COIN มาร้อยละ 70 ของประชากรทั้งหมด และสุ่มจากตารางคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์รวมกันร้อยละ 30 ของประชากรทั้งหมด และในส่วนท้ายก็มีการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) สำหรับการใช้ในปัญหาทั้ง 11 ปัญหาในงานวิจัยนี้

บทที่ 5

ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพแต่ละอัลกอริทึม

ในบทนี้จะมีเนื้อหาของจำนวนรอบที่ใช้ในการค้นหากลุ่มคำตอบ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึมและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม โดยมีอัลกอริทึมที่ทดสอบทั้งหมด 5 อัลกอริทึมคือ NSGA-II, DPSO, BBO, COIN และ COIN-E ซึ่งมีทั้งสิ้น 11 ปัญหา แบ่งเป็นปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยนำเอาตัวชี้วัดสมรรถนะคำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Chutima and Olanviwatchai, 2010)

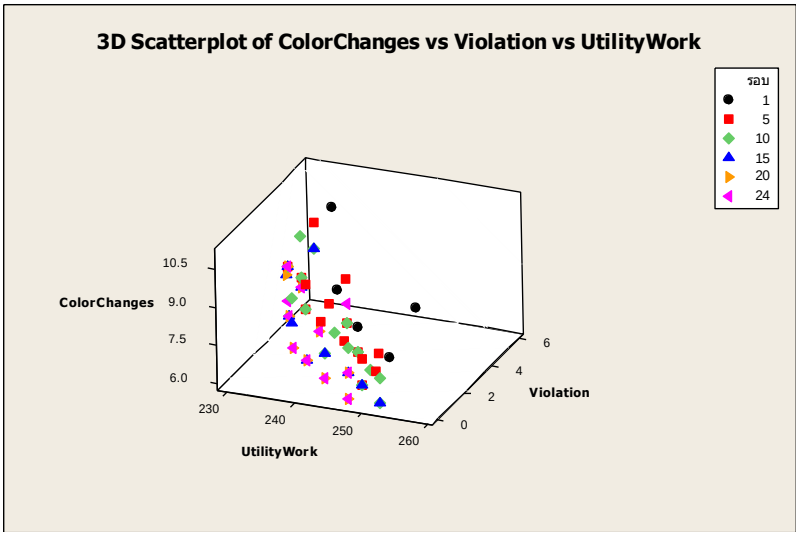
5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับที่ใช้ในการทดลอง

การกำหนดพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึมนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากจะทำให้การค้นหากลุ่มคำตอบมีประสิทธิภาพและใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว โดยค่าพารามิเตอร์ของแต่ละอัลกอริทึมจะแสดงในบทนี้

5.1.1 จำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสม

การค้นหาคำตอบในการทดลองมีความจำเป็นที่จะต้องทราบจำนวนรอบการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมก่อน เพื่อจะใช้ในการกำหนดจำนวนรอบการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม เพื่อให้แต่ละอัลกอริทึมได้ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ โดยการกำหนดจำนวนรอบการทำงานจะใช้วิธี Pilot Run ทั้ง 11 ปัญหา งานวิจัยนี้จะมีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด (Minimize Utility Work) จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด (Minimize the Number of Violations) และ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Minimize the Number of Colour Changes) โดยจะพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน จึงทำให้การค้นหาคำตอบจะใช้จำนวนรอบการทำงานที่ค้อนข้างเยอะเมื่อเทียบกับงานวิจัยทั่วไป เนื่องจากจะมีคำตอบที่เกิดขึ้นได้หลายแบบ

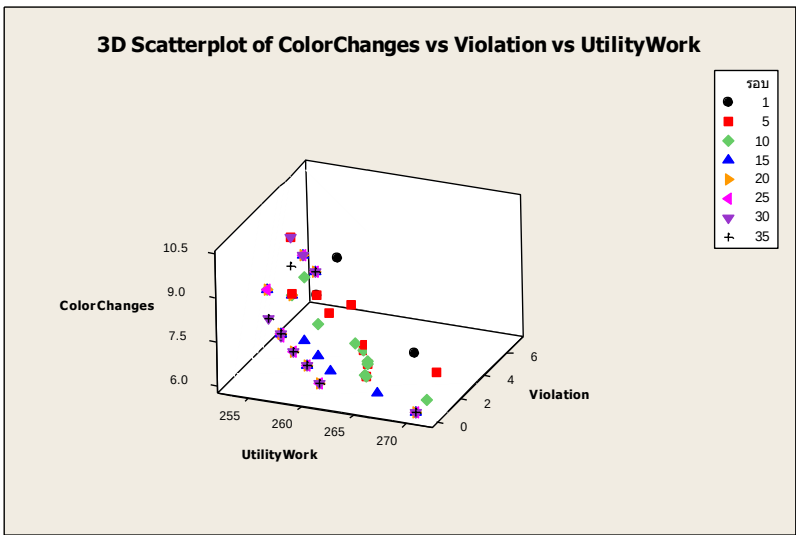
5.1.1.1 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 1.1



ภาพที่ 5.1 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.1

จากภาพที่ 5.1 พบว่า ปัญหา Set 1.1 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 24 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 1.1 คือ 24

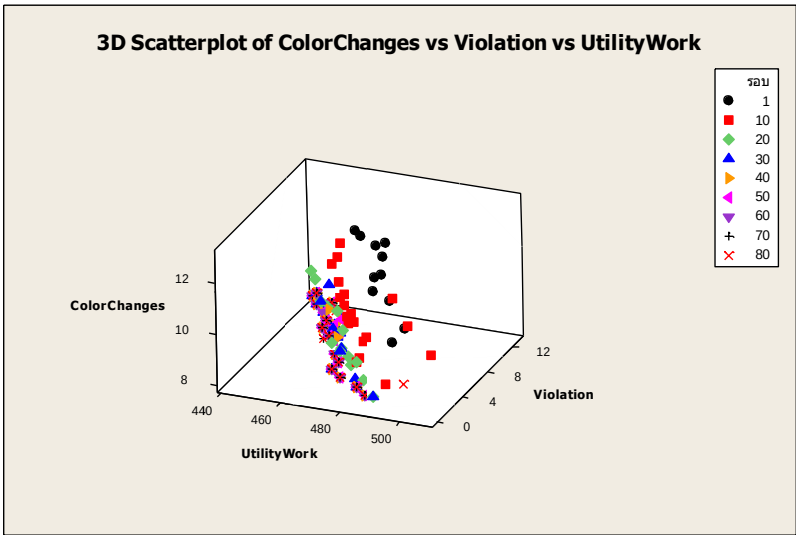
5.1.1.2 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 1.2



ภาพที่ 5.2 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 1.2

จากภาพที่ 5.2 พบว่า ปัญหา Set 1.2 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 35 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 1.2 คือ 35

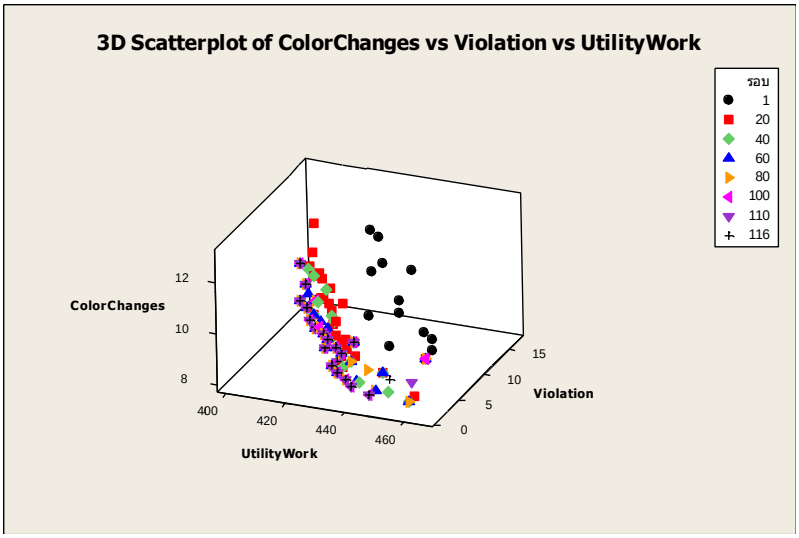
5.1.1.3 **จำนวนรอบการทำงานของปัญหา** Set 2.1



ภาพที่ 5.3 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.1

จากภาพที่ 5.3 พบว่า ปัญหา Set 2.1 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 80 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 2.1 คือ 80

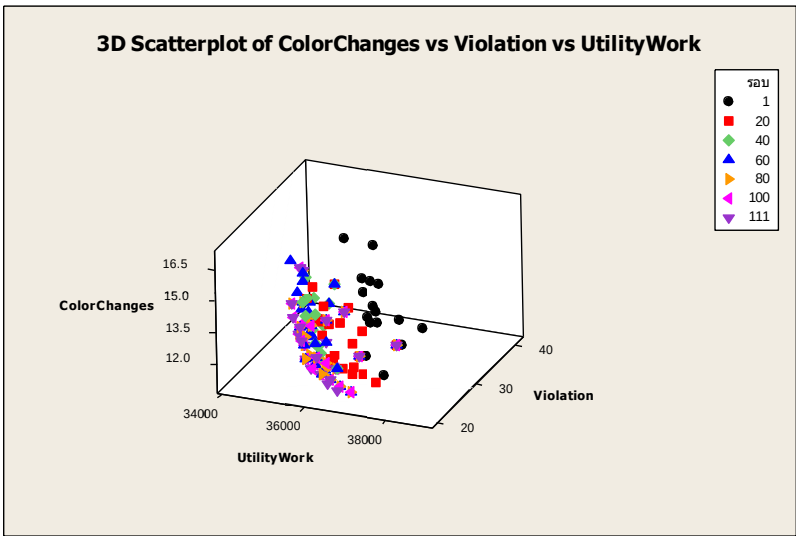
5.1.1.4 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 2.2



ภาพที่ 5.4 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 2.2

จากภาพที่ 5.4 พบว่า ปัญหา Set 2.2 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 116 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 2.2 คือ 116

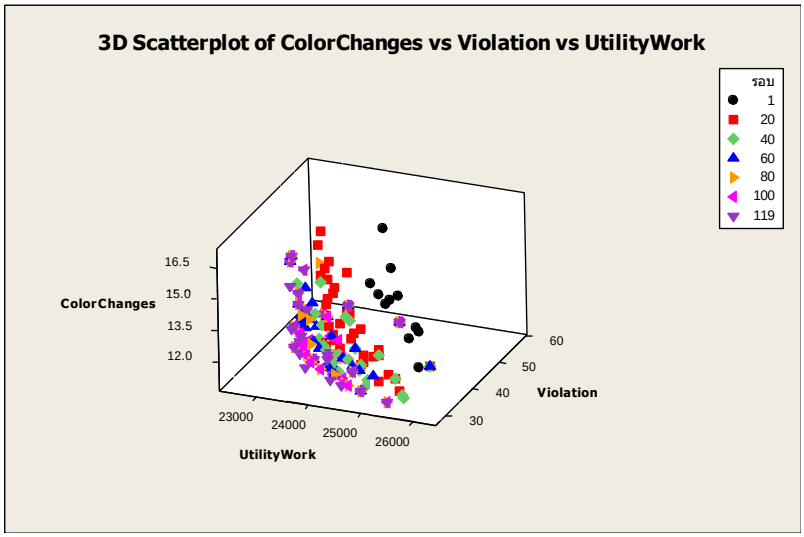
5.1.1.5 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 3.1



ภาพที่ 5.5 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.1

จากภาพที่ 5.5 พบว่า ปัญหา Set 3.1 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 111 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 3.1 คือ 111

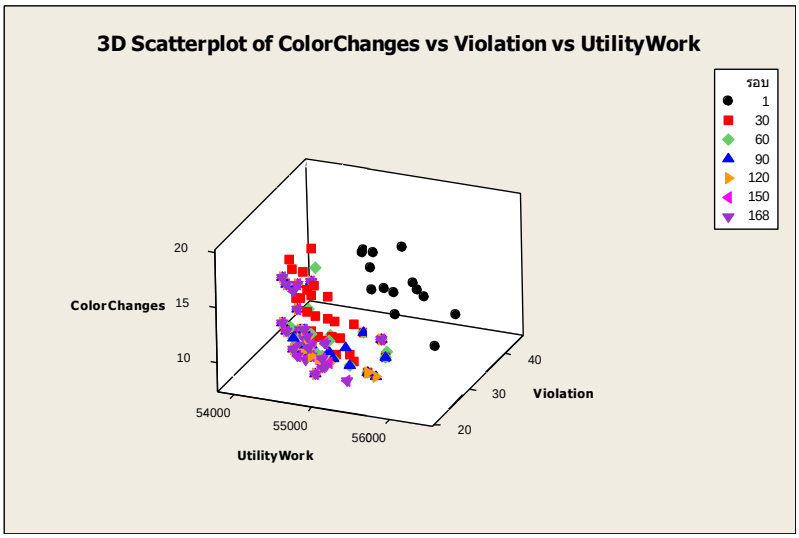
5.1.1.6 **จำนวนรอบการทำงานของปัญหา** Set 3.2



ภาพที่ 5.6 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 3.2

จากภาพที่ 5.6 พบว่า ปัญหา Set 3.2 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 119 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 3.2 คือ 119

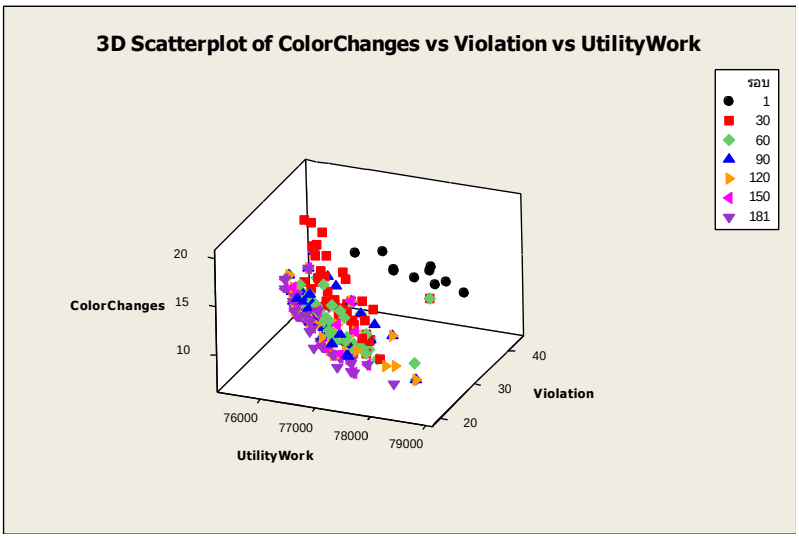
5.1.1.7 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 4.1



ภาพที่ 5.7 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.1

จากภาพที่ 5.7 พบว่า ปัญหา Set 4.1 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 168 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 4.1 คือ 168

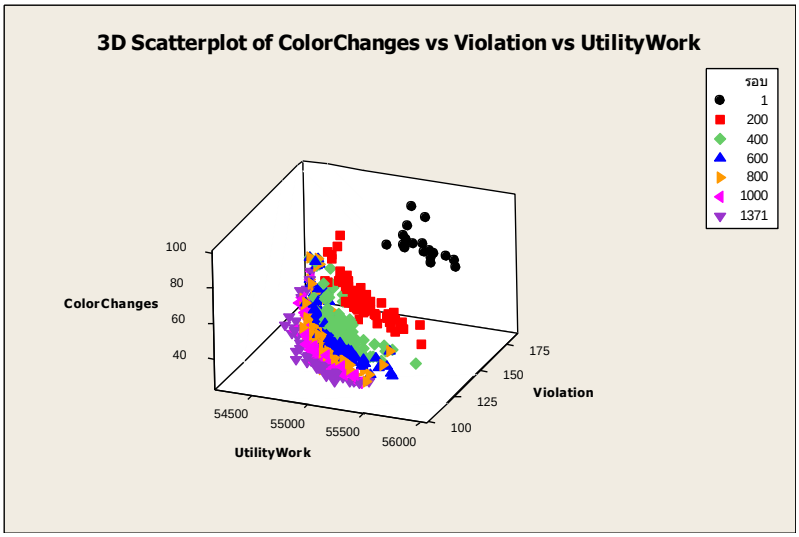
5.1.1.8 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 4.2



ภาพที่ 5.8 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 4.2

จากภาพที่ 5.8 พบว่า ปัญหา Set 4.2 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 181 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 4.2 คือ 181

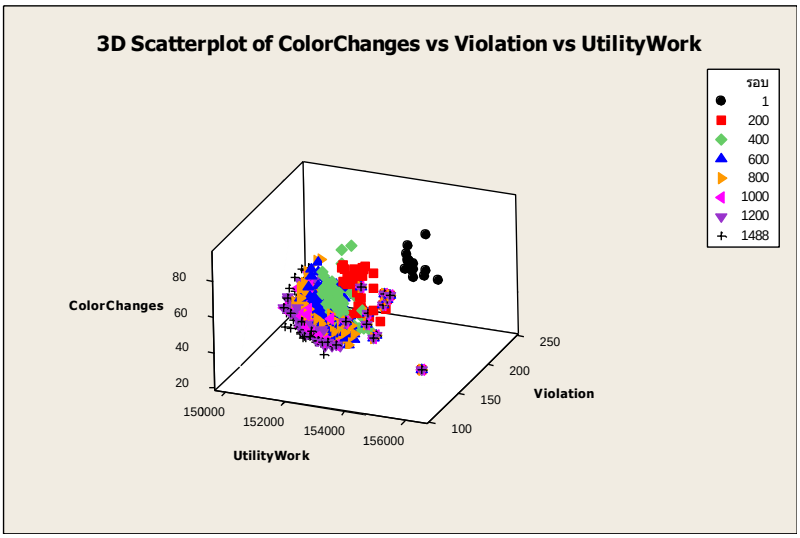
5.1.1.9 **จำนวนรอบการทำงานของปัญหา** Set 5.1



ภาพที่ 5.9 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.1

จากภาพที่ 5.9 พบว่า ปัญหา Set 5.1 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 1371 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 5.1 คือ 1371

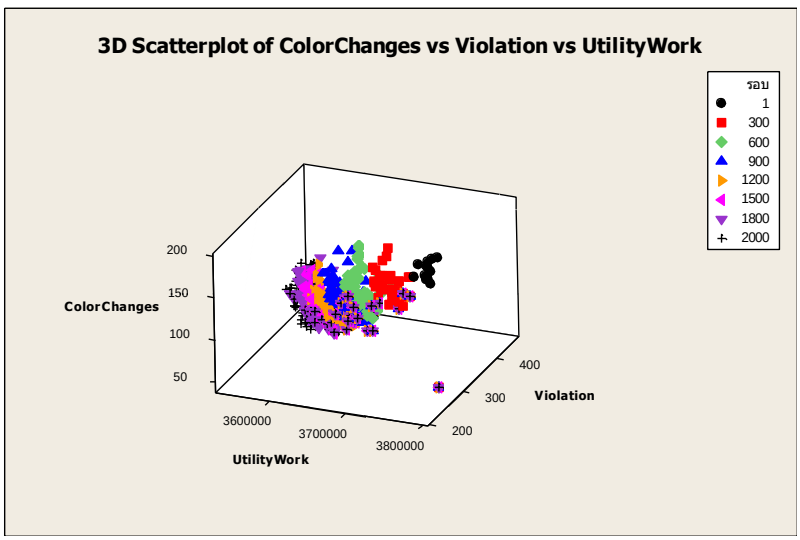
5.1.1.10 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 5.2



ภาพที่ 5.10 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา 5.2

จากภาพที่ 5.10 พบว่า ปัญหา Set 5.2 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 1488 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 5.2 คือ 1488

5.1.1.11 จำนวนรอบการทำงานของปัญหา Set 6



ภาพที่ 5.11 จำนวนรอบที่เหมาะสมในการทดลองของปัญหา Set 6

จากภาพที่ 5.11 พบว่า ปัญหา Set 6 จำนวนรอบที่จะเริ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงคำตอบตั้งแต่จำนวนรอบที่ 2000 ดังนั้นจำนวนรอบการทำงานที่เหมาะสมในการหาคำตอบของปัญหา Set 6 คือ 2000

5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึม

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ 5 อัลกอริทึมสามารถสรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี NSGA-II

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิงจาก
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
วิธีการครอสโอเวอร์	Weight Mapping Crossover	ปาลิดา (2553)
วิธีการมิวเตชัน	Reciprocal Exchange Mutation	Kim et al. (1996)
ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	Pc= 1.0, Pm= 0.1	Chutima and Pinkoompee (2009)
จำนวนรอบการทำงาน	Set 1.1 : 1000 รอบ	การทดลอง
	Set 1.2 : 1000 รอบ	
	Set 2.1 : 1000 รอบ	
	Set 2.2 : 1000 รอบ	
	Set 3.1 : 1000 รอบ	
	Set 3.2 : 1000 รอบ	
	Set 4.1 : 1000 รอบ	
	Set 4.2 : 1000 รอบ	
	Set 5.1 : 2000 รอบ	
	Set 5.2 : 2000 รอบ	
	Set 6 : 2000 รอบ	

ตารางที่ 5.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี DPSO

พารามิเตอร์	**ค่าพารามิเตอร์**	**อ้างอิงจาก**
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
Cognitive Component	$C_1 = 0.1$	Wattanapornprom et al.(2009)
Social Component	$C_2 = 0.1$	Wattanapornprom et al.(2009)
น้ำหนักความหน่วง	$w = 0.1$	Salman et al. (2002)
จำนวนฝูงและจำนวนอนุภาค	Set 1.1 : 4-25	การทดลอง
	Set 1.2 : 10-10	
	Set 2.1 : 5-20	
	Set 2.2 : 10-10	
	Set 3.1 : 10-10	
	Set 3.2 : 5-20	
	Set 4.1 : 4-25	
	Set 4.2 : 4-25	
	Set 5.1 : 10-10	
	Set 5.2 : 10-10	
	Set 6 : 5-20	
จำนวนรอบการทำงาน	Set 1.1 : 1000 รอบ	การทดลอง
	Set 1.2 : 1000 รอบ	
	Set 2.1 : 1000 รอบ	
	Set 2.2 : 1000 รอบ	
	Set 3.1 : 1000 รอบ	
	Set 3.2 : 1000 รอบ	
	Set 4.1 : 1000 รอบ	
	Set 4.2 : 1000 รอบ	
	Set 5.1 : 2000 รอบ	
	Set 5.2 : 2000 รอบ	
	Set 6 : 2000 รอบ	

ตารางที่ 5.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี BBO

พารามิเตอร์	**ค่าพารามิเตอร์**	**อ้างอิงจาก**
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
วิธีการมิวเตชัน	Reciprocal Exchange Mutation	Kim et al. (1996)
ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.01	Ma (2010)
รูปแบบในการอพยพ	Set 1.1 : Linear	การทดลอง
	Set 1.2 : Sinusoidal	
	Set 2.1 : Sinusoidal	
	Set 2.2 : Sinusoidal	
	Set 3.1 : Linear	
	Set 3.2 : Sinusoidal	
	Set 4.1 : Linear	
	Set 4.2 : Linear	
	Set 5.1 : Sinusoidal	
	Set 5.2 : Linear	
	Set 6 : Linear	
จำนวนรอบการทำงาน	Set 1.1 : 1000 รอบ	การทดลอง
	Set 1.2 : 1000 รอบ	
	Set 2.1 : 1000 รอบ	
	Set 2.2 : 1000 รอบ	
	Set 3.1 : 1000 รอบ	
	Set 3.2 : 1000 รอบ	
	Set 4.1 : 1000 รอบ	
	Set 4.2 : 1000 รอบ	
	Set 5.1 : 2000 รอบ	
	Set 5.2 : 2000 รอบ	
	Set 6 : 2000 รอบ	

ตารางที่ 5.4 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN

พารามิเตอร์	**ค่าพารามิเตอร์**	**อ้างอิงจาก**
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	Set 1.1 : 0.150	การทดลอง
	Set 1.2 : 0.100	
	Set 2.1 : 0.150	
	Set 2.2 : 0.100	
	Set 3.1 : 0.150	
	Set 3.2 : 0.100	
	Set 4.1 : 0.125	
	Set 4.2 : 0.150	
	Set 5.1 : 0.125	
	Set 5.2 : 0.100	
	Set 6 : 0.125	
จำนวนรอบการทำงาน	Set 1.1 : 1000 รอบ	การทดลอง
	Set 1.2 : 1000 รอบ	
	Set 2.1 : 1000 รอบ	
	Set 2.2 : 1000 รอบ	
	Set 3.1 : 1000 รอบ	
	Set 3.2 : 1000 รอบ	
	Set 4.1 : 1000 รอบ	
	Set 4.2 : 1000 รอบ	
	Set 5.1 : 2000 รอบ	
	Set 5.2 : 2000 รอบ	
	Set 6 : 2000 รอบ	

ตารางที่ 5.5 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลองสำหรับวิธี COIN-E

พารามิเตอร์	**ค่าพารามิเตอร์**	**อ้างอิงจาก**
จำนวนประชากร	100	Kim et al. (1996)
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง (ร้อยละของแต่ละวัตถุประสงค์ในการสุ่ม)	Set 1.1 : 0.150 (25-50-25)	การทดลอง
	Set 1.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 2.1 : 0.150 (50-25-25)	
	Set 2.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 3.1 : 0.150 (25-25-50)	
	Set 3.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 4.1 : 0.125 (25-25-50)	
	Set 4.2 : 0.150 (25-25-50)	
	Set 5.1 : 0.125 (25-25-50)	
	Set 5.2 : 0.100 (50-25-25)	
	Set 6 : 0.125 (25-50-25)	
จำนวนรอบการทำงาน	Set 1.1 : 1000 รอบ	การทดลอง
	Set 1.2 : 1000 รอบ	
	Set 2.1 : 1000 รอบ	
	Set 2.2 : 1000 รอบ	
	Set 3.1 : 1000 รอบ	
	Set 3.2 : 1000 รอบ	
	Set 4.1 : 1000 รอบ	
	Set 4.2 : 1000 รอบ	
	Set 5.1 : 2000 รอบ	
	Set 5.2 : 2000 รอบ	
	Set 6 : 2000 รอบ	

5.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการทดลองของแต่ละอัลกอริทึม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม จะนำเอากลุ่มของคำตอบในทุกอัลกอริทึมมาค่าหาคำตอบที่ดีที่สุดที่เรียกว่า กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) แล้วนำอัลกอริทึมแต่ละอัลกอริทึมมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างกันว่าอัลกอริทึมวิธีการใดที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน โดยใช้ตัววัดสมรรถนะในการพิจารณาประสิทธิภาพทั้งหมด 4 ตัวชี้วัด ดังต่อไปนี้

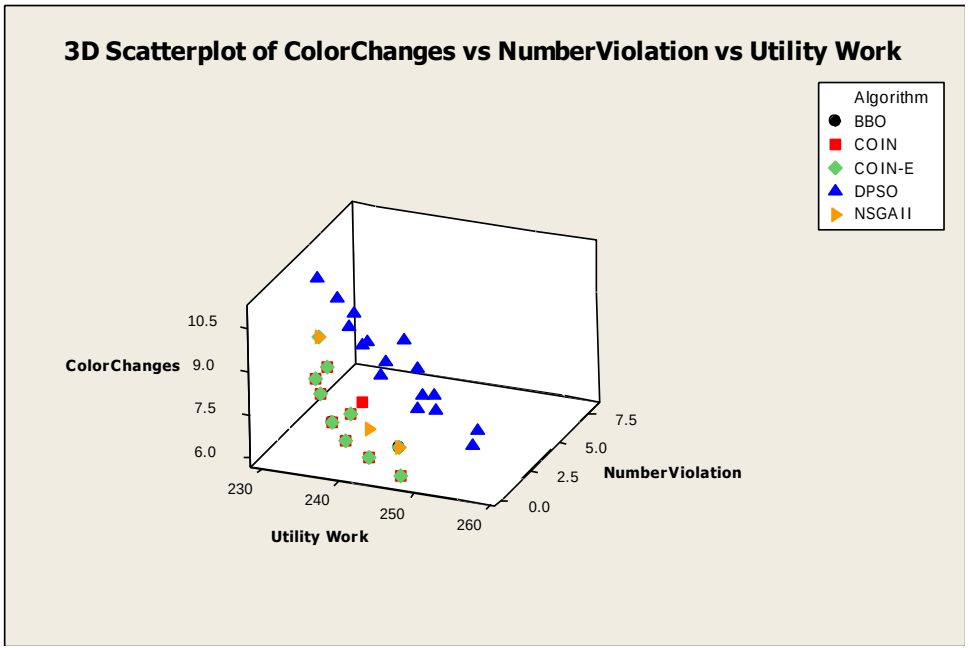
1. สมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) คือ การพิจารณาว่ากลุ่มคำตอบที่กำลังพิจารณามีค่าเข้าใกล้สู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงมากน้อยเท่าใด โดยถ้ากลุ่มคำตอบมีการเข้าใกล้สู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงมาก ค่าการลู่เข้าจะมีค่าน้อย คือ คำตอบนั้นมีความใกล้เคียงกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงหรือในกรณีที่ค่าการลู่เข้ามีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าไม่มีระยะห่างระหว่างกลุ่มคำตอบที่พิจารณากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงก็จะแสดงว่าอัลกอริทึมนั้นมีประสิทธิภาพในด้านการลู่เข้าสู่คำตอบ
2. สมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ (Spread Measurement) คือ เป็นการพิจารณาการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่กำลังพิจารณาว่ามีการกระจายตัวในลักษณะใดโดยถ้าค่าการกระจายตัวมีค่าน้อย จะมีความหมายถึงการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบมีความสม่ำเสมอและกระจายไปทั่วถึงกลุ่มคำตอบที่แท้จริง
3. สมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solution) คือ เป็นการพิจารณาการที่กลุ่มคำตอบที่กำลังพิจารณานั้นมีค่าของกลุ่มคำตอบที่เท่ากับจุดของกลุ่มคำตอบที่แท้จริงโดยจะมีค่าเท่ากับ 1 โดยจะนับจากการที่จุดของกลุ่มคำตอบที่กำลังพิจารณาอยู่ตรงจุดกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง โดยค่าที่ได้ถ้ามีค่าเข้าใกล้ 1 จะแสดงถึงอัลกอรึทึมนั้นมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา
4. เวลาในการค้นหาคำตอบ (CPU Time) คือ การพิจารณาในเรื่องของการใช้เวลาในการค้นหากลุ่มคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม

ในงานวิจัยเล่มนี้ได้มีการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึมจำนวนทั้งสิ้น 5 อัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรมที่ใช้ในการหาคำตอบคือ โปรแกรม Matlab 2009a บนคอมพิวเตอร์ Intel® Core™ i7 CPU 2670QM 2.2GHz Ram 8 GB Windows 7 ซึ่งได้ผลดังต่อไปนี้

5.3.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมของครั้งที่ 1

5.3.1.1 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 1.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.12 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 1

ตารางที่ 5.6 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 1

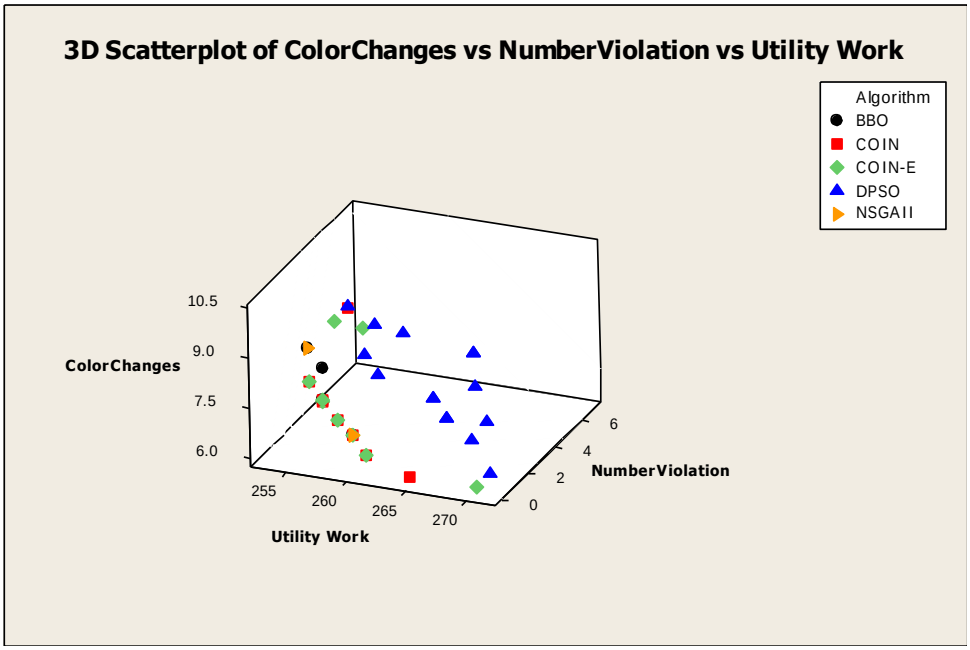
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.5344	0.7299	0.0000	291.45
DPSO	0.3480	0.5066	0.0000	122.21
BBO	0.8206	0.6667	0.1429	197.57
COIN	0.0000	0.7016	1.0000	163.33
COIN-E	0.0000	0.5142	1.0000	125.49

จากตารางที่ 5.6 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E กับ COIN รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการ

กระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ COIN-E, BBO, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E และ COIN รองลงมาคือ BBO, NSGA-II กับ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.2 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 1.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.13 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 1

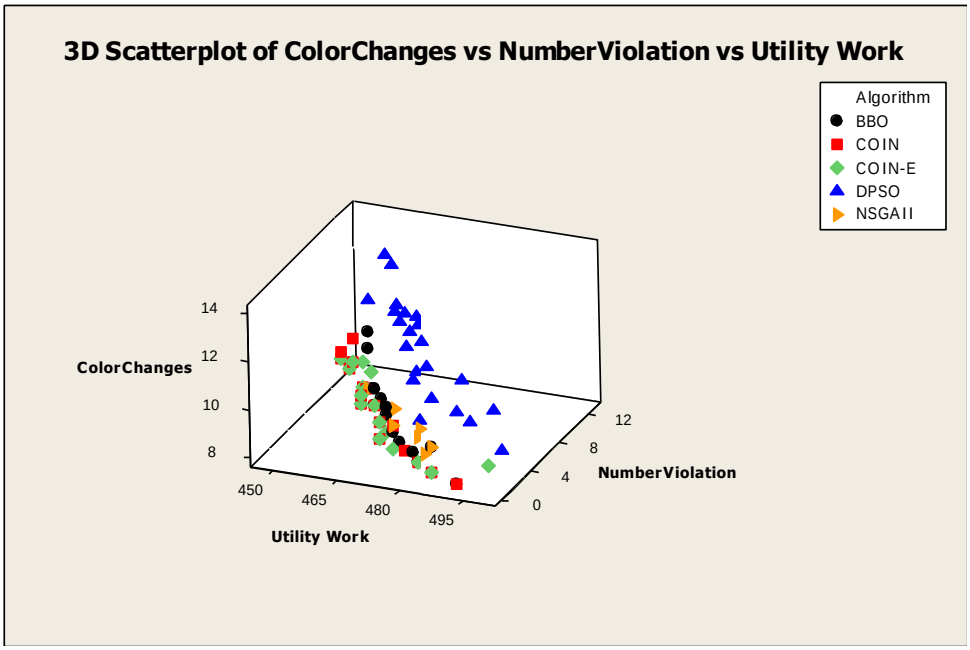
ตารางที่ 5.7 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.6158	0.6667	0.1429	134.00
DPSO	0.4761	0.4915	0.0000	82.02
BBO	0.3586	0.4479	0.2857	221.75
COIN	0.0000	0.3528	1.0000	151.06
COIN-E	0.0438	0.2667	0.8571	148.62

จากตารางที่ 5.7 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, BBO,DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E, COIN และ BBO ตามลำดับ

5.3.1.3 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 2.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.14 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 1

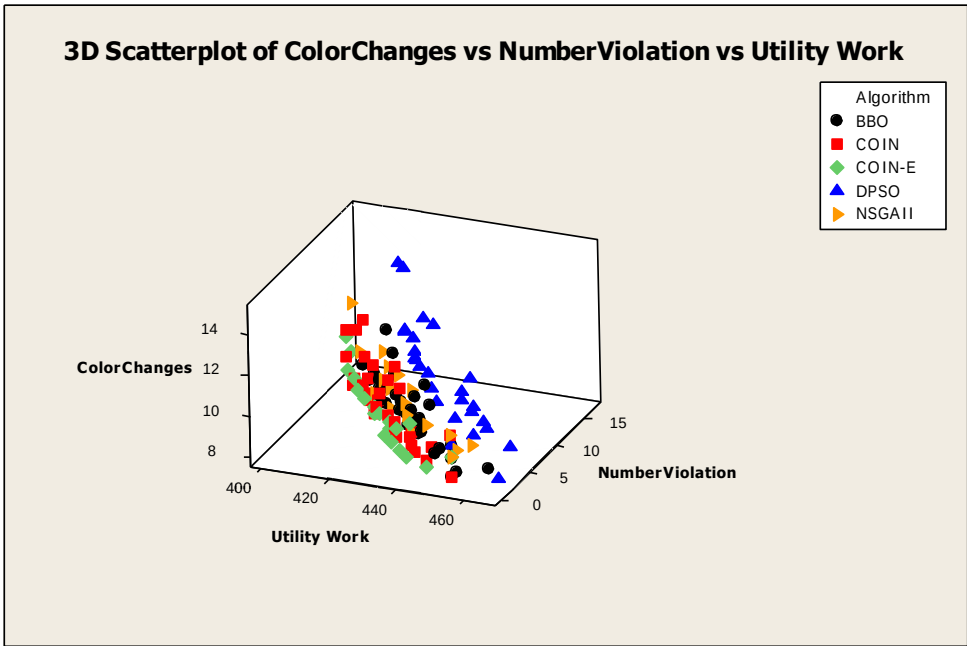
ตารางที่ 5.8 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2646	0.2939	0.0000	753.09
DPSO	0.3393	0.3989	0.0000	203.40
BBO	0.1216	0.5664	0.1176	473.99
COIN	0.0279	0.4391	0.8235	339.30
COIN-E	0.0166	0.6527	0.8824	367.49

จากตารางที่ 5.8 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ DPSO, COIN, BBO และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II กับ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, COIN-E, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.4 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 2.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.15 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 1

ตารางที่ 5.9 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 1

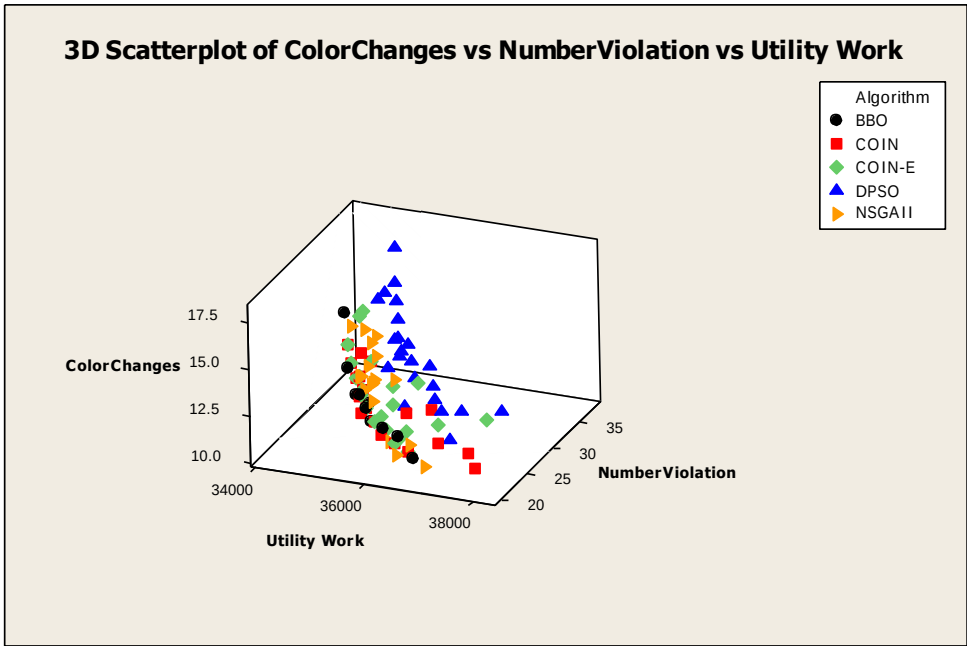
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1804	0.4176	0.0400	691.92
DPSO	0.3019	0.5327	0.0000	155.21
BBO	0.1144	0.5564	0.1200	702.30
COIN	0.0553	0.5144	0.3600	695.70
COIN-E	0.0455	0.3903	0.6400	453.71

จากตารางที่ 5.9 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, COIN, DPSO และ BBO

ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II, COIN และ BBO ตามลำดับ

5.3.1.5 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 3.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.16 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 1

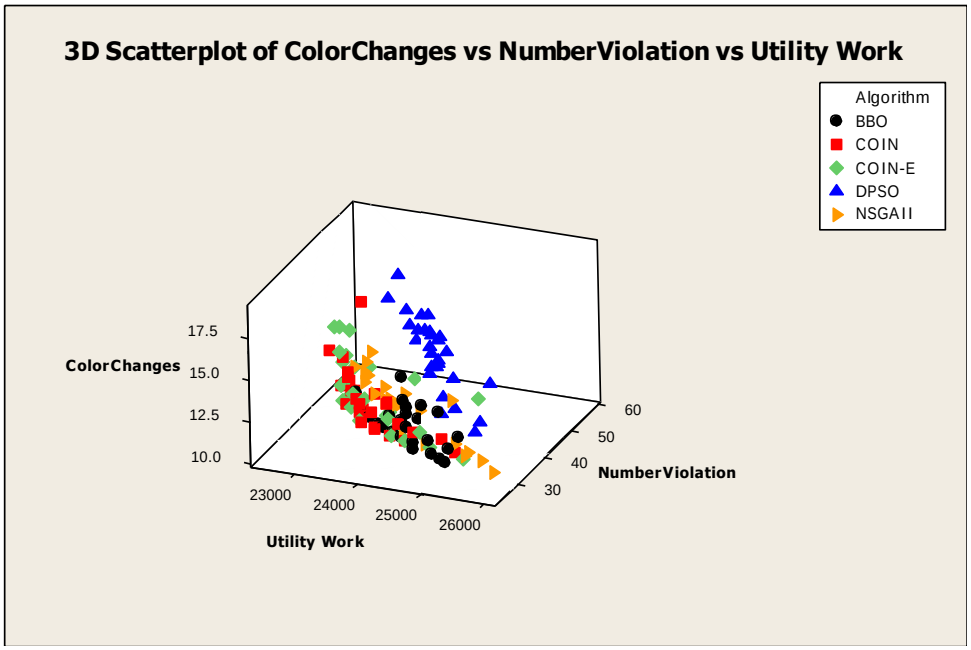
ตารางที่ 5.10 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1416	0.6892	0.3333	1653.92
DPSO	0.3208	0.4854	0.0000	414.76
BBO	0.1537	0.5323	0.3333	682.40
COIN	0.1867	0.4767	0.2917	1188.52
COIN-E	0.1011	0.4951	0.2083	1067.93

จากตารางที่ 5.10 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, BBO, COIN และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ DPSO, COIN-E, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO กับ NSGA-II รองลงมาคือ COIN, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.6 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 3.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.17 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 1

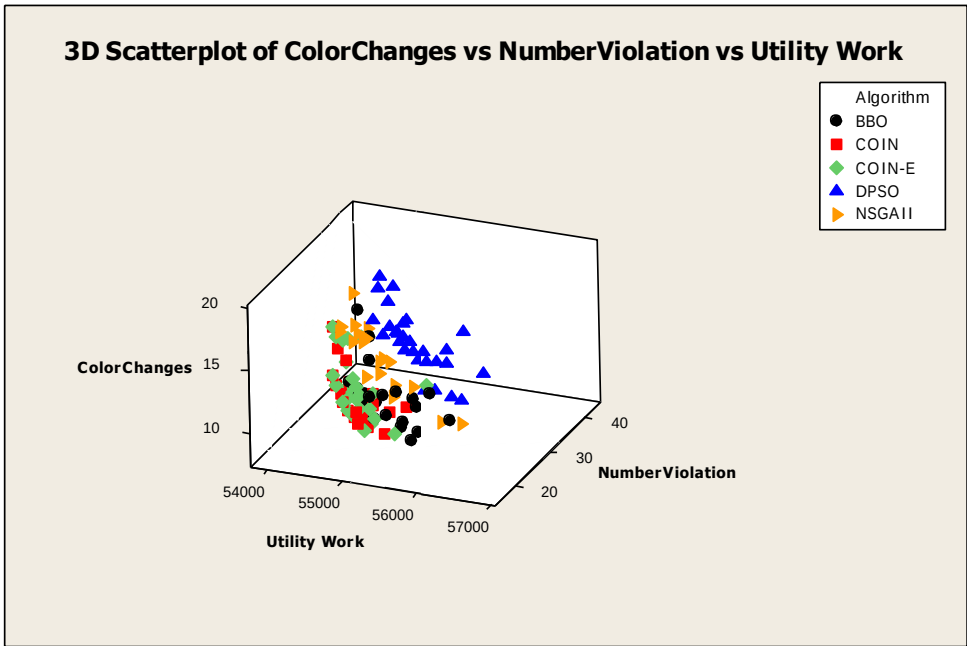
ตารางที่ 5.11 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1484	0.5882	0.0952	2026.50
DPSO	0.3283	0.4802	0.0000	334.67
BBO	0.1025	0.5612	0.3333	2335.69
COIN	0.1102	0.4604	0.4048	1665.67
COIN-E	0.1175	0.1905	0.6417	1215.84

จากตารางที่ 5.11 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN, COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, DPSO, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ

5.3.1.7 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 4.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.18 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 1

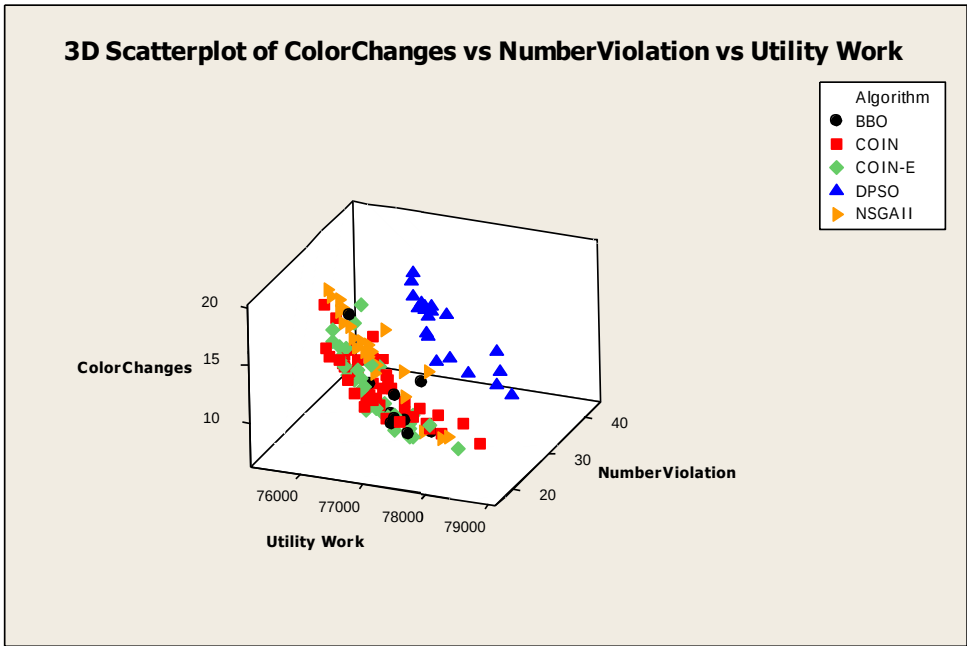
ตารางที่ 5.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2367	0.4938	0.0000	2364.12
DPSO	0.3150	0.4414	0.0000	667.35
BBO	0.1042	0.4927	0.3438	2004.88
COIN	0.1187	0.4560	0.4063	2251.20
COIN-E	0.0871	0.6215	0.5000	2193.88

จากตารางที่ 5.12 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ BBO, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO และ DPSO กับ NSGA-II ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.8 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 4.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.19 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 1

ตารางที่ 5.13 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 1

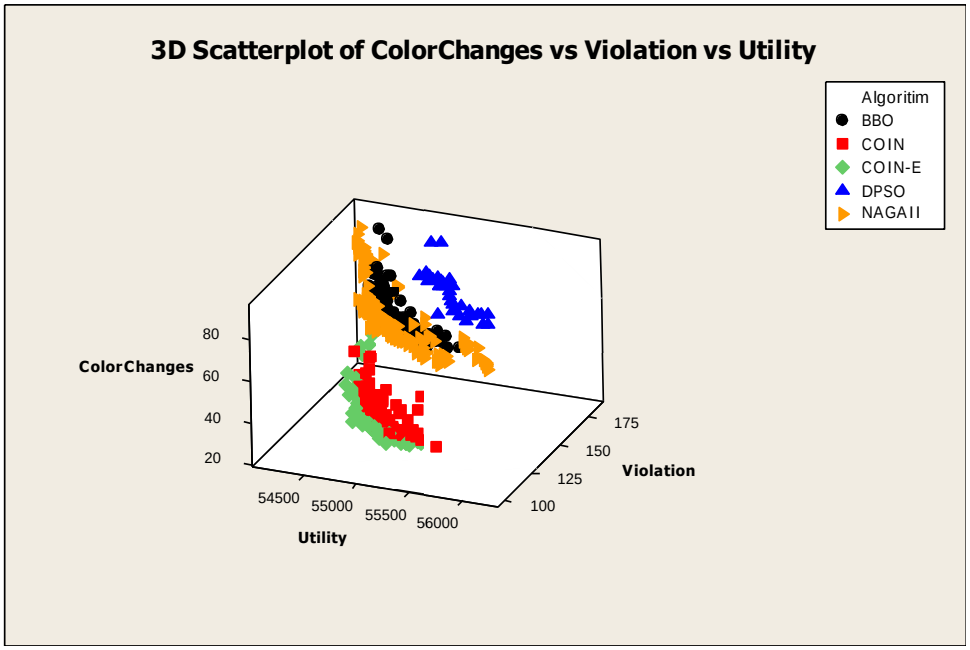
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2352	0.5927	0.0238	3040.57
DPSO	0.4478	0.4615	0.0000	291.36
BBO	0.2112	0.6513	0.0714	1831.17
COIN	0.0739	0.3999	0.4286	3106.74
COIN-E	0.0602	0.4505	0.5238	2557.13

จากตารางที่ 5.13 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, DPSO, NSGA-II และ BBO

ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, NSGA-II และ COIN ตามลำดับ

5.3.1.9 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 5.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.20 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 1

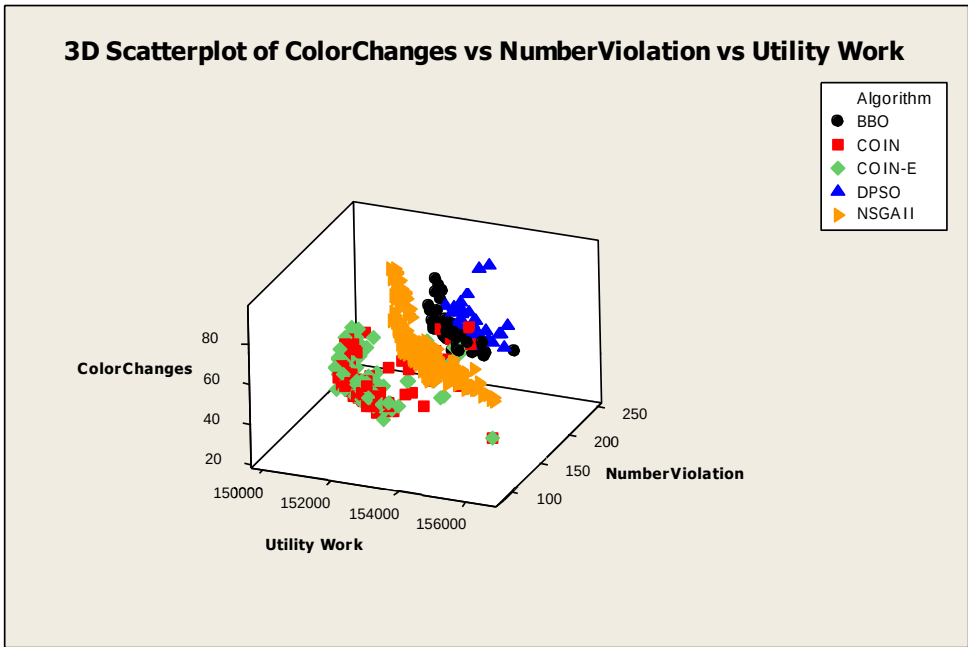
ตารางที่ 5.14 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.4439	0.7351	0.1750	392825.67
DPSO	0.6914	0.5502	0.0000	6176.77
BBO	0.5284	0.5898	0.0000	43565.64
COIN	0.1779	0.5723	0.0375	297650.17
COIN-E	0.1328	0.5430	0.7875	271015.02

จากตารางที่ 5.14 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ DPSO, COIN, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.10 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 5.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.21 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 1

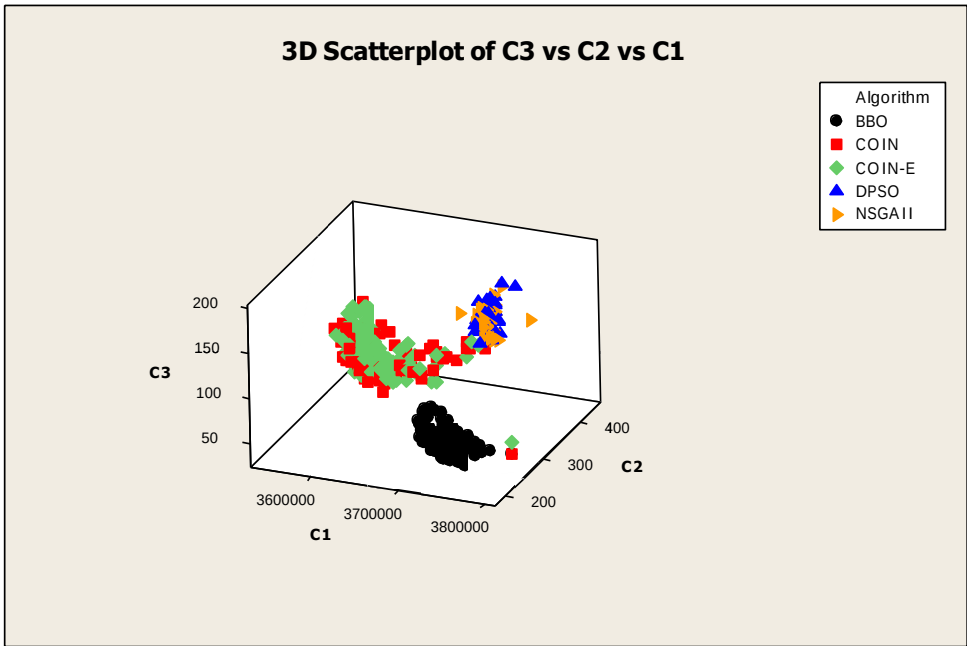
ตารางที่ 5.15 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 1

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2200	0.6927	0.6008	456531.11
DPSO	0.4568	0.5793	0.0000	10055.96
BBO	0.3727	0.5289	0.0000	48088.21
COIN	0.0947	0.6294	0.2253	393347.72
COIN-E	0.0947	0.6165	0.1779	274804.90

จากตารางที่ 5.15 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E กับ COIN รองลงมาคือ NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ DPSO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ COIN, COIN-E, และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.1.11 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 1

คำตอบของปัญหา Set 6 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.22 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 1

ตารางที่ 5.16 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 1

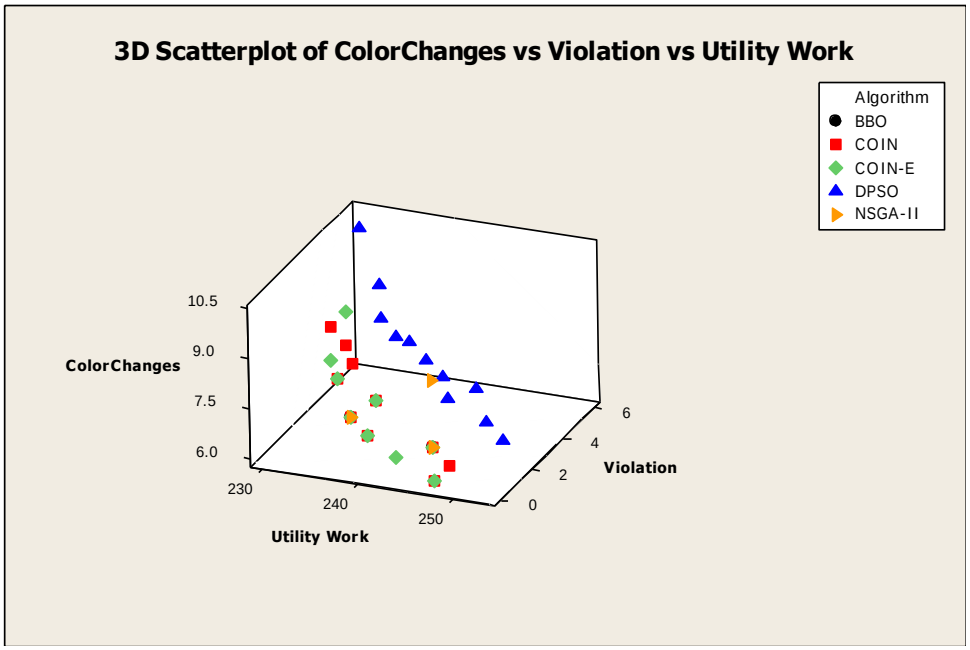
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.7945	0.5715	0.0000	727161.87
DPSO	0.8026	0.5119	0.0000	16251.66
BBO	0.2146	0.5607	0.5976	574821.90
COIN	0.2000	0.6258	0.3028	619731.31
COIN-E	0.1975	0.6394	0.1036	688429.63

จากตารางที่ 5.16 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ BBO, NSGA-II, COIN และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN, COIN-E, และ DPSO กับ NSGA-II ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมของครั้งที่ 2

5.3.2.1 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 1.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.23 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 2

ตารางที่ 5.17 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 ซ้ำที่ 2

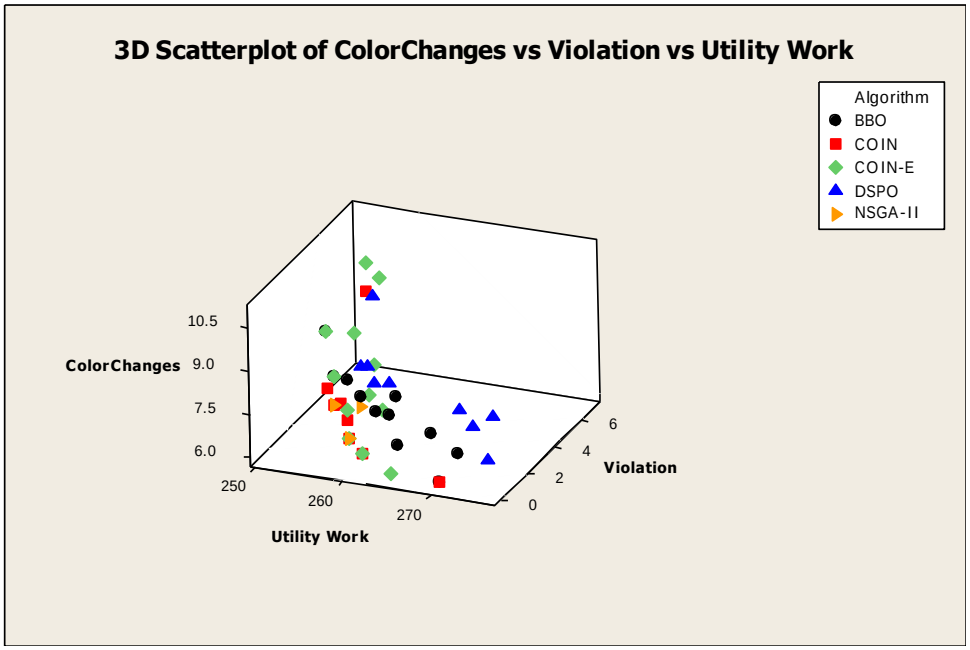
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.4903	0.5858	0.1429	146.8916
DPSO	0.4313	0.3964	0.0000	101.3906
BBO	0.8206	0.6667	0.1429	207.2306
COIN	0.0653	0.3357	0.7143	113.8745
COIN-E	0.0000	0.3685	1.0000	124.5627

จากตารางที่ 5.17 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจาย

ตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO กับ NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, COIN-E, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ

5.3.2.2 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 1.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.24 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 2

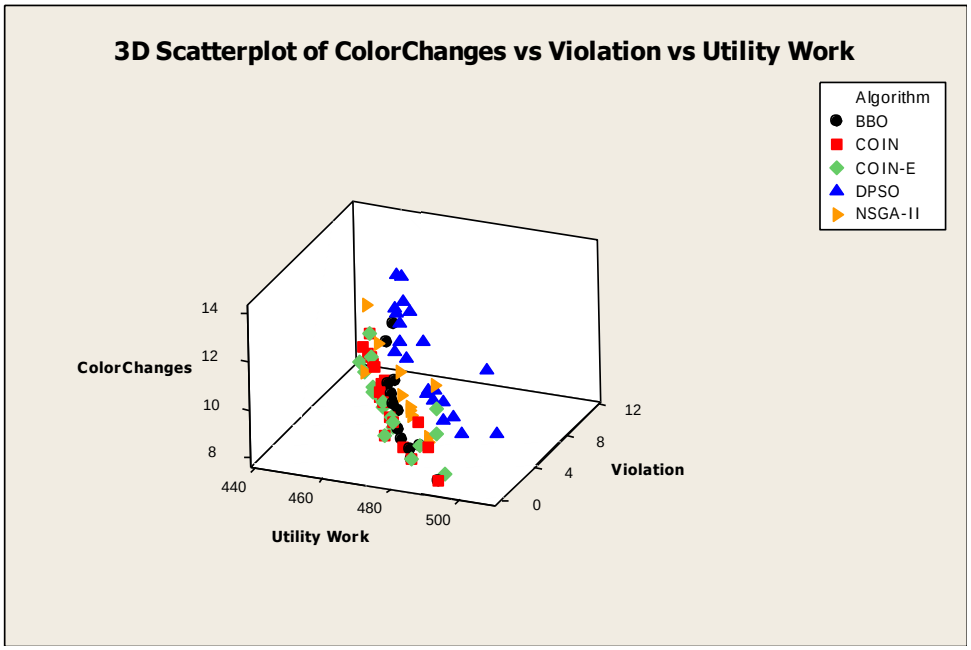
ตารางที่ 5.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.3845	0.6077	0.2857	154.2594
DPSO	0.3878	0.5398	0.0000	53.5356
BBO	0.3546	0.4469	0.0000	237.3778
COIN	0.0455	0.4968	0.8571	121.6573
COIN-E	0.1708	0.3343	0.4286	163.5654

จากตารางที่ 5.18 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, BBO,NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ BBO, COIN, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, NSGA-II COIN-E และ BBO ตามลำดับ

5.3.2.3 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 2.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.25 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 2

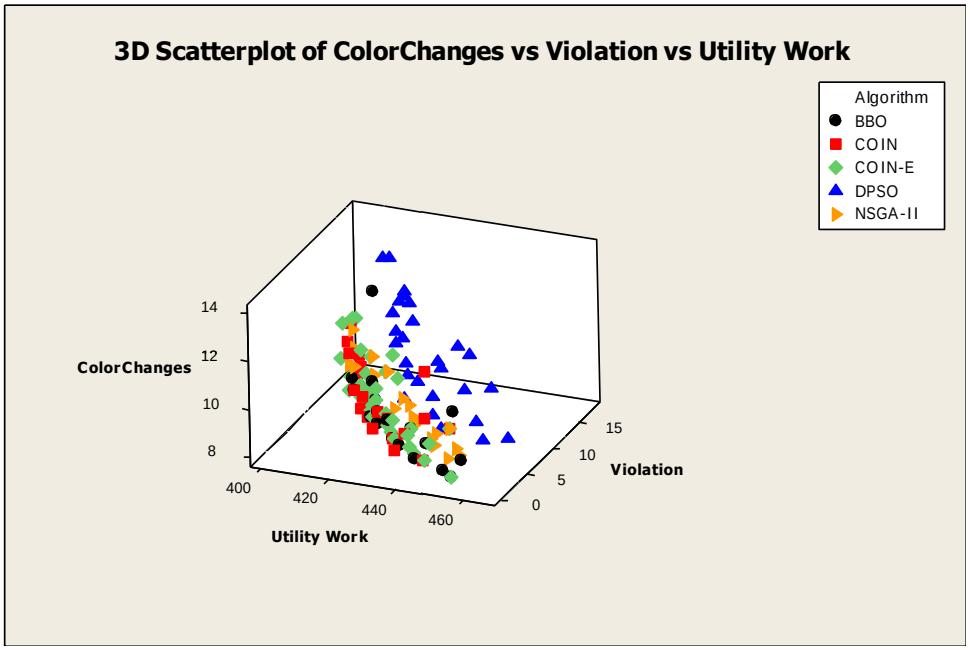
ตารางที่ 5.19 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2017	0.6245	0.0667	365.2022
DPSO	0.2622	0.5075	0.0000	306.5822
BBO	0.1103	0.5664	0.2000	478.4766
COIN	0.0339	0.3882	0.6000	312.8746
COIN-E	0.0184	0.4979	0.8000	487.5137

จากตารางที่ 5.19 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, DPSO, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II กับ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.2.4 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 2.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.26 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 2

ตารางที่ 5.20 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 ซ้ำที่ 2

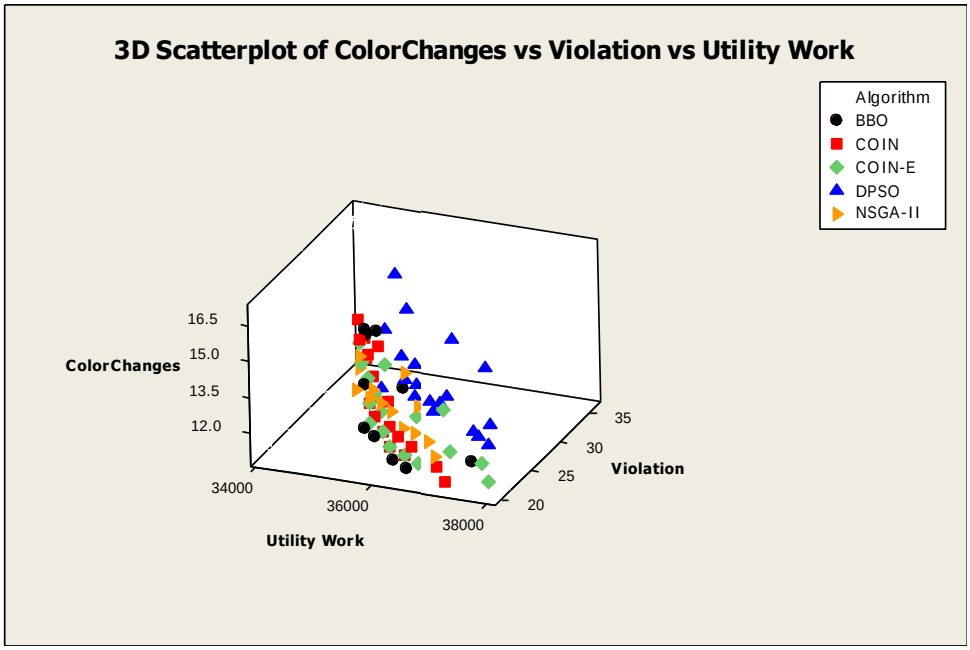
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1961	0.5429	0.0000	617.6992
DPSO	0.2488	0.3722	0.0000	271.6601
BBO	0.0690	0.5064	0.4286	591.0043
COIN	0.0898	0.3343	0.4762	435.9253
COIN-E	0.0535	0.4144	0.2857	696.7202

จากตารางที่ 5.20 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ BBO, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ DPSO, COIN-E, BBO และ NSGA-II

ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ BBO, COIN-E, NSGA-II กับ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.2.5 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 3.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.27 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 2

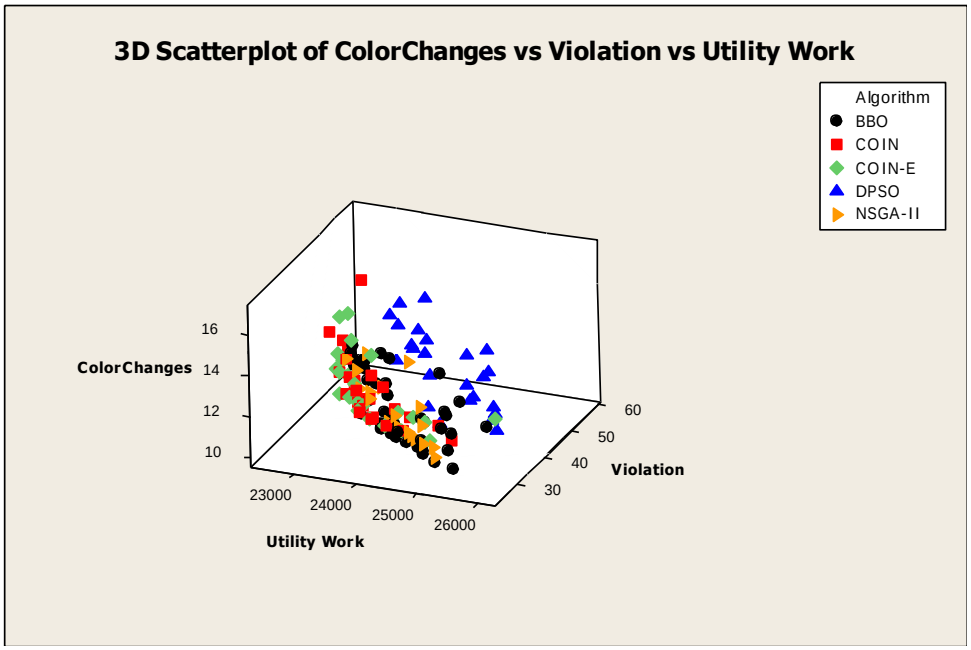
ตารางที่ 5.21 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1490	0.3996	0.3000	1276.239
DPSO	0.2648	0.5644	0.0000	521.5225
BBO	0.1617	0.5808	0.2500	993.9466
COIN	0.1557	0.5953	0.2500	1005.83
COIN-E	0.1262	0.4592	0.3000	1004.255

จากตารางที่ 5.21 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, COIN, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ COIN-E, DPSO, BBO และ COIN ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E กับ NSGA-II รองลงมาคือ COIN กับ BBO และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.2.6 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 3.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.28 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 2

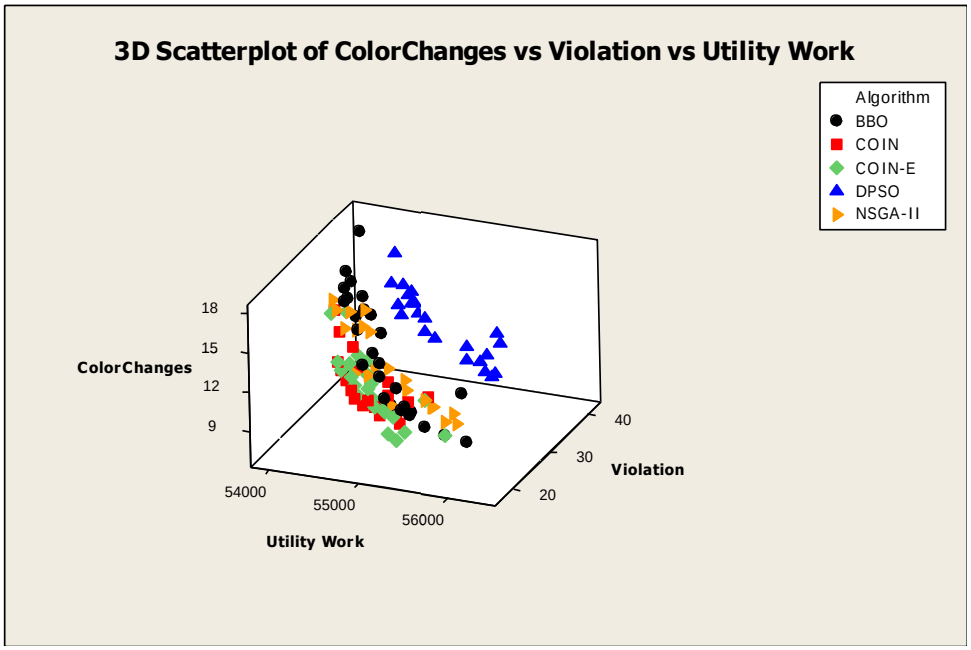
ตารางที่ 5.22 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1901	0.5447	0.2683	2386.441
DPSO	0.2846	0.5498	0.0000	387.3593
BBO	0.0717	0.4732	0.3659	3855.535
COIN	0.1340	0.4062	0.1463	1521.096
COIN-E	0.1158	0.4761	0.3171	1506.691

จากตารางที่ 5.22 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN-E, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ BBO COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II, COIN และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ

5.3.2.7 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 4.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.29 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 2

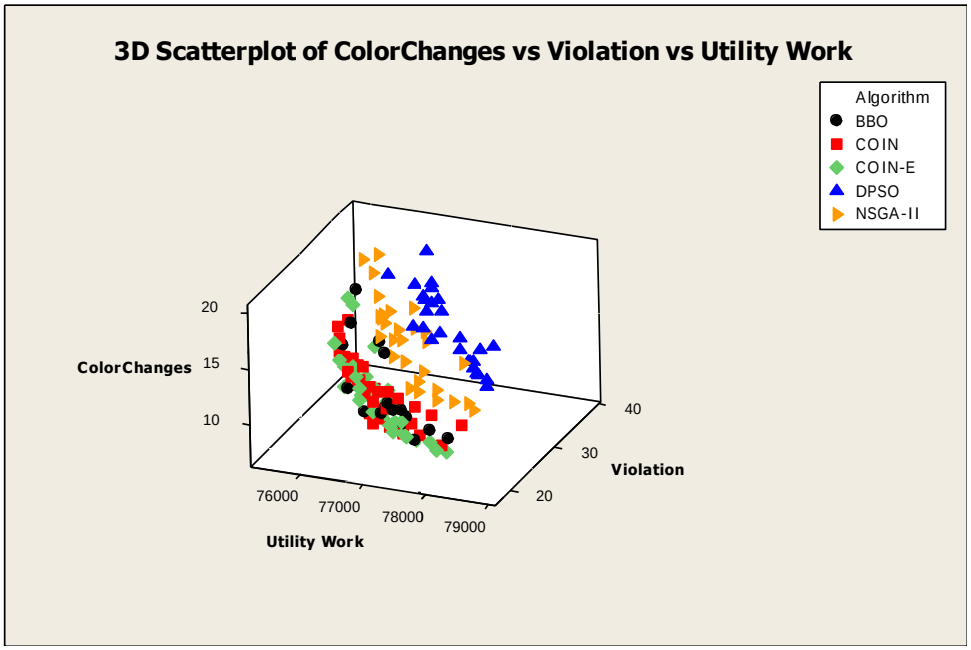
ตารางที่ 5.23 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1825	0.4404	0.0345	2997.163
DPSO	0.4605	0.5147	0.0000	442.5303
BBO	0.1302	0.5159	0.3448	2505.154
COIN	0.1187	0.4310	0.4138	2199.814
COIN-E	0.1011	0.4682	0.3448	1808.338

จากตารางที่ 5.23 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E, DPSO และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E กับ BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.2.8 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 4.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.30 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 2

ตารางที่ 5.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 ซ้ำที่ 2

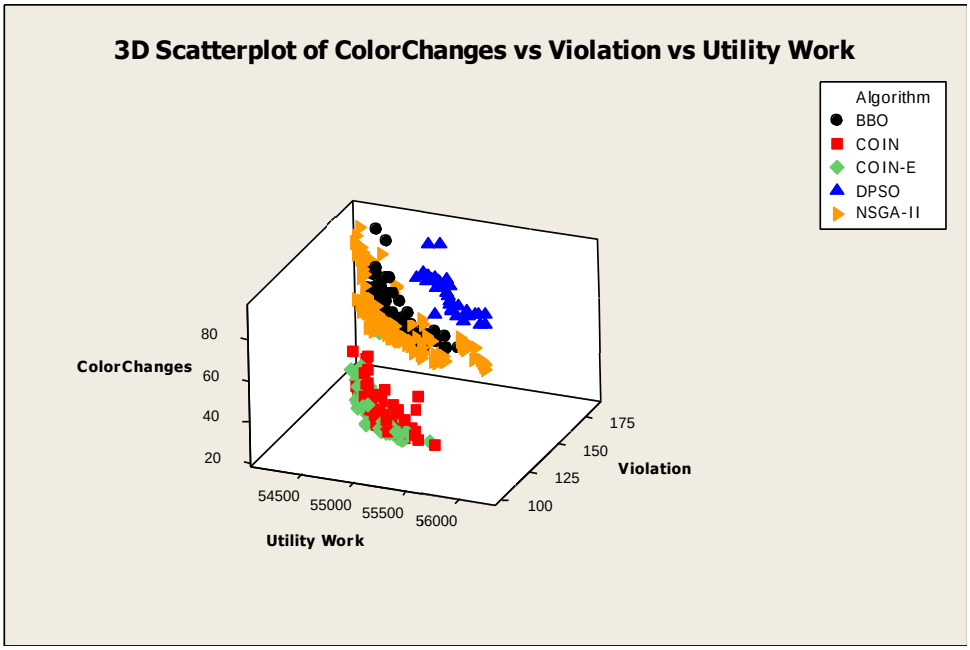
ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.3265	0.4721	0.0000	1155.48
DPSO	0.5282	0.5370	0.0000	586.7215
BBO	0.1415	0.6368	0.1250	2024.391
COIN	0.0786	0.5166	0.3125	1629.095
COIN-E	0.0526	0.4200	0.5938	2696.144

จากตารางที่ 5.24 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, COIN, DPSO และ BBO

ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II กับ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN, BBO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.2.9 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 5.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.31 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 2

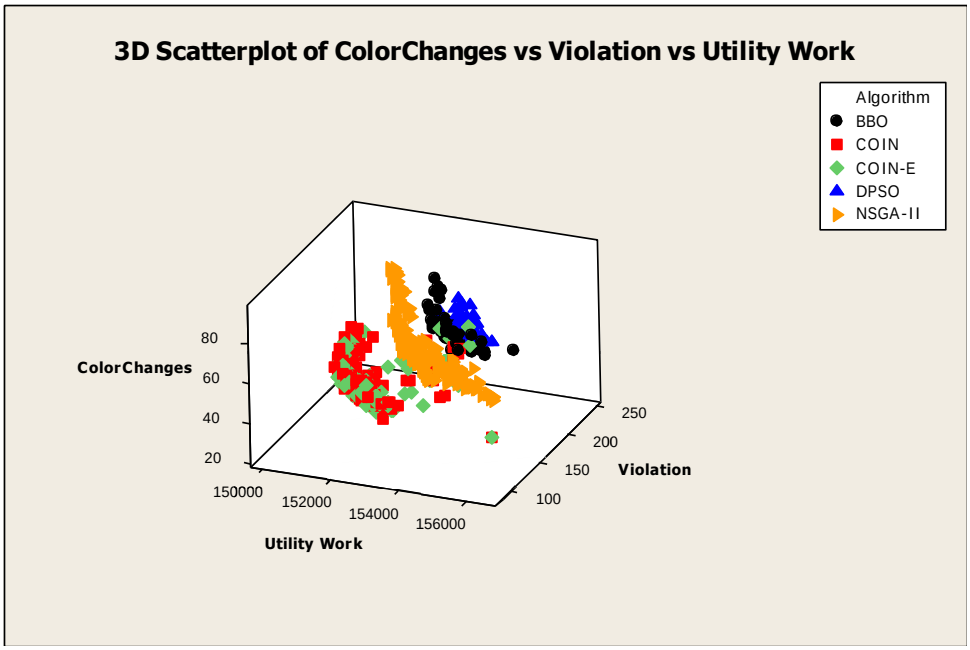
ตารางที่ 5.25 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.4486	0.7351	0.1296	392825.7
DPSO	0.6916	0.5502	0.0000	6213.446
BBO	0.5153	0.5618	0.0000	41515.13
COIN	0.1222	0.5723	0.1574	279853.6
COIN-E	0.1051	0.6085	0.7130	284905.8

จากตารางที่ 5.25 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.2.10 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 5.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.32 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 2

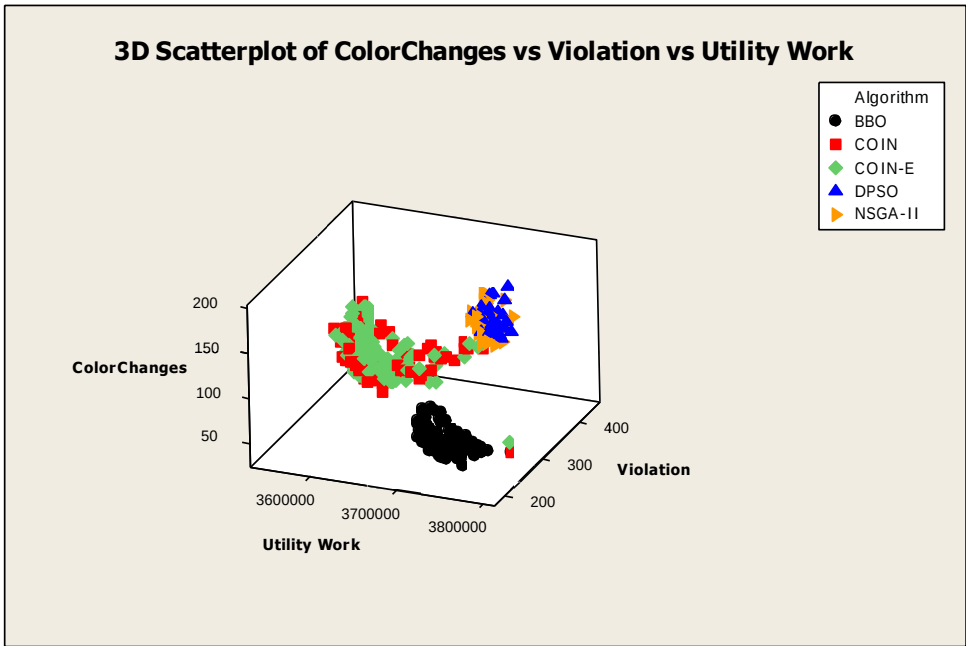
ตารางที่ 5.26 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2457	0.6638	0.5625	512734.6
DPSO	0.4830	0.5146	0.0000	5208.105
BBO	0.3974	0.5557	0.0000	41011.23
COIN	0.0898	0.6569	0.1912	252101.9
COIN-E	0.0883	0.6294	0.2500	283050.1

จากตารางที่ 5.26 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ COIN-E, COIN และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.2.11 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 2

คำตอบของปัญหา Set 6 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้



ภาพที่ 5.33 การเปรียบเทียบแต่ละอัลกอริทึมจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 2

ตารางที่ 5.27 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 ซ้ำที่ 2

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.7870	0.5009	0.0000	855575.8
DPSO	0.8180	0.3956	0.0000	9885.892
BBO	0.2279	0.5778	0.5833	568129.4
COIN	0.1936	0.5951	0.3083	698217.1
COIN-E	0.1908	0.6340	0.1125	657230.1

จากตารางที่ 5.27 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ NSGA-II, BBO, COIN และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN, COIN-E, และ DPSO กับ NSGA-II ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึมเฉลี่ยทั้ง 2 ครั้ง

5.3.3.1 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 1.1 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 1.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.28 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.5124	0.6579	0.0715	219.17
DPSO	0.3897	0.4515	0.0000	111.80
BBO	0.8206	0.6667	0.1429	202.40
COIN	0.0327	0.5187	0.8572	138.60
COIN-E	0.0000	0.4414	1.0000	125.03

จากตารางที่ 5.28 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ DPSO, COIN, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.2 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 1.2 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 1.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.29 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 1.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.5002	0.6372	0.2143	144.13
DPSO	0.4320	0.5157	0.0000	67.78
BBO	0.3566	0.4474	0.1429	229.56
COIN	0.0228	0.4248	0.9286	136.36
COIN-E	0.1073	0.3005	0.6429	156.09

จากตารางที่ 5.29 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, BBO, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, COIN-E และ BBO ตามลำดับ

5.3.3.3 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.1 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 2.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2332	0.4592	0.0334	559.15
DPSO	0.3008	0.4532	0.0000	254.99
BBO	0.1160	0.5664	0.1588	476.23
COIN	0.0309	0.4137	0.7118	326.09
COIN-E	0.0175	0.5753	0.8412	427.50

จากตารางที่ 5.30 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II, BBO และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, COIN-E, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.4 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 2.2 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 2.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 2.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1883	0.4803	0.0200	654.81
DPSO	0.2754	0.4525	0.0000	213.43
BBO	0.0917	0.5314	0.2743	646.65
COIN	0.0726	0.4244	0.4181	565.81
COIN-E	0.0495	0.4024	0.4629	575.21

จากตารางที่ 5.31 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN, COIN-E, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.5 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.1 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 3.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1453	0.5444	0.3167	1465.08
DPSO	0.2928	0.5249	0.0000	468.14
BBO	0.1577	0.5566	0.2917	838.17
COIN	0.1712	0.5360	0.2709	1097.17
COIN-E	0.1137	0.4772	0.2542	1036.09

จากตารางที่ 5.32 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, BBO, COIN และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ DPSO, COIN, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.6 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 3.2 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 3.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 3.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.1693	0.5665	0.1818	2206.47
DPSO	0.3065	0.5150	0.0000	361.02
BBO	0.0871	0.5172	0.3496	3095.61
COIN	0.1221	0.4333	0.2756	1593.38
COIN-E	0.1167	0.3333	0.4794	1361.27

จากตารางที่ 5.33 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN-E, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, DPSO, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ BBO, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ

5.3.3.7 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.1 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 4.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.34 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2096	0.4671	0.0173	2680.64
DPSO	0.3878	0.4781	0.0000	554.94
BBO	0.1172	0.5043	0.3443	2255.02
COIN	0.1187	0.4435	0.4101	2225.51
COIN-E	0.0941	0.5449	0.4224	2001.11

จากตารางที่ 5.34 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ BBO, COIN, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, COIN, BBO และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.8 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 4.2 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 4.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.35 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 4.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2809	0.5324	0.0119	2098.02
DPSO	0.4880	0.4993	0.0000	439.04
BBO	0.1764	0.6441	0.0982	1927.78
COIN	0.0763	0.4583	0.3706	2367.92
COIN-E	0.0564	0.4353	0.5588	2626.64

จากตารางที่ 5.35 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, DPSO, NSGA-II และ BBO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, NSGA-II, COIN และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.3.9 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.1 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 5.1 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.36 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.1 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.4463	0.7351	0.1523	392825.67
DPSO	0.6915	0.5502	0.0000	6195.11
BBO	0.5219	0.5758	0.0000	42540.38
COIN	0.1501	0.5723	0.0975	288751.89
COIN-E	0.1190	0.5758	0.7503	277960.40

จากตารางที่ 5.36 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ COIN, BBO กับ COIN-E, และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ NSGA-II, COIN และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.10 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 5.2 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 5.2 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.37 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 5.2 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.2329	0.6783	0.5817	484632.87
DPSO	0.4699	0.5470	0.0000	7632.03
BBO	0.3851	0.5423	0.0000	44549.72
COIN	0.0923	0.6432	0.2083	322724.83
COIN-E	0.0915	0.6230	0.2140	278927.50

จากตารางที่ 5.37 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, NSGA-II, BBO และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ DPSO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ NSGA-II รองลงมาคือ COIN-E, COIN, และ DPSO กับ BBO ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN-E, COIN และ NSGA-II ตามลำดับ

5.3.3.11 การเปรียบเทียบผลการแก้ปัญหาในชุดปัญหา Set 6 เฉลี่ย

คำตอบของปัญหา Set 6 ที่ได้จากอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 5.38 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะอัลกอริทึมของปัญหา Set 6 เฉลี่ยทั้ง 2 รอบ

ตัวชี้วัดสมรรถนะ	Convergence	Spread	Ratio	Time(s)
NSGA-II	0.7908	0.5362	0.0000	791368.84
DPSO	0.8103	0.4538	0.0000	13068.78
BBO	0.2213	0.5693	0.5905	571475.66
COIN	0.1968	0.6105	0.3056	658974.20
COIN-E	0.1942	0.6367	0.1081	672829.85

จากตารางที่ 5.38 พบว่า อัลกอริทึมที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้านในด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ COIN-E รองลงมาคือ COIN, BBO, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดคือ DPSO รองลงมาคือ NSGA-II, BBO, COIN และ COIN-E ตามลำดับ ส่วนในเรื่องของอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงที่ดีที่สุดคือ BBO รองลงมาคือ COIN, COIN-E, และ DPSO กับ NSGA-II ตามลำดับ ในเรื่องของเวลาจะพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด รองลงมาคือ BBO, COIN, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ

5.4 สรุปท้ายบท

จากผลการทดลองดังแสดงในตารางที่ 5.39 เมื่อพิจารณาโดยการนำมาเปรียบเทียบเป็นเปอร์เซ็นต์ดังตารางที่ 5.40 ผลการทดลองตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง พบว่าส่วนใหญ่ของทุกปัญหา COIN-E นั้นมีค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ 0 มากที่สุด 91.28 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 5.16 ส่วน DPSO เป็นวิธีการที่มีค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงน้อยที่สุดมีค่าเท่ากับ 55.96 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 16.37

ส่วนการพิจารณาตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ พบว่าทุกอัลกอริทึมมีการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน โดย COIN-E มีการกระจายของกลุ่มคำตอบที่เข้าใกล้ 0 ที่มากที่สุดเท่ากับ 51.41 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 10.88 ส่วน NSGA-II มีการกระจายของกลุ่มคำตอบที่น้อยที่สุดเท่ากับ 42.78 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 8.81

ในการพิจารณาด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง พบว่าวิธี COIN-E มีค่าอัตราส่วนเข้าใกล้ค่า 1 มากที่สุดเท่ากับ 52.13 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 26.14 ส่วน DPSO มีค่าอัตราส่วนน้อยที่สุดเท่ากับ 0 เปอร์เซ็นต์ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 0

พิจารณาด้านเวลาในการค้นหาคำตอบ พบว่าวิธี DPSO ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุด ส่วน NSGA-II นั้นจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมากที่สุด ซึ่งเมื่อมาพิจารณาด้านเวลาของวิธีการ COIN กับวิธีการ COIN-E พบว่าวิธี COIN-E จะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่สั้นกว่าวิธี COIN ด้วยและยังให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีของ COIN จากการเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะของทั้ง 3 อัลกอริทึมแล้ว พบว่าวิธี COIN-E มีประสิทธิภาพด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบ

ด้านการกระจายกลุ่มคำตอบ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงดีกว่า NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN

โดยสรุปว่าการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านโดยการนำเอา อัลกอริทึม COIN-E เข้ามาประยุกต์ใช้ พบว่าตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึม COIN-E จะมีประสิทธิภาพที่ดีกว่า NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN ทั้งในด้านการลู่เข้าของกลุ่มคำตอบที่แท้จริง และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ส่วนด้านเวลาจะเห็นว่า COIN-E จะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับ COIN แต่มีความสามารถในการค้นหากลุ่มคำตอบที่มีประสิทธิภาพและยังมีความเหมาะสมในการแก้ปัญหาในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 5.39 ผลการทดลองเฉลี่ยรวมทั้ง 2 รอบ

Efficiency	Algorithm	Problems										
		Set 1.1	Set 1.2	Set 2.1	Set 2.2	Set 3.1	Set 3.2	Set 4.1	Set 4.2	Set 5.1	Set 5.2	Set6
Convergence	NSGAII	0.5124	0.50015	0.2332	0.1883	0.1453	0.1693	0.2096	0.2809	0.4463	0.2329	0.7908
	DPSO	0.3897	0.4320	0.3008	0.2754	0.2928	0.3065	0.3878	0.4880	0.6915	0.4699	0.8103
	BBO	0.8206	0.3566	0.1160	0.0917	0.1577	0.0871	0.1172	0.1764	0.5219	0.3851	0.2213
	COIN	0.0327	0.0228	0.0309	0.0726	0.1712	0.1221	0.1187	0.0763	0.1501	0.0923	0.1968
	COIN-E	0.0000	0.1073	0.0175	0.0495	0.1137	0.1167	0.0941	0.0564	0.1190	0.0915	0.1942
Spread	NSGAII	0.6579	0.6372	0.4592	0.4803	0.5444	0.5665	0.4671	0.5324	0.7351	0.6783	0.5362
	DPSO	0.4515	0.5157	0.4532	0.4525	0.5249	0.5150	0.4781	0.4993	0.5502	0.5470	0.4538
	BBO	0.6667	0.4474	0.5664	0.5314	0.5566	0.5172	0.5043	0.6441	0.5758	0.5423	0.5693
	COIN	0.5187	0.4248	0.4137	0.4244	0.5360	0.4333	0.4435	0.4583	0.5723	0.6432	0.6105
	COIN-E	0.4414	0.3005	0.5753	0.4024	0.4772	0.3333	0.5449	0.4353	0.5758	0.6230	0.6367
Ratio	NSGAII	0.0715	0.2143	0.0334	0.0200	0.3167	0.1818	0.0173	0.0119	0.1523	0.5817	0.0000
	DPSO	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
	BBO	0.1429	0.1429	0.1588	0.2743	0.2917	0.3496	0.3443	0.0982	0.0000	0.0000	0.5905
	COIN	0.8572	0.9286	0.7118	0.4181	0.2709	0.2756	0.4101	0.3706	0.0975	0.2083	0.3056
	COIN-E	1.0000	0.6429	0.8412	0.4629	0.2542	0.4794	0.4224	0.5588	0.7503	0.2140	0.1081
Time(s)	NSGAII	219.17	144.13	559.15	654.81	1465.08	2206.47	2680.64	2098.02	392825.67	484632.87	791368.84
	DPSO	111.80	67.78	254.99	213.43	468.14	361.02	554.94	439.04	6195.11	7632.03	13068.78
	BBO	202.40	229.56	476.23	646.65	838.17	3095.61	2255.02	1927.78	42540.38	44549.72	571475.66
	COIN	138.60	136.36	326.09	565.81	1097.17	1593.38	2225.51	2367.92	288751.89	322724.83	658974.20
	COIN-E	125.03	156.09	427.50	575.21	1036.09	1361.27	2001.11	2626.64	277960.40	278927.50	672829.85

ตารางที่ 5.40 เปอร์เซ็นต์ผลการทดลองเฉลี่ยของทั้ง 2 รอบของแต่ละอัลกอริทึม

Efficiency	Algorithm	Problems												
		Set 1.1	Set 1.2	Set 2.1	Set 2.2	Set 3.1	Set 3.2	Set 4.1	Set 4.2	Set 5.1	Set 5.2	Set6	%	sd
Convergence	NSGAII	48.765	49.985	76.685	81.175	85.470	83.075	79.040	71.915	55.375	76.715	20.925	66.28	19.15
	DPSO	61.035	56.805	69.925	72.465	70.720	69.355	61.225	51.200	30.850	53.010	18.970	55.96	16.37
	BBO	17.940	64.340	88.405	90.830	84.230	91.290	88.280	82.365	47.815	61.495	77.875	72.26	21.80
	COIN	96.735	97.725	96.910	92.745	82.880	87.790	88.130	92.375	84.995	90.775	80.320	90.13	5.59
	COIN-E	100.000	89.270	98.250	95.050	88.635	88.335	90.590	94.360	88.105	90.850	80.585	91.28	5.16
Spread	NSGAII	34.215	36.280	54.080	51.975	45.560	43.355	53.290	46.760	26.490	32.175	46.380	42.78	8.81
	DPSO	54.850	48.4350	54.680	54.755	47.510	48.500	52.195	50.075	44.980	45.305	54.625	50.54	3.68
	BBO	33.330	55.260	43.360	46.860	44.345	48.280	49.570	35.595	42.420	45.770	43.075	44.35	5.83
	COIN	48.135	57.520	58.635	57.565	46.400	56.670	55.650	54.175	42.770	35.685	38.955	50.20	7.85
	COIN-E	55.865	69.950	42.470	59.765	52.285	66.670	45.515	56.475	42.425	37.705	36.330	51.41	10.88
Ratio	NSGAII	7.145	21.430	3.335	2.000	31.665	18.175	1.725	1.190	15.230	58.165	0.000	14.55	16.92
	DPSO	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.00	0.00
	BBO	14.290	14.285	15.880	27.430	29.165	34.960	34.430	9.820	0.000	0.000	59.045	21.76	16.65
	COIN	85.715	92.855	71.175	41.810	27.085	27.555	41.005	37.055	9.745	20.825	30.555	44.13	25.89
	COIN-E	100.000	64.285	84.120	46.285	25.415	47.940	42.240	55.880	75.025	21.395	10.805	52.13	26.14
Time(s)	NSGAII	219.17	144.13	559.15	654.81	1465.08	2206.47	2680.64	2098.02	392825.67	484632.87	791368.84	152623.17	262718.8
	DPSO	111.80	67.78	254.99	213.43	468.14	361.02	554.94	439.04	6195.11	7632.03	13068.78	2669.73	4156.002
	BBO	202.40	229.56	476.23	646.65	838.17	3095.61	2255.02	1927.78	42540.38	44549.72	571475.66	60748.84	162313.9
	COIN	138.60	136.36	326.09	565.81	1097.17	1593.38	2225.51	2367.92	288751.89	322724.83	658974.20	116263.80	207386.5
	COIN-E	125.03	156.09	427.50	575.21	1036.09	1361.27	2001.11	2626.64	277960.40	278927.50	672829.85	112547.88	206362.4

บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงงานวิจัยทั้งหมดโดยสรุป ประกอบด้วย ลักษณะปัญหา การนำวิธีการบรรจวบขยายมาประยุกต์เพื่อทำให้การค้นหาคำตอบให้มีประสิทธิภาพสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบสองด้าน ผลการทดสอบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการค้นหาคำตอบ ผลการนำวิธีการบรรจวบขยายมาประยุกต์และข้อเสนอแนะที่เกี่ยวข้องกับงานวิจัยนี้ในตอนท้ายบท

6.1 สรุปผลของงานวิจัย

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีการบรรจวบสำหรับการจัดลำดับการผลิตรถยนต์หลายผลิตภัณฑ์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบสองด้าน ซึ่งพิจารณาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่สอดคล้องกับการทำงานดังกล่าวคือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนการละเมิดตัวเลือกรถยนต์น้อยที่สุดและจำนวนการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด โดยนำเสนอวิธีการบรรจวบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E) ซึ่งมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่ดีกว่าวิธีการบรรจวบแบบเดิมเนื่องจากหลักการของวิธีการบรรจวบมีข้อเสียเนื่องจากการจดจำลักษณะตำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันที่อาจจะมีความผิดพลาดจากการสุ่มตั้งแรกรอบแรกจนทำให้การเดินเลือกลำดับในรอบถัดไปจะไปในทิศทางของคำตอบที่ผิดพลาดหรือไม่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเนื่องจากในแต่ละรอบจะมีการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมถ้าเลือกเดินผิดก็จะปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นที่ผิดไปเรื่อยๆ จึงนำข้อเสียของวิธีการบรรจวบมาพัฒนาหรือประยุกต์เป็นวิธีการบรรจวบแบบขยายโดยสร้างตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมมาทั้งหมด 4 ตารางคือ ตารางค่าความน่าจะเป็นจากวิธีการบรรจวบ ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมจากวัตถุประสงค์ที่ 1 ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมจากวัตถุประสงค์ที่ 2 และตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมจากวัตถุประสงค์ที่ 3 ซึ่งจะเห็นว่าจากเดิมที่วิธีการบรรจวบจะใช้แค่ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมเพียงตารางเดียวในการกำหนดทิศทางเพื่อนำไปสู่คำตอบจึงทำให้อาจจะเกิดความผิดพลาดในการค้นหาคำตอบ ดังนั้นจึงทำให้เกิดการประยุกต์วิธีการบรรจวบเพื่อขจัดข้อเสียที่จะเกิดขึ้นของวิธีการบรรจวบและทำให้วิธีการบรรจวบแบบขยายมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่มีประสิทธิภาพในทุกด้านของตัวชี้วัดสมรรถนะที่พิจารณา

6.1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะสายการประกอบในงานวิจัยมีลักษณะดังนี้ 1) เป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน โดยสายการประกอบที่นำมาจัดลำดับการผลิต ได้มีการจัดสมดุลตามอัตราส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ 2) ลำดับของวันก่อนหน้าและวันถัดไปได้มีการกำหนดไว้แล้วจากผู้วางแผนการผลิต 3) รถยนต์ที่ทำการผลิตจะมีหลากหลายรุ่นแต่มีคุณสมบัติคล้ายกันจึงสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ และรถยนต์บางรุ่นที่ไม่มีการทำในบ้างขั้นงาน (Task) ขั้นงานนั้นจะเป็นขั้นงานของตัวเลือกที่รถยนต์รุ่นนั้นไม่มีตัวเลือกนี้ 4) ในการจัดจะพิจารณาความต้องการผลิตภัณฑ์จาก Minimum Part Set (MPS) 5) สถานีงานที่ใช้จัดเป็นแบบปิด ทราบจำนวนสถานีงานที่อยู่ในสายการผลิตและเวลาดำเนินงานของขั้นงานที่อยู่ในสถานีงาน 6) ไม่นำระยะทางและเวลาการเดินของพนักงานเข้ามาพิจารณา 7) รอบเวลาในการปล่อยสินค้าเข้าสู่สายพานการผลิตมีค่าคงที่ 8) การปรับตั้งเครื่องขึ้นอยู่กับลำดับงานที่อยู่ก่อนหน้า

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด โดยพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน ในการทดลองจะใช้ปัญหามาตรฐานในการจัดลำดับการผลิตของ Mcmullen [20] และ Mansouri [21] ทั้งหมด 11 ปัญหา โดยจะแบ่งเป็นปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ มีความแตกต่างกันในเรื่องของขั้นงาน 16, 24, 65, 70 148 และ 205 ขั้นงาน มีจำนวนผลิตภัณฑ์ 5, 10 และ 15 ผลิตภัณฑ์ มีตัวเลือกของรถยนต์ตั้งแต่ 2 จนถึง 10 ตัวเลือกรถยนต์ โดยอัตราส่วน p/q จะอ้างอิงจากงานวิจัยก่อนหน้า มีสีเริ่มแรก ลำดับการผลิตก่อนหน้าและถัดไป มีจำนวนสี 4, 8, 10 และ15 สี และมีความแตกต่างของความต้องการสัดส่วนผลิตภัณฑ์ที่แตกต่างกัน

6.1.2 อัลกอริทึมที่นำมาทดลองในการวิจัย

ในงานวิจัยนี้ได้นำอัลกอริทึมทั้งหมด 5 วิธีมาใช้ในการเปรียบเทียบคือ วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) วิธีการการบรรจวบ (COIN) และวิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะ 3 ตัวชี้วัดคือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution) ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของแต่ละอัลกอริทึม

6.1.3 วิธีการบรรจวบแบบขยาย

วิธีการบรรจวบแบบขยายมีรายละเอียดขั้นตอนการทำงานดังนี้

21. Initialize the generator สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นโดยดูที่สัดส่วนความต้องผลิตภัณฑ์ (MPS) เท่ากับขนาด n x n โดยที่ n จะเท่ากับจำนวนความยาวของ MPS ของแต่ละปัญหา
22. Generate the population using the generator เลือกลำดับการผลิตโดยการสุ่มจากตารางเมทริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดประชากร (Population Size) ที่กำหนด โดยรอบแรกจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น
23. Evaluation the population นำสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นมาประเมินค่าหาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จน้อยที่สุด จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดและทำการหา Non-Dominated Sorting เพื่อหาลำดับการผลิตของรถยนต์ที่เป็นคำตอบดี และลำดับการผลิตรถยนต์ที่เป็นคำตอบไม่ดี
24. Select the candidates คัดเลือกคำตอบดีและคำตอบไม่ดี ในกรณีตารางค่าความน่าจะเป็นตารางที่ 1 คือ ตารางวิธีการ COIN จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยถ้าเป็นคำตอบที่ดีค่า Fitness จะมีค่าน้อยที่สุดแต่ถ้าเป็นคำตอบที่ไม่ดีค่า Fitness จะมีค่ามากที่สุด ส่วนตารางที่ 2, 3 และ 4 จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น
25. update the generator ปรับปรุงตารางค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัลในกรณีคำตอบดี และการลงโทษในกรณีคำตอบไม่ดี โดยจะปรับปรุงตารางทั้งหมด 4 ตารางคือ คือ 1. ตารางวิธีการแบบ COIN 2. ตารางจากวัตถุประสงค์แรก 3. ตารางจากวัตถุประสงค์สอง 4.ตารางจากวัตถุประสงค์สาม โดยแบ่งการสุ่มในแต่ละรอบคือจากตาราง COIN มาร้อยละ 70 ของประชากรทั้งหมด และสุ่มจากตารางคำตอบของแต่ละวัตถุประสงค์รวมกันร้อยละ 30 ของประชากรทั้งหมด เพื่อใช้ในการสุ่มเลือกรอบถัดไป
26. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำกับคัดเลือกด้วยวิธีการ

Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้จนครบจำนวนซ้ำของคำตอบที่ต้องการ

27. กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั้งครบตามจำนวนรอบที่กำหนด

6.1.4 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญและค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธี COIN-E

วิธีการบรรจวบแบบขยายนั้นมีค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องหรือมีผลต่อคำตอบที่ได้ที่สำคัญคือ ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมและร้อยละที่ใช้ในการสุ่มในแต่ละวัตถุประสงค์ในการนำมาสร้างสตริงคำตอบ โดยในงานวิจัยนี้ได้นำค่าพารามิเตอร์ในเรื่องค่าความน่าจะที่ใช้ในการปรับปรุงมาจากการทำการทดลองของวิธีการบรรจวบมาใช้ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นของวิธีการบรรจวบแบบขยาย ส่วนค่าร้อยละของแต่ละวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการสร้างสตริงคำตอบจะทำการทดลองแบบ Full Factorial Design โดยกำหนดระดับร้อยละที่ใช้ในการสุ่มมาในแต่ละวัตถุประสงค์ออกเป็น 3 ระดับ คือระดับที่ 1 ได้แก่ 50-25-25 หมายถึงในแต่ละสตริงคำตอบจะมีลำดับที่สุ่มเจอจากตารางค่าความน่าจะเป็นของวัตถุประสงค์ที่แรกมาร้อยละ 50 จากวัตถุประสงค์ที่สองมาร้อยละ 25 และจากวัตถุประสงค์ที่สามอีกร้อยละ 25 ระดับที่ 2 ได้แก่ 25-50-25 และระดับที่ 3 ได้แก่ 25-25-50 โดยจำนวนซ้ำของการทดลองเท่ากับ 2 และมีปัญหาทั้งหมด 11 ปัญหา

6.1.5 การนำวิธี COIN-E เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

จากผลการทดลองด้านตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง พบว่าส่วนใหญ่ของทุกปัญหา COIN-E นั้นมีค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ส่วน DPSO เป็นวิธีการที่มีค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงน้อยที่สุด ส่วนการพิจารณาตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ พบว่าทุกอัลกอริทึมมีการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน โดยส่วนใหญ่ COIN-E มีการกระจายของกลุ่มคำตอบที่เข้าใกล้ 0 ที่มากที่สุด ในการพิจารณาด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง พบว่าส่วนใหญ่วิธี COIN-E มีค่าอัตราส่วนเข้าใกล้ค่า 1 มากที่สุด ส่วน DPSO มีค่าอัตราส่วนน้อยที่สุด และเมื่อพิจารณาด้านเวลาในการค้นหาคำตอบ พบว่าส่วนใหญ่วิธี DPSO ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุด ส่วน NSGA-II นั้นจะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบมากที่สุด จากการเปรียบเทียบตัวชี้วัดสมรรถนะของทั้ง 3 อัลกอริทึมแล้ว พบว่าในหลายๆปัญหาวิธี COIN-E มี

ประสิทธิภาพด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบ ด้านการกระจายกลุ่มคำตอบ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงดีกว่า NSGA-II, DPSO, BBO และ COIN

6.2 ข้อเสนอแนะ

1. ปัญหาเรื่องการจัดลำดับการผลิตรถยนต์มีวัตถุประสงค์ที่จะใช้ในการพิจารณาหลายวัตถุประสงค์ควรเลือกพิจารณาในเรื่องที่มีความเหมาะสมกับโรงงานนั้นที่จะใช้ในการแก้ปัญหา
2. โปรแกรมที่ใช้ในการรันในงานวิจัยนี้เป็นโปรแกรม Matlab ที่ไม่สามารถมีการโต้ตอบหรือที่เรียกว่า User Interface ทำให้อาจจะมีทางเลือกทางอื่นที่ดีกว่าการที่ให้แต่เพียงผู้เขียนเป็นคนกำหนดขั้นตอนการทำงาน แทนที่จะเชื่อมโยงการแก้ปัญหาที่มาจากหลายๆทาง ดังนั้นอาจจะมีการนำโปรแกรมอื่นมาช่วยในการแก้ปัญหาควบคู่ไปกับโปรแกรม Matlab ที่เขียนขึ้น
3. ในแต่ละปัญหาควรจะมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่เหมาะสม เพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ เพราะจะมีผลต่อการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม
4. ในงานวิจัยนี้ยังมีการกำหนดเงื่อนไขหรือสมมติฐานที่ยังไม่สามารถครอบคลุมกับลักษณะของปัญหาในโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์จริง จึงจำเป็นต้องมีการต่อยอดหรือประยุกต์เพื่อสามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความเหมาะสม

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กรรณ จิตเมตตา. การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

นพพล คำภิรมย์. การประยุกต์ใช้วิธีการบรรจวบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ปารเมศ ชุติมา. การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.

ปาลิดา ฉิมคล้าย. การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2553.

วันวิสา นฤมิตวงศ์. การจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านภายใต้ผลกระทบจากการเรียนรู้. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.

ภาษาอังกฤษ

Abell, J., and Du, D. A Framework for Multi-objective, Biogeography Based Optimization of Complex System Families. AIAA/ISSMO Multidisciplinary Analysis Optimization Conference Fort worth Texas, 2010.

Akgunduz, O., and Tunal, S. A review of the current applications of genetic algorithms in mixed-model assembly line sequencing. International Journal of Production Research (May 2010): 1–21.

Bachman, A., and Janiak, A. Scheduling jobs with position-dependent processing times. Journal of the Operational Research Society 55 (Mar 2004): 257–264.

Betancourt, L.C. ASALBP: the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem. Formalization and Resolution Procedures. Institute of Industrial and Control Engineering, 2007.

Biskup, D. Single-machine scheduling with learning considerations. European Journal of Operational Research 115 (June 1999): 173–178.

Biskup, D. A state-of-the-art review on scheduling with learning effects. European Journal of Operational Research 188 (June 2008): 315–329.

Biskup, D., and Simons, D. Common due date scheduling with autonomous and induced learning. European Journal of Operational Research 159 (November 2004): 606–616.

Chen, P., Wu, C.-C. and Lee, W.-C. A bi-criteria two-machine flowshop scheduling problem with a learning effect. Journal of the Operational Research Society 57 (September 2006): 1113–1125.

Deb, K., Pratap, A., Agarwal, S., and Meyarivan, T. A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II. IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(2) (April 2002): 182-197.

Ding, F., Zhu, J., and Sun, H. Comparing two weighted approaches for sequencing mixed-model assembly lines with multiple objectives. Int. J. Production Economics 102 (April 2006): 108–131.

Fliedner, M., and Boysen, N. Solving the car sequencing problem via Branch & Bound. European Journal of Operational Research (2008): 1023-1042

Goldberg, D. E. Genetic algorithms in search, optimization and machine learning. Boston: Addison-Wesley, 1989.

Hyun, C.J., Kim, Y., and Kim, Y.K. A genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed model assembly lines, Computers and Operations Research 25 (February 1998): 675–690.

Hwang, R. K., and Katayama, H. Integrated procedure of balancing and sequencing for mixed-model assembly lines: a multi-objective evolutionary approach. International Journal of Production Research 47 (November 2010): 6417–6441.

Kim, Y. K., Kim, Y. H., and Kim, Y. J. Two-sided assembly line balancing: a genetic algorithm approach. Production Planning & Control 11 (2000): 44 –53.

Kim, Y. K., Song, W. S., and Kim, J. H. A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing. Computers & Operations Research 36 (November 2009): 853-865.

Kim, Y. K., Hyun, C. J., and Kim, Y. Sequencing in mixed model assembly lines: A genetic algorithm approach. Computers and Operations Research 23(12) (1996): 1131-1145.

Kotani, S., Ito, T., and Ohno, K. Sequencing problem for a mixed-model assembly line in the Toyota production system. Int. J. Production Research 42, (December 2004): 4955–4974.

Konak, A., Coit, D. W., and Alice, E. S. Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial. Reliability Engineering and System Safety 91 (January 2006): 992-1007.

Knausz, M. **Parallel** Variable Neighbourhood Search for the Car Sequencing Problem. Fakultat fur Informatik der Technischen Universitat Wien (2008)

Kundra, H., and Sood, M. Cross-Country Path Finding using Hybrid approach of PSO and BBO. International Journal of Computer Applications (September 2010): 15-19.

Lee, T. O., Kim, Y. H., and Kim, Y. K. Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness. Computers & Industrial Engineering 40 (2001): 273-292.

Liao, C., Tseng, C. T., and Luarn, P. A discrete version of particle swarm optimization for flowshop scheduling problems. Computers and Operations Research 34(10) (2007): 3099-3111.

Lummus, R. A simulation analysis of sequencing alternatives for JIT lines using kanbans. Journal of Operations Management 13(1995): 183-191.

Ma, H. An analysis of the equilibrium of migration models for biogeography-based optimization. Information Sciences 180 (May 2010): 3444-3464.

Mansouri, S. A. A multi-objective genetic algorithm for mixed-model sequencing on JIT assembly lines. European Journal of Operational Research 167 (September 2005): 696–716.

McMullen, P.R. An efficient frontier approach to addressing JIT sequencing problems with setups via search heuristics, Computers and Industrial Engineering 41(July 2001): 335-353.

McMullen, P.R. and Frazier, G.V. A simulated annealing approach to mixed-model sequencing with multiple objectives on a just-in-time line. IIE Transactions 32 (August 2000): 679–686.

McMullen, P.R., Tarasewich, P., and Frazier, G.V., Using genetic algorithms to solve the multi-product JIT sequencing problem with set-ups. International Journal of Production Research 38 (August 2000): 2653–2670.

Mo, H., and Xu, L. Biogeography Migration Algorithm for Traveling Salesman Problem. International Conference on Swarm Intelligence Beiging, 2010.

Ozcan, U., and Toklu, B. Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models. Computers & Operations Research (June 2009a): 1955-1965.

Ozcan, U., and Toklu, B. Balancing of mixed-model two-sided assembly lines. Computers & Industrial Engineering (August 2009b): 217-227.

Ozcan, U., and Toklu, B. Balancing two-sided assembly lines with sequence-dependent setup times. International Journal of Production Research (September 2010): 5363-5383.

Parames Chutima and Palida Chimklai. Multi-objective two- sided mixed-model assembly line balancing using particle swarm optimisation with negative knowledge, Computers & Industrial Engineering (August 2012): 39-55.

Parames Chutima and Panuwat Olanviwatchai. Mixed-Model U-shaped assembly line balancing problems with coincidence memetic algorithm. Journal of Software Engineering and Applications 03(04) (January 2010): 347-363.

Salman, A., Ahmad, I., and Al-Madani, S. Particle swarm optimization for task assignment problem. Microprocessors and Microsystems 26 (November 2002): 363-371.

Solnon, C. , Cung, V.D., Nguyen, A., and Artigues, C. The car sequeincing problem: overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem. European Journal of Operational Research (2008); 191, 912-927

Simon, D. Biogeography-Based Optimization. IEEE transactions on evolutionary computation 12 (December 2008): 702-713.

Srinivas, N., and Deb, K. Multiobjective Optimization Using Nondominated Sorting in Genetic Algrorithms. the Journal of Evolutionaty Computation: 221-248.

Tsai, L., Mixed model sequencing to minimize utility work and the risk of conveyor stoppage. Management Science 41(March 1995), 485–495.

Wang, X., Cheng, T.C.E. Single-machine scheduling with deteriorating jobs and learning effects to minimize the makespan. European Journal of Operational Research 178 (April 2007): 57–70.

Wattanapornprom, W., Olanviwitchai, P., Chutima, P., and Chongstitvatana, P. Multi-objective combinatorial optimization with coincidence algorithm. Evolutionary Computation. (May 2009): 1675-1682.

Zinflou, A., Gagne, C., and Gravel, M. Design of an efficient genetic algorithm to solve the industrial car sequencing problem. Advances in Evolutionary Algorithms, I-Tech Education and Publishing (2008): 377-400

Zinflou, A., Gagne, C., and Gravel, M. Solving the industrial car sequencing problem in a Pareto sense. Proceedings of the 12th International Workshop on Nature Inspired Distributed Computing, 2009 (2009):

Zinflou, A., Gagne, C., and Gravel, M. Tackling the industrial car sequencing problem using GISMOO algorithm. Assembly Line - Theory and Practice, DOI: 10.5772/21113 (2011): 85-116

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก
รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

1. รายละเอียดของปัญหาการทดลอง

ตารางที่ ก.1 รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย

ปัญหาการทดลอง		จำนวนรุ่นรถยนต์	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS)	ความยาวสตริง	จำนวนสีรถยนต์	จำนวนตัวเลือก Options
Set 1	1	5	5:3:2:1:1	12	4:2	2
	2	5	4:4:2:1:1	12	4:2	2
Set 2	3	5	7:3:2:2:1	15	4:2	4
	4	5	4:3:3:3:2	15	4:2	4
Set 3	5	5	8:7:2:2:1	20	4:2	7
	6	5	5:4:4:4:3	20	4:2	7
Set 4	7	10	7:5:1:1:1:1:1:1:1:1	20	8:4	8
	8	10	4:4:4:2:1:1:1:1:1:1	20	8:4	8
Set 5	9	15	20:20:20:15:15:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1	100	10:5	10
	10	15	15:15:10:10:10:10:10:10:4:1:1:1:1:1:1	100	10:5	10
Set 6		15	20:20:20:15:15:10:20:10:5:20:5:10:10:10:10	200	15:7	10

2. สี ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและถัดไป

ในการวางแผนผลิตรถยนต์ในมีประสิทธิภาพนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำข้อมูลเรื่องสีสุดท้ายที่ใช้ในการผลิตของวันก่อนหน้า เรื่องลำดับผลิตของวันก่อนหน้าใช้ในการตัดสินใจวางแผนการผลิตของวันปัจจุบันเนื่องจากจะได้เป็นการลดระยะเวลาการผลิตให้สั้นลงและยังช่วยทำให้สายการประกอบมีความสมดุลไม่มีโหลดภาระงานที่หนักเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลการผลิตของวันก่อนหน้ามาพิจารณาและที่สำคัญก็ควรที่จะมีการวางแผนการผลิตในวันถัดไปเพื่อจะได้ในมีความเหมาะสมกับลำดับการผลิตของวันปัจจุบันที่กำลังผลิต จึงมีลำดับการผลิตของวันก่อนหน้าและถัดไปดังนี้

ตารางที่ ก.2 สี ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและถัดไป

Set	สีเริ่มแรก	รหัสรถยนต์ที่ผลิตลำดับก่อนหน้า	รหัสรถยนต์ที่ผลิตลำดับถัดไป
1	1	4,1	1,5
2	2	2,1	4,1
3	1	1,5,1,2,4,3,4,2,2	4,3,1,3,4,3,2,5,5
4	5	3,1,10,7,4,7,8,4,7,3,10,8,2,5	10,6,7,7,10,2,5,4,7,9,5,9,4,6
5และ6	2	5,11,9,6,6,4,13,2,6,2,14,1,4,6,14,8,4,5,14,1,3 ,12,3,8,5,14,13,15,6,8,12,6,14,7,1,3,6,1,13,1 4,1,4	4,3,4,15,15,15,5,1,12,2,2,14,6,7,1,12,10,1,7, 3,3,8,14,11,2,9,5,11,8,9,9,5,15,2,2,12,5,15,4, 9,1,13

3. การเจนเนอเรทเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร

ในงานวิจัยนี้มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่พิจารณาทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์คือ เพื่อหาปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จที่น้อยที่สุด (Minimize Utility Work) เพื่อหาจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด (Minimize the Number of Violations) และเพื่อหาจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Minimize the Number of Color Changes) โดยในฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์แรกนั้นจำเป็นต้องทราบเวลาการปรับตั้งเครื่องจักรจึงจำเป็นต้องมีการเจนเนอเรทเวลาปรับตั้งเครื่องจักรเพื่อจะได้ใช้ในการคำนวณค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

3.1 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 16 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.3 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 16 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5
1	0.3740	0.3153	0.3738	0.2545	0.3403
2	0.2620	0.0000	0.0000	0.3152	0.2228
3	0.2402	0.1883	0.2586	0.1669	0.2507
4	0.4172	0.4387	0.4523	0.4047	0.2698
5	0.4369	0.4666	0.4777	0.3859	0.4855
6	0.2484	0.4088	0.4290	0.3922	0.2448
7	0.3943	0.5935	0.5790	0.4802	0.5249

8	0.0000	0.0000	0.1492	0.1845	0.0000
9	0.2092	0.1696	0.1636	0.2076	0.1587
10	0.2172	0.2300	0.1578	0.2109	0.2783
11	0.2699	0.2938	0.2424	0.1545	0.1782
12	0.3366	0.2040	0.1919	0.2883	0.2898
13	0.3883	0.3844	0.4313	0.4474	0.4338
14	0.4063	0.4147	0.2559	0.2864	0.3666
15	0.3276	0.4174	0.4052	0.3323	0.2944
16	0.2835	0.4381	0.2958	0.3931	0.2397

3.2 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 24 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.4 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 24 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5
1	0.2042	0.0000	0.2144	0.1268	0.2153
2	0.4897	0.3293	0.3835	0.4641	0.5873
3	0.7270	0.4283	0.7291	0.7242	0.5496
4	0.3060	0.1941	0.2417	0.3257	0.3047
5	0.4507	0.3808	0.2382	0.4253	0.4448
6	0.2350	0.2461	0.2440	0.1949	0.2318
7	0.1171	0.1706	0.1032	0.1277	0.1046
8	0.1463	0.0000	0.0000	0.2431	0.2260
9	0.3424	0.5071	0.2690	0.3741	0.3592
10	0.0000	0.0000	0.3531	0.3590	0.0000
11	0.1662	0.2086	0.2024	0.2305	0.2393
12	0.4562	0.3318	0.4367	0.4303	0.3023
13	0.2574	0.3446	0.4507	0.3083	0.3646

ตารางที่ ก.5 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 24 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5
14	0.3182	0.4553	0.3263	0.3915	0.4418
15	0.3404	0.3527	0.2785	0.2050	0.2069
16	0.3898	0.5706	0.3888	0.5624	0.3855
17	0.3859	0.2700	0.2393	0.2502	0.3232
18	0.3831	0.3514	0.4760	0.4122	0.4029
19	0.0000	0.0000	0.0000	0.6710	0.4500
20	0.4920	0.4910	0.3865	0.4390	0.3012
21	0.3056	0.4439	0.5160	0.5609	0.3277
22	0.3451	0.3233	0.2226	0.2942	0.2557
23	0.5742	0.4196	0.4891	0.3730	0.5126
24	0.4294	0.5624	0.5743	0.5944	0.4932

3.3 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 65 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.6 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 65 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง					ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	2.5237	1.3989	2.1331	2.0644	2.2021	31	0.3873	0.2997	0.3983	0.2935	0.3715
2	1.2553	0.9755	1.2086	1.8154	1.6919	32	0.8676	1.0172	1.1651	1.1685	0.9403
3	2.1164	2.7625	2.4922	1.6155	2.2666	33	1.4512	1.2780	1.3823	2.4150	2.0194
4	0.4529	0.7850	0.8716	0.7436	0.7831	34	3.6259	2.2348	2.6970	2.3998	2.5785
5	2.0135	1.6186	2.2003	2.1343	1.8176	35	3.1116	3.2323	3.0546	3.6162	2.9642
6	1.4759	1.1968	1.6019	1.2442	1.8191	36	2.7905	3.1117	1.9542	2.5609	2.2977
7	7.6347	7.5850	7.7265	7.3723	8.4154	37	6.9123	7.0379	7.0039	11.3671	8.7793
8	3.3549	3.0190	4.4161	2.5311	2.7194	38	4.0238	2.6540	2.7502	4.1436	3.3472
9	1.4437	2.2595	1.3342	1.8633	1.9980	39	2.0850	1.2308	2.0476	1.4515	1.5200
10	4.2316	5.2345	5.7564	5.8920	6.0496	40	0.8295	0.6981	1.1081	0.7208	1.1181
11	4.7881	2.5365	2.6257	4.7146	3.6399	41	1.4766	1.4925	1.6099	1.5018	1.0525

ตารางที่ ก.7 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง					ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
12	2.5677	2.3685	3.4526	3.0489	3.4513	42	5.8762	4.4365	5.6195	4.7932	5.4646
13	5.7870	3.8624	6.8811	4.8667	7.0587	43	2.0834	1.8239	1.5230	1.7089	2.2475
14	3.0879	2.5740	2.4190	3.0710	2.2373	44	1.5655	1.5600	1.6354	1.4544	0.8429
15	1.3995	1.1876	1.2825	1.7833	2.1519	45	2.2115	1.6159	1.6878	1.2087	1.9815
16	5.0655	4.8738	4.0681	5.5995	5.0210	46	2.1986	1.9781	2.2325	2.1598	2.0625
17	0.9152	1.0389	0.8184	0.8415	1.1626	47	0.5195	0.6610	0.6744	0.8099	0.6744
18	7.5775	8.1931	10.0710	7.7938	8.3316	48	2.4871	2.5892	2.2679	2.9518	2.4824
19	0.9305	1.5552	1.4592	1.0132	1.0939	49	1.0154	0.7366	1.0412	0.6817	0.6246
20	3.7681	2.9691	3.4602	3.0742	2.8804	50	1.2162	1.2932	2.0184	2.2002	1.3404
21	1.8819	0.0000	0.0000	2.0732	1.6035	51	2.0092	1.1599	1.2587	1.3409	2.1757
22	1.0354	1.0527	1.4052	0.9792	1.2957	52	0.0000	0.0000	0.0000	0.7749	0.5156
23	2.2704	3.5234	2.8475	3.4209	3.6267	53	0.5817	0.6046	0.4597	0.4442	0.5021
24	3.8536	2.9272	2.2275	2.1070	2.7456	54	4.0721	5.6288	6.5571	3.8512	5.3979
25	4.3475	5.3636	5.3967	5.0912	3.3022	55	1.9701	1.9638	2.3847	1.6643	1.5141
26	3.5803	4.9159	3.9428	3.7303	3.3040	56	4.1110	3.1425	3.8299	5.0347	3.6804
27	2.5802	1.8790	3.0642	2.7252	2.9135	57	4.4349	4.2155	4.7134	0.0000	3.8966
28	15.2791	20.0444	18.8202	11.3729	19.7684	58	2.6799	3.1413	3.1132	2.9790	3.3564
29	3.9508	3.0586	4.3539	4.5594	3.9355	59	0.6744	0.5497	0.6698	0.8873	0.9299
30	1.9696	1.4490	2.5026	2.2869	2.4094	60	0.0000	0.0000	0.4377	0.3302	0.0000

ตารางที่ ก.8 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 5 ชนิด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง				
	1	2	3	4	5
61	2.9835	5.3640	5.6247	5.1118	5.7008
62	0.8708	0.0000	0.0000	0.9071	0.9638
63	4.7750	4.6070	2.4806	3.8099	4.1851
64	5.3092	4.8381	7.0761	4.7938	6.9149
65	2.7959	3.4095	3.8209	2.4231	4.2927

3.4 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด 70 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.9 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด 70 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0.9164	0.9624	0.5691	0.9663	0.8243	0.5543	0.6456	0.7812	0.9885	0.9923
2	1.6554	2.8179	2.7987	2.1241	2.5744	1.6329	2.0331	2.7395	2.5629	2.8021
3	2.4836	1.5536	2.7737	2.9010	2.5181	2.6366	2.6147	2.0883	2.4832	1.7568
4	2.2861	1.3827	1.7111	1.4019	1.4702	2.4434	2.2711	1.7649	2.6133	1.3862
5	0.3165	0.3039	0.3884	0.3949	0.2611	0.3277	0.3180	0.3622	0.3761	0.3860
6	2.5265	3.3258	3.2771	2.3020	2.2156	2.9668	3.8803	2.6540	3.1388	2.4231
7	0.9720	0.6966	0.8358	0.9430	1.0495	1.0874	0.8587	0.6319	0.6379	0.6979
8	7.1696	4.8854	7.0666	4.8435	7.5145	5.2582	4.6607	4.8730	6.2945	5.7385
9	2.7168	3.6800	3.1864	3.1149	3.8536	2.5845	3.5320	3.5250	2.7747	3.1513
10	1.7752	1.7390	2.5258	2.9356	3.1911	1.8643	2.5886	2.4245	1.6696	2.2063
11	3.2309	4.9881	3.6452	4.2493	3.2405	4.4535	3.5111	4.5983	4.6960	4.8599
12	0.6455	0.4823	0.5469	0.8514	0.5128	0.8125	0.6846	0.8883	0.4798	0.6420
13	3.9286	6.9647	3.5665	6.3009	6.4514	6.6339	3.8497	4.9692	4.4725	6.3902
14	5.1388	6.8592	4.2428	4.5371	4.1125	4.0785	6.7108	5.6711	5.5640	4.1104
15	3.8450	3.3658	2.8032	3.1400	2.9088	2.2326	2.5728	2.3309	2.4566	2.5729
16	4.4006	3.2592	5.9079	6.0386	4.6291	4.6241	4.1536	5.8997	4.2515	3.4503
17	2.7238	2.1263	1.8998	2.1480	1.6776	1.7319	2.9713	2.9929	2.4101	1.6215
18	8.7114	9.5465	12.8485	7.1637	7.3585	8.2472	11.6345	12.2173	11.6248	10.2363
19	0.7890	0.6611	0.8898	0.6064	0.8603	0.6036	0.6979	0.8291	0.9079	0.5514
20	2.8748	2.6458	2.2153	2.1394	2.1557	1.9465	2.2477	2.2510	2.7083	2.6743

ตารางที่ ก.10 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
21	2.8364	2.3781	3.1250	2.6441	2.3300	3.3448	3.2360	2.6740	2.7988	2.7377
22	1.1775	1.2687	1.4342	1.1997	1.7982	1.1649	1.1953	1.1414	1.1970	1.3998
23	2.4780	3.6352	2.7031	2.2393	3.6002	3.7417	2.7195	2.1000	2.3777	2.6625
24	0.6539	0.5175	0.6572	0.7016	0.5009	0.4581	0.5316	0.5407	0.5839	0.6182
25	6.6813	7.7706	11.0852	6.3349	11.8721	10.6502	9.1624	9.7158	7.6155	8.9792

ตารางที่ ก.11 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
26	2.6305	2.0727	2.0383	1.6503	1.9951	2.1762	2.2500	1.8700	1.8324	2.6639
27	1.5410	2.7995	2.8412	2.6673	1.6316	1.8739	1.9830	2.4944	1.6878	2.5560
28	0.0000	0.0000	0.0000	3.4448	5.1473	4.6506	0.0000	0.0000	5.5373	0.0000
29	1.4492	1.6086	1.5978	1.1274	1.4354	1.0121	0.8708	1.4737	1.2675	1.2505
30	0.6476	0.5474	0.5500	0.6322	0.6139	0.5361	0.4022	0.4216	0.6414	0.3497
31	1.0876	0.8526	1.4444	1.2503	1.0953	1.0739	0.7735	1.2278	0.7610	0.7822
32	1.9097	1.3764	2.2818	2.2810	2.1617	1.4431	2.0828	1.9058	2.4761	2.0695
33	4.4288	3.5763	3.5237	4.4903	2.6653	2.7876	2.8865	3.4217	4.5052	4.4363
34	1.4051	1.8540	2.0231	1.8773	2.1953	2.1571	1.7119	1.8969	1.3455	2.6289
35	1.0446	0.9901	1.2283	1.0723	1.3333	1.1988	1.7467	1.7187	0.9421	1.5554
36	1.3706	1.5367	1.6717	2.0982	1.5312	2.1417	1.4056	1.8372	1.7996	1.6623
37	0.1189	0.1167	0.0825	0.0790	0.1399	0.0820	0.0723	0.1093	0.1317	0.1168
38	0.3393	0.3901	0.4163	0.5648	0.3296	0.5288	0.4688	0.3922	0.3394	0.4071
39	0.1630	0.1233	0.1748	0.1349	0.1523	0.1741	0.1377	0.1419	0.1779	0.1392
40	0.7115	0.7732	0.6748	0.5241	0.6178	0.4320	0.7435	0.7331	0.7089	0.4917
41	0.7334	0.4704	0.6556	0.6039	0.5343	0.5422	0.6545	0.5033	0.7353	0.6766
42	1.2861	0.0000	0.0000	1.2891	1.2426	0.7838	0.0000	0.8105	1.0007	0.0000
43	0.6277	0.6783	0.5771	0.7462	0.7045	0.8071	0.6278	0.5433	0.4533	0.6605
44	2.4903	1.9928	1.5272	1.7731	1.6151	1.7934	2.0161	2.1380	2.0404	2.6255
45	1.7230	2.2060	1.8588	2.2220	1.4082	1.9024	1.4631	1.8975	1.9240	1.2122
46	3.0868	3.0111	4.1029	4.5372	3.3074	4.3801	4.1213	2.4765	3.9413	3.4115
47	6.3441	3.3149	4.8423	4.7162	4.8373	0.0000	5.8612	4.3789	5.9095	4.8718
48	1.7453	1.9813	2.9012	2.4828	1.9423	2.2598	2.7085	2.0081	2.9292	2.0942
49	3.6719	2.4303	3.3809	2.2763	2.4656	2.0895	3.0184	3.2236	2.9617	2.7303
50	1.7924	1.7959	1.8301	1.7830	2.1202	1.3177	1.8631	1.3475	1.2201	1.7520
51	0.4930	0.4960	0.5651	0.6019	0.4591	0.5651	0.4815	0.6263	0.6232	0.4272
52	1.3634	1.3370	1.3019	1.5801	1.0687	1.1138	0.9457	1.6392	1.3905	1.2501
53	1.8278	1.7224	1.8368	1.7214	1.9190	1.6976	2.2230	1.3588	1.2330	1.2373
54	3.2227	4.2559	4.3886	4.1384	5.3434	4.9325	5.3691	5.8565	5.9774	3.6118

ตารางที่ ก.12 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 10 ชนิด 65 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
54	1.3325	1.9846	1.2798	1.7847	1.7905	2.1775	1.7373	1.6303	1.9556	2.0373
55	2.9109	2.5809	2.2022	3.0374	2.4170	2.0001	3.3607	2.3799	2.7622	3.2321
56	0.9379	1.1981	0.9623	1.1616	1.1758	0.9952	0.7035	0.9183	0.9828	0.8765
57	0.2993	0.4554	0.3575	0.4719	0.3478	0.4423	0.3492	0.4521	0.4388	0.3443
58	0.4074	0.5998	0.6530	0.4447	0.5599	0.4819	0.6142	0.5926	0.3910	0.6238
59	2.0794	1.5826	1.9691	1.6595	1.2067	1.2539	1.4703	1.8274	1.9077	1.8705
60	0.7845	0.9128	0.6485	0.6615	0.6761	0.9988	0.8896	0.7079	0.8895	0.6828
61	0.9600	1.6841	1.4201	1.7559	1.5440	1.4403	1.6520	1.7099	1.8099	0.9105
62	0.0000	0.0000	0.0000	9.2650	0.0000	0.0000	0.0000	8.0091	9.8834	0.0000
63	0.8326	0.8063	0.9817	0.6692	0.8165	1.0360	0.8582	1.0056	0.9476	0.8644
64	0.5112	0.6832	0.4442	0.6666	0.6810	0.7092	0.7752	0.8127	0.7253	0.6484
65	1.6487	1.3510	0.8695	0.9583	1.5926	1.2691	1.5774	1.0340	1.3272	1.3936
66	0.5728	0.8962	0.7561	0.5825	0.8267	0.6618	0.6233	0.6690	0.6363	0.6599
67	2.0801	3.2622	2.5573	3.0695	3.3819	2.9907	3.0639	2.8831	2.2422	2.9733
68	1.5658	1.5835	1.0734	1.0211	1.3224	1.3861	1.1974	1.0190	1.6460	0.9144
69	0.8680	0.8965	0.9157	1.2725	1.2354	0.8259	1.5160	1.3570	1.3642	0.8348
70	1.3325	1.9846	1.2798	1.7847	1.7905	2.1775	1.7373	1.6303	1.9556	2.0373

3.5 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.13 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	0.5928	0.6226	0.3681	0.6250	0.5332	0.3585	0.4176	0.5053	0.6395	0.6419	0.3782	0.6437	0.6393	0.4852	0.5881
2	0.7270	0.9052	1.2197	1.1410	1.2475	1.0542	0.6594	1.1773	1.2313	1.0688	1.1191	1.1098	0.8864	1.0540	0.7457
3	0.3298	0.1995	0.2469	0.2023	0.2121	0.3525	0.3277	0.2546	0.3770	0.2000	0.2782	0.2671	0.3413	0.3471	0.2295
4	2.1540	0.0000	0.0000	2.0901	2.3803	2.4715	2.5370	1.8449	2.4286	0.0000	2.3930	1.6809	1.6179	2.1664	2.8335
5	1.1349	1.3422	1.0362	1.4827	1.0626	1.2750	1.4386	1.6010	1.6589	1.3100	0.9640	0.9731	1.0647	1.5585	1.0620
6	0.3266	0.2238	0.3473	0.2430	0.2154	0.2252	0.2909	0.2652	0.2433	0.3295	0.2853	0.2790	0.3451	0.2315	0.3163
7	0.0000	0.0000	1.8706	1.4725	0.0000	1.6723	0.0000	1.1476	1.1242	0.0000	1.6329	1.8978	2.0629	1.2052	0.0000
8	1.4590	1.3665	0.9411	1.2435	1.0808	1.6687	1.2194	1.4215	1.0841	1.4898	1.1746	1.5383	1.5710	1.6258	1.3490
9	1.1308	1.2822	1.9962	1.2023	1.9049	1.6050	2.0826	1.1249	1.5052	1.1546	2.0469	1.0482	1.8518	1.8961	1.9497
10	0.9435	1.2178	1.0961	1.5661	1.2453	1.6623	1.0282	1.0995	0.9966	0.9884	1.6263	1.3743	1.3484	0.9961	1.6121
11	0.6921	0.5764	0.6457	0.5981	0.4591	0.5290	0.4793	0.5051	0.5290	0.6047	0.4479	0.8118	0.8298	0.6361	0.6354
12	0.3523	0.5003	0.3606	0.2926	0.4688	0.3660	0.3270	0.3697	0.2887	0.2981	0.5114	0.5151	0.4148	0.2791	0.3252
13	0.5007	0.6738	0.3757	0.3859	0.4325	0.6102	0.6407	0.6097	0.5368	0.5724	0.4796	0.6455	0.4399	0.6241	0.4379
14	0.6067	0.7207	0.7892	0.4793	0.8554	0.7872	0.6591	0.6366	0.6414	0.5791	0.6688	0.6698	0.8058	0.7957	0.7290
15	1.4062	1.8478	1.5635	1.3777	1.9778	1.9135	1.5812	1.6549	1.6188	1.2319	1.3273	1.5003	1.2551	1.8812	1.2187
16	1.5651	1.4946	1.5673	1.8329	1.6738	2.4555	1.8259	1.5126	2.4319	2.5275	1.8370	1.4185	1.6061	1.7985	2.0362
17	0.2272	0.2885	0.3080	0.2199	0.2011	0.2334	0.2374	0.2564	0.2714	0.1954	0.2272	0.3242	0.1853	0.3472	0.3115
18	0.8435	0.8945	0.7011	0.8267	1.1124	0.8765	0.8620	0.6979	0.8437	0.9203	0.9515	0.7908	0.7749	1.1265	0.5881
19	1.2693	1.2883	1.2094	0.7398	0.8497	0.8991	1.1310	0.7653	1.1590	0.7452	1.1135	1.0061	1.1979	1.1548	1.2818
20	0.3215	0.2268	0.2888	0.2036	0.1752	0.2965	0.2550	0.2516	0.3238	0.2737	0.2750	0.3161	0.3069	0.2680	0.2011

ตารางที่ ก.14 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
21	0.3058	0.4653	0.2537	0.3675	0.2881	0.4881	0.4225	0.3701	0.3629	0.2614	0.4149	0.2571	0.2643	0.3753	0.2705
22	0.3879	0.3877	0.3675	0.2453	0.3540	0.3240	0.4209	0.3518	0.3841	0.3101	0.3056	0.3894	0.2311	0.2417	0.2503
23	0.4266	0.5616	0.5530	0.3252	0.4291	0.4682	0.4345	0.5081	0.4992	0.3962	0.4390	0.3114	0.6084	0.3579	0.3392
24	0.2836	0.2476	0.3079	0.2768	0.4033	0.3969	0.2176	0.3592	0.2623	0.2941	0.3199	0.4015	0.2930	0.4098	0.2690
25	0.4820	0.4721	0.4361	0.4811	0.4722	0.3338	0.3196	0.5664	0.3318	0.2926	0.4423	0.5332	0.4729	0.3373	0.3879
26	0.5113	0.6936	0.4047	0.6494	0.5757	0.4817	0.4168	0.4999	0.5187	0.3922	0.5563	0.4292	0.4846	0.5540	0.4381
27	0.2581	0.3234	0.2531	0.3649	0.3965	0.3460	0.2688	0.3168	0.2216	0.3813	0.3759	0.3636	0.2521	0.3189	0.2045
28	1.0879	1.0020	0.8866	0.8998	1.0861	0.8353	1.2202	1.1228	1.2946	1.2976	1.2507	0.7890	0.8159	1.0073	1.1686

ตารางที่ ก.15 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1		1		1		1		1		1		1		1
29	0.4632	0.3941	0.5096	0.4811	0.5512	0.4288	0.3710	0.3096	0.4511	0.4981	0.3986	0.3054	0.3546	0.3230	0.3587
30	0.9985	1.0588	1.0105	1.3003	1.0525	1.3476	1.1355	1.3573	0.8602	1.1621	0.8938	1.1591	1.1753	0.7405	0.8700
31	0.3264	0.4448	0.4918	0.3585	0.4748	0.4468	0.2685	0.4272	0.3698	0.5109	0.2670	0.3900	0.3798	0.3896	0.4720
32	0.2777	0.3748	0.3090	0.2175	0.2469	0.3616	0.3094	0.2421	0.2816	0.3376	0.2503	0.3651	0.2610	0.4027	0.2665
33	0.6003	0.4041	0.4377	0.3710	0.5359	0.5723	0.5258	0.4847	0.5591	0.5602	0.5709	0.5562	0.6614	0.4110	0.5812
34	0.8571	0.7761	1.1144	1.0054	1.0114	1.1523	1.2274	0.9362	1.1523	0.9819	1.2771	1.2708	0.8711	1.1187	1.0970
35	1.9362	2.3499	1.5894	1.6564	1.4065	2.4377	2.0679	1.8592	2.0601	1.9412	2.0701	1.9401	2.1628	1.9133	2.5054
36	0.8734	0.7925	0.7953	0.7622	1.0066	1.0380	0.9788	1.2638	1.1667	1.2699	1.3852	1.4138	0.8543	0.8162	1.2157
37	0.1422	0.1983	0.1989	0.2419	0.1930	0.1811	0.2173	0.2264	0.1976	0.1752	0.1495	0.2062	0.1641	0.1358	0.2281
38	2.2826	2.6492	3.0999	2.4964	3.1891	2.5616	3.0919	3.1298	2.6490	1.8726	2.4443	2.6160	2.3331	2.1986	3.3459
39	0.3146	0.4153	0.3061	0.3892	0.3073	0.3979	0.3861	0.3030	0.2675	0.3939	0.4288	0.2921	0.3677	0.3165	0.4034
40	0.6722	0.4436	0.7076	0.7562	0.5755	0.7160	0.6034	0.4388	0.4559	0.5346	0.6645	0.6937	0.6802	0.5010	0.5829

ตารางที่ ก.16 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	0.8938	0.9116	0.9318	1.3765	1.2260	0.9756	1.2259	0.9410	0.8651	1.5176	1.2797	1.5823	1.3913	1.2979	1.4886
42	0.4823	0.5105	0.2568	0.4788	0.4139	0.5108	0.3921	0.3797	0.4623	0.3151	0.3845	0.4879	0.4042	0.4736	0.4463
43	1.2741	1.0015	1.3387	0.8704	1.3062	1.3343	1.3896	1.5189	1.5925	1.4211	1.2704	1.5491	1.2693	0.8170	0.9004
44	2.7754	2.2116	2.7488	1.8020	2.3129	2.4285	1.5377	2.4059	2.0300	1.5638	2.2195	1.7768	1.6734	1.7962	1.7083
45	2.3147	2.0297	3.1832	2.4954	2.9951	3.2999	2.9183	2.9897	2.8133	2.1879	2.9012	3.6072	3.6479	2.4728	2.3525
46	0.3443	0.3609	0.3117	0.2653	0.4285	0.2381	0.2433	0.2512	0.2566	0.3566	0.3462	0.2315	0.4249	0.3803	0.3823
47	1.1768	2.0589	2.1407	2.1961	2.0572	1.9760	1.6748	1.3032	1.5478	1.2549	1.1409	2.1460	1.4401	1.4337	1.4751
48	0.4744	0.5329	0.3315	0.5956	0.5041	0.5995	0.4358	0.4675	0.3409	0.3806	0.5376	0.4303	0.6138	0.3615	0.6429
49	1.6016	1.7752	2.0795	1.3394	1.4711	1.5234	1.8345	1.8909	1.1442	1.2252	1.4140	1.0990	1.5828	1.3893	1.2227
50	1.1566	1.8226	1.6028	1.4048	1.8293	1.0562	1.6699	1.6610	1.4942	1.1329	1.5280	1.2436	1.0850	1.1601	1.8128
51	0.6429	0.7455	0.6323	0.8650	0.6080	1.1383	0.7180	0.6560	0.7844	0.8736	0.6610	1.1972	0.7993	0.7784	0.6372
52	0.4068	0.3279	0.4717	0.5519	0.5111	0.3415	0.3387	0.5569	0.5969	0.4806	0.3475	0.5721	0.4193	0.4054	0.5472
53	2.0038	2.0794	3.3080	3.1802	3.0268	3.4306	3.3861	3.5331	2.5545	3.3569	3.0874	2.7698	2.1055	3.5307	2.6529
54	1.1416	1.2363	0.7844	0.8008	1.1002	1.0545	1.3422	1.2773	1.2314	0.7464	0.7617	0.7729	1.2768	1.3795	1.1954
55	0.1660	0.2527	0.1629	0.1639	0.2406	0.1949	0.2426	0.2565	0.2322	0.2552	0.1811	0.2545	0.2890	0.2738	0.1593
56	0.0000	0.0000	0.0000	1.2042	1.2066	1.4849	0.0000	0.0000	1.4082	0.0000	1.5769	0.0000	1.2052	1.0628	0.9576

ตารางที่ ก.17 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1		1		1		1		1		1		1		1
57	0.4548	0.3095	0.3563	0.3983	0.3154	0.4214	0.3810	0.2956	0.4574	0.2825	0.3321	0.3176	0.3929	0.2802	0.3607
58	1.5210	1.5312	2.4566	1.7781	2.2075	2.7044	1.9721	2.3331	2.4203	1.9723	2.2791	1.5278	2.6621	1.6347	1.7431
59	0.6292	0.5207	0.6191	0.4886	0.4455	0.3630	0.5857	0.5003	0.5081	0.5635	0.3708	0.4605	0.6205	0.5938	0.3939
60	0.1130	0.1092	0.1008	0.1423	0.1656	0.1723	0.1531	0.1109	0.1632	0.1126	0.1134	0.1099	0.1142	0.1168	0.1196

ตารางที่ ก.18 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ชั้นงาน (ต่อ)

ชั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
61	0.1186	0.1185	0.1096	0.1126	0.1704	0.1533	0.1400	0.1066	0.1091	0.0970	0.1722	0.1536	0.1402	0.1182	0.1050
62	0.2055	0.2518	0.1483	0.1593	0.1769	0.1360	0.2133	0.1776	0.2512	0.1776	0.2053	0.1462	0.1750	0.1471	0.2227
63	0.9015	0.0000	0.0000	0.6508	0.8121	0.6235	0.0000	0.7375	0.8829	0.0000	0.7697	0.6434	0.6260	0.6999	0.6855
64	1.0242	1.1739	1.3127	1.0730	1.0768	0.8474	0.7717	0.9719	0.9925	1.2458	1.4742	1.4583	1.0983	0.9345	1.3288
65	0.1994	0.1973	0.1976	0.1253	0.1906	0.1658	0.1374	0.1245	0.2067	0.1332	0.1319	0.1888	0.2147	0.1719	0.1930
66	0.5729	0.9702	0.7653	0.8343	0.5148	0.8986	0.8685	0.5564	0.7574	0.6585	0.7681	0.6948	0.7028	0.5864	0.6235
67	0.2211	0.4168	0.3583	0.4187	0.2521	0.4162	0.3888	0.3418	0.3120	0.2725	0.3796	0.2662	0.2306	0.3829	0.3621
68	0.5146	0.4926	0.4257	0.4172	0.5448	0.3952	0.5444	0.5367	0.5557	0.4517	0.4907	0.5853	0.4332	0.3180	0.5600
69	0.6470	0.5375	0.7921	0.4856	0.6555	0.6366	0.5503	0.4531	0.4066	0.5637	0.4697	0.6846	0.5436	0.7305	0.6879
70	0.5289	0.3962	0.6590	0.4260	0.6479	0.4120	0.4624	0.3661	0.5522	0.3975	0.3518	0.5801	0.4536	0.5591	0.4659
71	2.5332	1.5904	2.9741	2.8029	2.7177	2.8224	2.1533	2.5176	2.4525	2.3818	1.9849	1.9437	2.2597	1.9111	2.8089
72	1.3307	0.6901	1.0289	0.7283	1.2074	1.3327	0.7149	1.2994	0.6822	1.1282	1.1951	1.0279	1.2632	1.2723	1.0894
73	1.2934	1.3842	1.3437	1.1842	1.2582	1.8374	2.2047	1.5396	1.6034	2.2555	2.2115	1.9058	2.2600	2.0083	1.5194
74	2.0268	1.5169	1.5795	2.0485	1.8628	0.0000	1.7211	1.9540	2.1343	1.9307	1.8920	1.9307	1.8433	1.3199	0.0000
75	2.5564	2.9676	2.0137	2.9306	2.0017	2.8047	2.1626	2.1013	1.8104	1.6735	1.9459	2.5661	2.6505	2.5181	1.5012
76	0.3011	0.3140	0.2893	0.1703	0.2251	0.2784	0.2825	0.2000	0.2073	0.2733	0.2413	0.2652	0.2020	0.1923	0.2988
77	1.4430	1.5798	0.9048	0.9655	0.8976	1.2166	0.9745	1.5483	0.8976	0.8527	1.2718	1.4475	1.0714	0.9628	1.0935
78	0.2662	0.3322	0.4194	0.3584	0.2423	0.3060	0.2320	0.3303	0.3150	0.4395	0.3986	0.3268	0.4168	0.2503	0.3058
79	6.5787	6.5450	5.8490	5.5239	4.5851	6.6083	3.8392	5.9071	5.6200	6.2572	4.7728	5.9727	6.2642	4.5140	5.2984
80	0.2375	0.1859	0.1597	0.1943	0.1633	0.2108	0.1697	0.1791	0.2034	0.2367	0.1593	0.2205	0.2087	0.2345	0.1238

ตารางที่ ก.19 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
81	0.6242	0.7648	0.5895	0.5660	0.7871	0.7473	0.7317	0.7638	0.4819	0.6204	0.6676	0.5708	0.7889	0.8538	0.5895
82	0.3981	0.2617	0.4224	0.2619	0.3653	0.3142	0.4156	0.3459	0.3426	0.4317	0.3112	0.3334	0.4516	0.2397	0.4538
83	0.6580	0.9225	0.8778	0.9269	0.7531	0.8966	1.0022	0.5640	0.5997	1.0927	0.9137	0.6813	0.7766	0.6209	0.7019
84	0.8302	0.8789	0.7605	0.8897	0.7403	1.2435	0.7222	1.2738	0.9234	0.6913	0.8860	1.1457	1.1845	1.0196	1.1129
85	0.9594	0.5344	0.6605	0.5301	0.6057	0.8716	0.8724	0.9514	0.8018	0.5425	0.9742	0.9122	0.6515	0.7821	1.0056
86	1.2296	1.3179	1.0272	1.0539	1.1185	0.9095	1.2535	1.0778	1.1802	0.9372	0.8161	1.0575	0.9764	1.2815	1.2759
87	1.7686	1.2015	1.0828	1.6534	1.3789	2.0558	2.0998	1.3638	1.9089	2.0099	1.6934	1.9971	2.0604	1.6421	1.8321
88	0.7884	0.5129	0.7233	0.8232	0.7606	0.6862	0.9686	0.9148	0.9245	0.6863	0.7966	0.9363	0.9668	0.8342	0.6034
89	0.7056	0.4574	0.6002	0.7112	0.8251	0.7727	0.6334	0.7495	0.6046	0.8413	0.8482	0.7954	0.5926	0.6207	0.5319
90	0.7495	0.7908	0.8038	0.6545	0.6715	0.4825	0.7979	0.6092	0.5064	0.7979	0.7403	0.7906	0.5397	0.7028	0.6990
91	3.2711	4.1000	3.7153	5.0012	3.7389	5.5243	5.3214	4.0496	4.3639	4.9375	5.3441	4.6894	4.5877	3.8632	4.2431
92	1.1825	1.3002	1.1874	0.7028	1.1556	0.9926	0.9921	0.7708	1.2521	0.9142	0.8599	0.9265	0.9492	1.0671	1.0777
93	1.0236	1.0253	1.1113	1.2155	1.4307	1.2631	1.0267	1.3434	0.8318	0.7777	0.7951	0.8535	0.9711	0.9546	0.7419
94	1.7760	1.2633	1.3223	1.8812	2.1444	2.2769	1.8117	2.3030	1.7918	1.7478	1.5347	1.6493	1.7205	1.2353	2.1772
95	0.5394	0.7277	0.9255	0.7066	0.8175	0.9214	0.9557	0.9784	0.6033	0.6377	0.9616	0.8073	0.7619	0.8172	0.9218
96	0.8987	0.7052	0.8530	0.8377	1.1534	0.9504	0.9946	1.0092	0.7902	0.8900	0.9133	0.6785	0.9164	0.9943	0.8369
97	0.5080	0.4790	0.3763	0.4023	0.3836	0.4912	0.4798	0.3957	0.4686	0.5382	0.4936	0.4719	0.3069	0.3845	0.4402
98	1.3475	0.9698	1.1345	1.6936	0.9378	1.7208	0.9954	1.5411	1.3852	1.1246	1.4511	1.0362	1.5430	1.4770	0.9750
99	1.3979	1.5251	1.3493	1.8992	2.4246	2.1403	2.0116	2.4665	1.4526	2.5250	1.4663	2.0075	1.5128	2.0636	1.3294
100	1.6371	1.7131	1.7763	1.8413	1.3948	1.1782	1.0200	1.3973	1.4693	1.6336	1.0035	1.5397	1.4057	1.0852	1.7964

ตารางที่ ก.20 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
101	0.6203	0.5618	0.7573	0.6458	0.5663	0.7175	0.5977	0.6060	0.6552	0.5332	0.4833	0.6158	0.7281	0.5486	0.4339
102	0.7652	0.6891	0.7427	0.9717	0.7439	0.7368	0.7210	0.6043	0.6679	0.5760	0.7576	0.6664	0.6877	0.7552	0.5932
103	0.6329	0.7224	0.5264	0.7557	0.4547	0.5901	0.4248	0.5168	0.4239	0.5034	0.4837	0.5368	0.4974	0.4820	0.6769
104	1.9264	1.9652	1.2375	1.5024	1.3944	1.5441	1.2817	1.0826	1.4555	1.1895	1.0398	1.9807	1.4497	1.9877	1.7859
105	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.4680	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
106	0.5040	0.5118	0.4935	0.4657	0.3654	0.5317	0.3684	0.4113	0.5673	0.5569	0.4207	0.3954	0.4826	0.5731	0.5727
107	0.4510	0.3776	0.5250	0.4087	0.5396	0.2927	0.4342	0.4863	0.3341	0.3787	0.3365	0.3745	0.3978	0.4388	0.2971
108	1.1180	0.9179	0.8939	0.8951	0.8310	1.4086	1.3937	1.3095	1.2443	0.8466	0.9795	0.8559	0.7209	0.9478	1.2237

ตารางที่ ก.21 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1		1		1		1		1		1		1		1
109	1.7769	1.6871	1.5733	1.4076	1.6418	1.9260	1.9269	1.7232	1.9108	1.7991	1.2281	1.6448	1.4730	1.1941	1.2550
110	1.0744	1.4995	1.2836	1.5193	1.1269	0.9054	1.3739	1.1472	1.7451	1.7094	1.2488	0.9190	1.4987	1.6473	1.7678
111	0.4228	0.5801	0.6330	0.6747	0.6878	0.6600	0.6908	0.5495	0.6326	0.4464	0.4231	0.7919	0.5139	0.6380	0.7849
112	2.9526	2.9707	3.3407	4.8129	3.4628	3.1703	2.8683	3.4788	3.4231	2.8165	3.5733	2.7179	4.0204	2.5173	3.9174
113	0.4832	0.3335	0.3910	0.4237	0.2866	0.4040	0.4434	0.3297	0.4960	0.5322	0.4985	0.4066	0.3453	0.4716	0.3340
114	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	1.9084	1.5798	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
115	0.7415	0.5433	0.5052	0.5816	0.8611	0.8855	0.7875	0.7993	0.5698	0.7302	0.8389	0.6504	0.9213	0.5050	0.6120
116	0.9119	0.6399	1.0412	0.9391	0.9227	1.1041	1.1215	1.0794	0.7951	0.8762	1.0572	0.6696	0.6695	0.7662	0.9199
117	1.1047	0.9578	0.7346	0.7232	1.0362	1.0705	0.9180	0.7030	0.6097	1.0294	0.8874	1.0909	0.5942	0.8874	0.7197
118	1.1880	0.7741	0.9376	0.9057	1.1873	1.0900	0.7849	0.8568	0.7370	1.0865	1.0211	0.7603	0.7460	0.9595	1.2403
119	2.4317	1.6183	1.6511	2.8279	2.2738	2.1661	2.8038	2.1374	2.4007	2.6816	2.9320	2.0816	2.5852	3.0939	1.6857
120	1.4019	1.2489	1.1564	1.1164	1.5536	1.7624	1.0481	1.5733	1.0563	1.7599	1.5920	1.2581	1.5272	1.3235	1.5979

ตารางที่ ก.22 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
121	1.0219	0.8085	1.1985	1.4390	0.8993	1.0791	1.3177	0.7829	1.4662	1.3286	1.1743	0.8918	1.1285	1.1434	1.5023
122	1.2737	1.3475	1.1529	0.9637	1.3287	1.0159	0.8458	0.9588	1.1708	1.0702	1.2062	1.3702	1.3475	1.0541	1.3485
123	0.6694	0.6309	0.7826	0.9481	0.9186	1.1407	0.9243	0.8592	0.9256	1.0274	0.6100	1.0806	0.6855	0.8871	0.7541
124	0.6024	0.7312	0.5146	0.5627	0.5272	0.5258	0.5838	0.8273	0.6473	0.6177	0.5189	0.8663	0.6193	0.8116	0.7107
125	0.5231	0.7133	0.6782	0.5567	0.6893	0.7214	0.5431	0.5070	0.6067	0.7228	0.6468	0.5234	0.6593	0.7426	0.5863
126	1.8071	1.5384	1.2569	1.3869	1.2824	1.7172	1.1843	2.2470	1.9275	1.1750	1.2090	1.4179	1.7072	1.3227	1.1835
127	1.8998	1.4895	1.9585	1.5803	1.5802	1.1541	1.1546	1.2002	1.7534	1.3652	2.0255	2.0429	2.1600	1.6378	1.3423
128	0.3270	0.4098	0.4699	0.3594	0.3897	0.4372	0.5113	0.3098	0.4575	0.4207	0.3822	0.5025	0.3715	0.3144	0.4356
129	0.3627	0.2966	0.4027	0.4466	0.4424	0.2517	0.2752	0.2286	0.3590	0.2481	0.3143	0.4208	0.3457	0.3057	0.2699
130	0.3314	0.4499	0.2585	0.3383	0.4271	0.2400	0.3891	0.4552	0.2952	0.2608	0.3876	0.4392	0.3705	0.4370	0.2745
131	0.8246	0.6327	0.6668	0.5432	0.8549	0.7637	0.8171	0.8484	0.5016	0.9169	0.7039	0.8249	0.8189	0.8606	0.5436
132	0.7481	0.8306	0.9919	0.9420	0.9730	0.8124	0.8125	0.9522	0.5312	0.9678	0.7226	0.5320	0.8964	0.5928	0.5872
133	0.6799	0.5311	0.5606	0.5934	0.5954	0.5868	0.6815	0.4940	0.5030	0.4634	0.5601	0.7491	0.5224	0.7368	0.7166
134	1.0458	1.0480	0.7415	0.7507	0.8732	0.7598	1.0503	1.0379	0.8927	0.7241	0.9635	0.7073	0.8350	0.7938	0.8821
135	1.6863	1.4861	1.6768	1.0454	1.2942	0.8902	1.4875	1.3563	1.5724	1.6834	1.6336	1.1934	0.8470	1.3046	1.0225

ตารางที่ ก.23 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
136	2.3532	2.5588	2.1152	3.3727	3.3746	2.9786	2.5826	3.5364	2.9965	3.7781	3.6532	2.6181	2.9846	2.5991	3.1320
137	0.8384	0.8147	0.5253	0.8505	0.4784	0.6601	0.8080	0.8313	0.6381	0.8143	0.8831	0.5799	0.5271	0.5717	0.6300
138	0.0000	0.0000	0.0000	0.6711	0.0000	1.0050	0.0000	0.5482	0.8305	0.0000	0.6064	0.9586	0.0000	0.6088	0.0000
139	1.3320	1.7727	1.2018	0.9284	1.0761	1.2394	1.1825	1.0902	1.7167	1.4924	1.7397	1.2750	1.7204	0.8918	1.4278
140	1.0746	0.7357	1.1530	1.0521	1.0898	0.9388	1.0696	0.7930	0.7300	0.7831	0.9454	1.0918	0.7700	0.8369	1.1110
141	4.3598	5.3762	3.2500	4.9335	4.5248	3.3722	3.9846	3.7775	4.3185	4.8614	2.9837	4.9179	4.9709	3.6572	3.8612
142	4.3656	4.7226	4.8383	4.8811	3.8571	3.9687	5.4321	4.3676	5.1361	3.5440	4.5047	4.4104	5.4519	3.0152	4.1664
143	1.9172	1.3736	2.3999	2.3743	1.8131	2.2450	1.4471	2.0410	1.5884	1.8215	2.3234	1.5072	1.6429	1.8690	1.6856
144	7.4397	8.2216	4.7946	5.1166	7.0416	5.6899	8.1646	8.1588	6.7994	7.6946	5.7991	6.7508	8.2123	6.4510	7.9986
145	6.6004	5.6938	6.2884	7.2422	4.5992	5.3536	7.6433	5.3804	6.3645	7.2948	7.6556	6.3426	4.2527	3.9752	6.2081
146	2.4186	3.0280	2.6948	2.5658	2.3510	1.9444	3.0280	2.3770	1.5901	2.6180	2.3454	1.6344	2.9170	2.0529	1.8978
147	1.9717	2.3203	2.1743	2.9240	1.8871	2.2575	2.2688	3.3277	2.5565	3.1080	2.8378	3.1564	1.9717	3.5021	3.2720
148	1.8631	2.6001	2.3508	2.8909	2.1817	2.8017	2.8429	2.8371	2.5685	1.8362	2.6845	2.4964	1.9649	2.5888	2.5729

3.6 เวลาในการปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.24 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	21.3894	27.5034	29.9324	24.1495	32.0957	22.9868	20.3916	23.6998	18.6780	18.6467	20.4076	28.2721	25.8916	31.6480	28.5327
2	1.7931	1.6533	1.4672	1.9977	1.2476	1.2617	1.9778	1.5442	1.8019	1.4807	1.9536	1.5510	1.9590	2.2747	1.2354
3	12.3182	9.1770	14.4742	16.0421	9.1150	12.7524	13.0266	14.1384	10.9041	13.4398	10.0554	13.9002	14.2492	12.2467	9.7128
4	10.8719	12.2045	10.1114	13.9990	8.5848	9.5674	14.8162	12.6568	13.4039	13.8470	8.0170	10.8178	13.1942	8.7099	12.4836
5	6.6332	9.7887	9.7711	7.7303	7.4201	10.4357	5.3635	7.4397	7.9149	8.6085	5.6925	6.0791	8.8005	6.4815	5.9538
6	2.4827	2.7740	3.5964	4.4441	4.2037	2.7012	2.5345	3.9804	3.5277	3.5591	3.1261	3.1499	4.5437	3.4518	4.1618
7	1.7265	1.5804	1.7582	2.2708	2.4205	2.8248	1.5153	1.6951	2.0949	1.9311	1.5877	2.6370	2.0387	2.4112	2.2824
8	2.2971	3.7816	3.0162	2.8990	3.3444	3.7170	4.1262	3.5751	2.3468	4.1072	2.9154	4.1745	3.8668	3.6729	3.1761
9	1.0123	1.8987	1.5780	1.1677	1.0376	1.1789	1.8074	1.1565	1.4055	1.8138	1.1341	1.3756	1.5369	1.5145	1.5826
10	5.0411	5.6622	7.1553	7.6842	5.8446	5.1947	5.7239	5.1969	5.0703	4.5284	4.6390	5.9409	4.3210	7.6624	4.5671
11	1.1334	1.6776	1.6358	1.3268	1.0650	0.9847	1.3407	1.7466	1.4135	1.0740	1.7637	1.6207	1.4185	1.4976	1.4910

ตารางที่ ก.25 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
12	3.0692	3.1010	2.2446	3.3933	2.2535	2.6579	2.3272	2.3960	1.8997	3.6316	2.8631	2.7574	2.8693	2.5177	2.5093
13	2.9360	2.1762	2.5795	2.4660	2.6515	1.8791	1.8959	2.5358	1.7493	2.7078	1.7272	2.8843	2.5436	1.6749	2.7364
14	4.1853	3.3891	3.0308	3.1235	3.6870	2.7301	2.2285	4.2206	4.3250	3.8555	4.3104	3.2230	2.4440	3.1728	3.7756
15	1.5228	1.7053	1.6000	1.4716	1.1601	1.2161	1.6705	1.2612	0.9831	1.6977	1.3062	1.0666	0.9139	1.5038	1.2464
16	5.3209	5.5732	5.8623	5.0271	5.7162	3.8908	4.5296	5.0404	6.7453	6.1128	6.5780	6.9780	7.1610	4.3219	6.4081
17	1.7354	1.6851	1.5891	1.0279	1.1832	1.3174	1.6264	1.2052	1.0661	1.9608	1.1947	1.9634	1.5943	1.2355	1.5028
18	3.5684	2.6247	2.3223	3.2285	2.5394	2.7337	4.1107	2.7275	4.0547	2.9387	2.1049	2.7293	2.4067	4.1543	3.0213
19	3.2038	2.6172	3.9031	2.2870	3.7809	2.9590	3.9815	3.1681	3.8789	2.8048	2.9030	3.3130	3.9632	2.3491	2.1608
20	3.0916	3.5212	4.2361	2.8549	3.4094	3.9316	2.9291	2.4169	3.1813	2.2708	3.6970	2.4529	2.6472	3.3766	3.5910
21	4.1437	4.8461	5.5699	5.1342	4.2018	4.7418	3.7702	5.2108	4.0524	3.2539	3.9284	3.9229	3.0867	3.5479	5.6138
22	2.3942	0.0000	0.0000	2.6842	1.8376	2.7412	1.7477	2.8399	2.0449	1.7777	2.6291	1.9670	0.0000	2.1710	2.5268
23	2.4241	1.8453	1.4512	1.6745	2.3713	2.5631	2.0753	2.5646	2.1137	2.6307	2.3322	1.5690	2.0072	2.1705	2.4732
24	3.9150	4.8925	2.7627	3.1644	3.6134	2.7637	3.0048	2.8897	4.0909	3.2438	4.3810	3.7826	3.0108	4.1269	2.5668
25	5.2263	6.6259	4.5296	5.1801	6.4050	4.1870	6.0899	3.9053	6.2473	4.2526	6.1464	6.0043	3.9519	6.5754	4.1666
26	0.8952	0.9114	0.7540	0.9642	0.5542	0.5717	0.9354	0.5127	0.8699	0.9144	0.5618	0.7492	0.6782	0.8929	0.6469
27	3.2657	2.0998	3.3359	3.4476	2.1321	1.8801	2.7717	1.8070	3.2728	3.4163	3.0525	2.2256	2.8447	3.4706	3.3929
28	3.2232	3.5967	3.6846	3.1307	2.0081	2.5109	2.8734	2.8708	3.7630	2.1424	2.6887	2.3620	2.5004	3.4672	2.5850
29	1.7859	1.6449	1.7619	2.6233	1.9892	2.4039	2.7940	2.0589	2.3168	2.8428	1.9696	2.4024	1.8976	2.7217	1.8699
30	3.2945	4.8503	3.7969	3.0702	2.6090	2.9762	3.3123	4.9886	4.5364	4.2556	4.6816	3.6137	4.3332	3.7674	4.6303
31	2.2950	2.9698	1.6109	3.1870	2.0361	1.6502	1.8395	2.3624	3.0159	2.0492	2.8487	1.8687	2.7643	1.9904	1.7273
32	0.9326	0.8489	0.9856	0.9991	0.7725	0.9593	0.7432	0.9511	0.5153	0.5681	0.8761	0.7001	0.7015	0.8063	0.5154
33	0.6152	0.4685	0.7490	0.6740	0.4771	0.6234	0.6341	0.7356	0.5402	0.4793	0.6507	0.7664	0.7155	0.8426	0.5554
34	0.4555	0.4614	0.6758	0.6356	0.7013	0.6388	0.6201	0.5374	0.5834	0.7430	0.7307	0.4991	0.4314	0.5290	0.5803
35	0.0000	0.0000	2.2426	4.0653	0.0000	4.1256	0.0000	3.2605	2.6336	0.0000	3.7493	3.7016	3.1812	2.5493	0.0000
36	2.9308	3.0845	1.8661	3.1681	1.6338	2.3500	1.6516	2.0164	2.7881	2.7671	2.0664	2.1667	1.7856	1.7013	2.8735
37	0.9672	1.1109	1.4249	1.2184	1.0754	1.2040	1.2159	0.8980	1.3176	1.0970	1.0468	1.2476	1.1353	0.9162	0.7849
38	0.3602	0.3795	0.3599	0.3476	0.3338	0.3001	0.3244	0.4000	0.4525	0.2867	0.4062	0.2572	0.2347	0.3296	0.3543
39	0.7016	0.6525	0.9559	0.7718	0.8610	0.9660	0.9093	0.8585	1.0125	0.9606	0.7521	1.0443	0.9467	0.9046	0.5809
40	6.8028	4.1255	6.8157	4.9532	5.2937	6.6430	4.2276	5.9553	7.1498	6.0603	3.8802	6.2895	4.6555	6.2620	5.0483

ตารางที่ ก.26 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
41	11.3997	9.0357	14.0879	10.1550	7.9760	7.6220	12.0282	14.3209	9.7587	12.9027	9.5295	8.3127	11.1941	10.2583	14.6285
42	3.2597	4.0180	3.9651	4.0773	3.9387	3.2295	2.9065	4.3730	2.6235	4.5461	3.5489	4.6177	4.9736	3.5894	2.6594
43	2.1504	1.9615	1.8156	1.8864	1.5754	2.1024	1.6084	2.2663	1.6048	2.1612	2.1718	1.2638	1.6877	2.3648	1.7020
44	4.0537	4.9855	5.6608	5.4483	4.6870	5.3063	5.3003	4.4018	5.6376	4.5533	5.9354	5.4773	3.4520	3.7711	3.4358
45	0.7773	0.5354	0.7441	1.0046	0.8523	0.9479	0.7581	0.6524	0.5994	0.9937	0.8898	0.9882	0.8468	0.6009	0.6535
46	0.3386	0.3341	0.4095	0.3746	0.5367	0.6088	0.4326	0.3521	0.5738	0.4699	0.5399	0.5386	0.4549	0.5310	0.5227
47	1.6116	1.2588	1.5976	1.8474	1.5003	1.8359	1.7820	2.0666	1.3820	1.4184	1.4656	1.0843	1.7261	1.6539	1.4429
48	1.5920	1.6377	1.4722	1.3727	1.2498	1.2700	2.1801	1.6715	1.9580	1.4682	1.1286	1.8095	1.5205	1.8467	2.0675
49	0.4956	0.7147	0.7121	0.6848	0.6546	0.8850	0.5320	0.7017	0.7319	0.4636	0.7390	0.8272	0.6278	0.6468	0.4882
50	3.1628	3.7434	2.4138	2.1892	2.3759	3.3357	3.4648	3.2620	2.9364	2.6287	3.2829	3.1241	3.3275	2.2498	3.3481
51	11.9246	13.6974	12.9785	8.3606	13.8331	8.5133	8.6415	7.1571	9.2301	9.0445	11.2585	9.9109	8.4195	9.8844	8.1938
52	4.0433	2.5371	3.7062	3.8619	2.2395	2.5206	2.2743	3.9912	2.3107	3.6767	3.2130	3.9786	2.9976	2.2626	2.6890
53	5.3038	4.8017	5.7960	5.3904	3.4200	6.1114	5.3900	3.1430	5.2053	4.6051	3.2076	3.4548	3.3375	4.9843	3.8237
54	1.7397	2.3310	2.9405	2.4631	2.5743	1.8804	1.8384	1.5803	2.5339	2.2961	2.2634	2.8360	2.9941	2.6806	1.8991
55	5.6714	5.9523	5.3666	6.1659	6.5191	5.5404	3.4474	4.0070	3.4738	6.5467	5.0224	6.0724	4.9290	5.0554	4.8237
56	2.1945	2.1742	1.8945	1.4990	1.4983	1.4448	1.9770	2.0585	2.1143	2.0952	1.4544	2.0886	1.8905	1.4285	1.6020
57	0.5038	0.5202	0.5341	0.4663	0.4477	0.5906	0.6705	0.5526	0.5523	0.6028	0.4758	0.5038	0.5233	0.6686	0.5029
58	1.9977	1.7804	1.8956	1.2703	2.1987	2.0392	1.4644	1.2378	2.1511	1.9124	2.0181	1.9944	2.1159	2.3025	2.0324
59	7.2956	11.1564	9.4214	10.6828	10.7343	10.9262	6.8930	7.9679	7.6036	12.5547	9.8642	10.8936	10.8574	7.0403	7.9752
60	2.2431	3.3427	2.1468	2.1809	2.9279	2.8794	2.9758	3.2088	3.0170	1.7806	2.7663	3.3551	1.9068	2.7153	3.3725

ตารางที่ ก.27 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
61	2.9387	3.7370	2.7605	4.2844	3.2209	2.9086	4.8520	4.1964	4.4728	4.1239	4.1390	3.7506	2.9127	3.6579	3.8209
62	1.3956	0.9182	1.1662	1.3800	1.0344	1.1815	1.3110	0.9179	1.2547	0.7634	1.1551	1.1983	0.7687	1.4446	1.3993
63	2.0059	2.0206	1.5522	1.3021	1.5281	1.8590	2.1831	1.2355	1.9648	1.1925	1.9856	1.6537	1.1809	2.0815	1.3161
64	1.1188	1.2758	1.3188	1.6114	1.6831	1.9943	1.9999	1.7634	1.2793	1.9605	1.4158	1.2207	1.6346	1.0183	1.0468
65	4.7683	4.8499	6.9462	5.8292	7.4558	5.6148	7.4237	7.0636	6.3988	4.6887	6.1765	5.9092	5.5734	4.4166	5.0869
66	6.1003	6.2797	5.2346	6.0132	5.8509	8.3119	6.1289	8.5488	5.7907	8.1078	7.3487	4.6487	7.7702	4.6386	7.6898
67	2.7292	2.0809	2.3709	2.3050	1.7838	2.5937	1.8714	2.7968	1.8871	2.2328	1.9382	1.7982	2.2457	1.6098	1.6527
68	1.1528	1.3808	1.9093	1.5943	1.9660	2.0861	1.3974	1.2847	1.5992	1.4252	1.9586	1.3272	1.9421	1.6672	1.8111
69	2.3019	1.7292	2.0431	2.5827	1.7549	2.6557	2.1865	2.9062	3.2234	1.7556	2.2979	2.4353	1.8504	1.8493	1.8373
70	4.9916	5.1727	3.6545	3.4504	4.0800	4.7071	4.7236	4.8942	4.7226	2.6434	5.0429	2.6738	2.7039	4.4954	4.0409
71	0.0000	0.0000	0.0000	2.7061	2.6665	1.8916	0.0000	0.0000	2.1833	0.0000	1.9827	0.0000	3.5318	1.9002	1.8815
72	8.2248	6.6531	5.5861	8.1038	8.6451	8.9361	6.2817	7.0982	6.9389	7.9603	8.7619	9.6086	5.6008	6.2158	6.8226
73	21.2865	14.3169	20.2809	13.2122	13.0255	21.2581	20.8313	17.4907	16.0591	14.5002	18.8812	19.0510	10.9854	11.2366	14.1297
74	6.5029	5.8906	7.1645	4.1851	5.8416	4.7288	3.9208	6.7816	5.7477	4.7086	4.2206	4.8414	3.8570	5.9746	4.4960
75	19.4777	14.3931	15.7205	11.6986	11.4219	13.1473	14.0816	11.8140	14.7751	11.6330	12.2025	11.8763	21.1020	14.5347	17.6368
76	4.2063	5.9588	5.3201	5.7619	4.8820	5.1590	4.2475	3.7351	3.4541	3.5800	5.9192	3.1586	5.7389	4.6482	5.5212
77	8.5793	7.9805	10.4140	8.0615	9.2255	11.1938	10.9060	7.3729	8.5084	10.8372	6.8317	10.4188	11.1214	8.9026	9.3064
78	5.7890	6.2053	5.5974	4.2231	4.6960	3.9246	4.7209	3.3725	3.3014	5.1121	5.0555	3.3814	5.0324	4.8297	5.8028
79	5.3333	4.1286	3.5933	3.4431	5.2657	5.5163	4.1393	4.6167	4.4344	3.5134	3.4732	3.6392	5.4474	3.9575	4.0170
80	4.1791	7.1560	6.4679	6.4303	7.2187	7.5601	5.7733	4.7066	4.9544	7.1278	6.9179	4.3913	5.7355	6.1787	7.3509

ตารางที่ ก.28 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
81	1.5840	2.0500	1.4791	2.4667	1.9234	1.7059	1.4912	1.4890	2.6599	1.6625	2.7001	1.8488	2.7048	1.8535	1.4675
82	4.8535	4.6824	5.7384	3.6157	5.3810	4.0566	5.9362	5.5265	5.1525	3.6568	3.0565	3.6422	4.6248	3.3365	5.5798
83	21.8156	15.2267	16.7727	11.4497	14.9662	16.9563	14.4097	19.2155	21.8194	17.9299	14.4453	22.0167	12.1501	18.5669	22.2428
84	4.5768	0.0000	0.0000	5.9057	3.8392	4.6087	0.0000	5.7683	3.6661	0.0000	5.5136	3.4357	4.3394	5.6599	5.1439
85	7.6648	8.2411	5.5185	6.3561	5.2520	9.4540	5.1961	7.9381	5.7327	8.1303	8.3057	8.9447	6.7068	9.8125	9.1252
86	3.2774	3.8134	5.6780	3.3073	5.3277	3.2811	5.2626	4.9474	5.2779	5.7509	3.5032	3.0375	5.4581	4.3852	3.3001
87	2.5665	2.6280	2.7525	4.6485	3.0307	3.7684	4.3650	2.9335	4.0704	3.3012	3.0886	3.8975	3.2801	2.6379	4.6628
88	5.0710	5.0359	4.4256	3.9989	6.2221	4.2347	5.1392	5.1819	6.5573	4.2404	4.2275	4.3754	5.2014	4.6032	4.1609

ตารางที่ ก.29 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1		1		1		1		1		1		1		1
89	2.3020	1.7322	2.6938	2.0567	1.9608	2.1531	2.2152	2.4816	2.5829	1.5930	1.4958	1.8034	2.2074	1.8935	2.6444
90	2.8751	5.4237	4.5341	4.3986	3.1222	2.7989	4.2771	2.8015	4.6554	3.3022	3.4141	5.3274	3.2147	4.8918	2.8289
91	4.5253	6.7996	4.3796	3.8779	5.5562	5.6874	6.4793	6.5584	3.6405	6.0821	6.4256	5.1218	3.7163	3.7703	4.1487
92	6.0877	4.8176	6.2546	3.9299	5.9323	3.9365	6.2936	5.2903	6.7137	3.6818	6.6202	4.6538	3.6525	6.7300	5.6466
93	12.4351	13.9742	11.7915	10.6583	9.0846	10.0963	12.0217	16.4284	12.6149	14.3359	12.1479	16.0816	15.4612	9.8526	9.5644
94	27.1905	22.5616	18.1419	26.5926	26.5564	31.3061	26.3031	24.3250	25.8218	32.4602	24.8691	22.0872	32.4729	32.6225	31.0527
95	2.4034	2.2973	2.3920	1.9816	1.9315	1.6807	2.5966	2.6801	2.6896	1.5269	1.4600	1.6059	2.1079	1.4763	1.3940
96	11.5609	17.0227	11.1839	17.5593	16.6879	11.3719	13.1482	14.3092	11.9322	18.4203	15.3097	10.7765	17.8093	19.9180	12.0707
97	2.4307	1.6817	1.3750	2.0547	2.5972	0.0000	2.3750	1.8856	2.3058	1.9884	1.9345	2.6072	2.1192	2.3942	0.0000
98	2.8237	1.8808	2.7877	2.2949	1.8571	2.7020	2.4659	1.7520	2.5088	2.1646	3.0544	1.6615	1.9803	3.0967	2.0057
99	1.9897	2.0294	2.7181	2.3723	2.7380	1.6401	1.8001	2.4605	1.6064	2.6319	2.4211	2.7157	1.7525	2.6243	2.6531
100	7.8200	5.9409	4.9360	5.4163	5.4899	5.9939	5.6609	6.7571	8.0591	5.3492	5.1734	7.9843	8.0066	5.4450	4.4745

ตารางที่ ก.30 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
101	2.4398	1.5491	2.0022	1.9730	2.1989	1.5440	2.1907	1.5510	1.5280	1.9743	1.7414	2.6634	2.0778	1.9801	1.7928
102	6.5642	7.9482	5.2207	4.5669	7.6323	7.1697	6.3144	8.5526	6.5981	8.5591	6.6862	8.6097	7.6096	7.5694	4.4872
103	2.4079	2.2089	2.5453	2.4131	1.9010	2.4265	2.9121	1.5711	1.7589	2.7750	1.5952	1.7863	2.0642	2.9778	2.5235
104	2.3941	3.0905	2.8110	3.0059	2.4196	4.3142	4.1578	4.0562	4.2955	4.1584	2.6408	3.2624	2.4225	2.3597	2.3732
105	10.6658	10.5073	13.8415	12.9591	14.5568	11.6631	14.5478	14.4776	10.2439	9.8512	9.4262	10.6693	13.9208	16.8178	11.9319
106	5.8605	5.2404	9.5744	6.1242	7.9970	5.9368	6.1094	8.5776	5.6875	8.9700	5.3824	9.7406	8.1338	6.3178	9.1868
107	5.5971	9.5678	10.3026	8.7959	9.3494	7.9536	9.5566	5.4721	6.4846	5.9302	6.3458	10.5529	10.0486	6.1792	9.0233
108	1.0696	1.1826	1.2203	1.6947	1.9122	1.9090	1.5389	1.8343	1.3129	2.0264	2.0502	1.1170	1.3697	1.3063	1.2524
109	6.0138	4.6457	3.9275	3.9650	6.4437	6.6222	5.1644	3.4659	4.8304	3.8188	6.6428	4.3228	6.4447	6.4500	6.0427
110	20.8889	11.1259	21.4411	11.7668	14.0636	16.2850	21.5646	17.1604	13.9415	12.3559	12.6417	13.8850	15.6915	15.2758	15.5969
111	7.5177	6.7373	4.7127	4.8163	6.5136	9.2176	7.1842	8.9053	6.1662	6.0095	8.7498	8.2849	6.4933	8.7654	6.6389
112	16.0520	15.5982	15.9297	18.5592	11.9929	18.9756	12.3699	16.3820	13.7891	17.4234	13.4383	21.4020	11.6364	12.9526	17.7800
113	1.6831	1.4821	1.5496	2.5501	1.6899	1.6125	2.1637	1.3089	1.4052	1.7068	1.5952	2.2095	2.2160	2.4135	2.0320
114	7.9825	7.7822	9.4493	7.3523	7.0322	8.1097	6.6340	5.5973	6.9740	6.2126	8.3531	9.0313	7.2693	8.2404	6.5020
115	2.7098	2.4104	3.3498	3.1958	2.0979	1.9585	2.8089	3.1973	3.3655	3.1545	3.4606	2.1319	2.2023	3.4503	2.6803
116	7.9018	11.4820	12.5382	11.9688	12.2681	10.2383	8.0518	10.1877	12.2702	8.0901	11.4277	12.3992	9.7937	9.7221	12.9308

ตารางที่ ก.31 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
117	2.9093	3.2274	2.5041	2.3609	2.4635	3.0712	2.1316	2.6621	2.0024	2.0367	3.4790	2.9140	2.5704	3.0512	2.7330
118	20.5121	22.0732	20.0850	18.6459	18.4384	13.7807	23.7908	17.7836	17.7138	12.7769	18.7494	24.3761	15.8313	21.6415	13.8632
119	3.8571	3.8493	3.3589	2.5491	4.2077	2.6339	2.2231	3.4915	3.5041	3.2021	3.4800	3.7571	3.0697	3.4828	3.1080
120	2.3297	2.8034	3.2121	2.3406	2.2459	2.6778	3.4822	3.0258	3.1134	2.1981	2.2295	2.7783	2.7746	4.1221	3.6376
121	3.9078	4.4687	3.5882	3.2662	4.4708	2.9566	2.7626	3.9364	2.9800	2.7474	3.0298	3.0823	2.3873	2.9160	3.9637
122	5.0797	3.2199	4.1505	5.0545	3.8249	3.3350	4.0939	3.9562	2.8960	3.9789	2.9454	3.2261	3.9186	4.6483	4.4052
123	1.2507	1.5783	1.6256	1.2186	1.0730	1.6053	1.2469	1.5644	1.0110	0.9287	0.9369	1.3118	1.2220	1.1450	1.4622
124	12.7996	15.0017	16.9668	16.0080	9.1437	17.2894	16.6015	14.4103	8.8897	17.3867	12.1834	12.3077	13.2805	13.6440	17.2252
125	3.7046	2.9485	3.7494	2.7751	2.0948	2.6105	2.6360	2.9177	2.9713	3.4078	2.7300	3.8764	2.5321	3.4850	3.8118
126	15.7029	18.8934	10.4717	15.4273	9.9393	11.4278	13.9482	12.2234	15.2150	12.9980	16.9326	15.7278	12.2804	10.5448	9.9434
127	3.5157	4.4090	4.7794	3.3197	3.3500	3.8856	3.2164	4.1653	3.7914	4.8211	3.6064	4.8911	3.5287	3.2364	5.6720
128	3.1840	2.8967	2.2690	3.1728	2.2707	2.5256	2.3266	2.7140	2.7512	3.9411	3.8585	3.6577	2.1955	2.9011	2.8540
129	2.9106	4.0663	2.5501	2.2837	3.7081	2.1523	4.0375	3.7114	4.0388	3.6374	3.3130	4.0974	3.2189	3.0815	2.5813
130	1.5946	1.9903	2.2812	2.6502	1.7795	1.6269	1.7937	1.4555	2.1755	1.8376	2.5165	1.9020	2.5210	1.6323	2.3959
131	58.8394	45.1866	50.3086	34.5668	39.5976	50.4641	48.1466	60.6053	52.6654	47.4840	51.7633	34.3978	32.9554	55.4603	41.9146
132	20.6615	37.2599	20.4265	20.6896	30.4846	27.8821	19.9036	20.3362	23.9949	21.8396	31.5849	28.6031	21.5043	27.8091	36.8457
133	39.6782	43.8545	50.1975	40.2452	38.0901	38.8106	40.7033	44.7078	40.5598	43.6503	36.3683	41.7229	29.8175	47.5499	31.7178
134	24.0414	23.0996	34.8753	21.1314	19.4578	30.0196	19.4252	21.2571	28.4824	30.3018	33.5064	28.4041	33.0089	29.7035	31.6361
135	3.7545	2.4542	2.9286	3.5153	3.8074	3.3843	4.0238	3.8743	4.3157	2.8700	3.6726	3.3783	4.8310	4.7305	4.6246
136	2.6609	3.2286	3.5197	2.5315	2.0577	2.8113	2.4721	3.4091	2.1866	2.2281	2.8211	1.9987	2.2872	3.0130	2.0481
137	2.7914	3.2819	2.5888	2.2811	3.0603	3.3944	2.8584	2.5795	2.4976	2.0604	2.5062	2.5844	3.2322	2.9809	2.8140
138	2.9533	3.0129	4.2698	3.9611	4.1882	2.8130	4.2799	4.4145	4.0160	3.1450	4.7544	4.8604	3.4996	4.0856	3.3550
139	10.9091	16.5435	9.7565	10.9382	18.0627	14.4068	14.4811	17.8362	10.0617	17.1842	17.3005	11.1044	10.6737	15.0566	10.7962
140	4.9873	6.0985	6.2639	4.8678	7.5208	6.9095	8.8706	5.4169	8.5715	7.4377	7.7875	6.1571	6.5873	4.9413	8.4142

ตารางที่ ก.32 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
141	14.4848	16.7212	17.3225	12.8864	15.9741	13.7373	17.9983	10.7604	19.9739	17.8017	10.0972	18.9336	18.6847	17.0155	18.8939
142	8.7499	8.1882	6.4656	11.9234	11.1629	5.9704	10.0295	9.8796	8.4285	8.8139	8.2880	8.6688	6.1298	8.5090	6.6017
143	2.8268	4.2171	4.3666	4.7122	3.4063	4.6782	4.6429	4.0752	5.1294	4.8221	4.0511	4.7737	4.5177	5.3607	3.0273
144	23.5597	19.7602	14.1176	24.8327	23.1897	13.3887	16.1080	17.7660	20.5032	24.1871	17.8356	21.5706	24.8396	18.0917	20.6113
145	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	10.5536	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
146	8.1040	4.9480	5.1986	7.0186	7.6859	5.3987	5.9297	5.8070	6.3062	5.0697	7.5585	4.7542	8.1849	4.6855	7.7140
147	3.4570	2.7131	3.0020	2.5329	3.2895	2.9723	3.0136	3.4467	2.7246	3.5208	2.7930	3.0347	2.9212	3.2195	2.8925
148	3.5927	2.9120	3.8493	2.1877	4.0245	3.4782	3.1376	2.3009	3.6998	3.4735	2.8537	2.5633	2.6469	3.1845	3.4012
149	4.0508	2.6316	3.2747	3.0971	2.6943	3.8197	3.8944	3.0120	2.8646	3.2185	2.7786	2.5168	3.0327	2.7937	2.7016
150	2.9456	3.5094	2.1275	3.4244	2.8133	2.1404	3.0563	2.9618	2.3885	2.7287	1.8377	1.8333	3.2254	1.9867	3.0286
151	7.3368	7.4048	7.0658	8.0457	5.3651	8.2494	6.4250	6.8452	8.0408	5.0618	8.1903	4.8386	8.0230	8.0888	4.8567
152	1.2406	1.4923	1.8191	2.0888	1.8871	1.5486	1.6866	2.1683	1.9134	1.4974	1.7821	2.2220	1.3818	2.1416	1.3899
153	1.0607	0.9969	0.9765	1.9019	1.8251	1.0147	1.6145	1.9107	1.1796	1.0479	1.3136	1.6754	1.5487	1.4030	1.8490
154	2.3374	3.5185	2.6666	3.5058	3.6539	3.8263	2.8122	3.1226	3.0930	3.7629	3.7075	3.9329	2.7178	3.8497	4.1209
155	10.9800	10.9839	13.3113	9.7364	15.3312	8.9346	11.8906	8.1926	10.3243	10.3979	15.3268	9.4978	11.7162	11.3648	14.3240
156	7.0444	12.3825	10.6674	7.2382	10.4809	10.0085	10.3252	11.4920	10.4222	12.0595	13.4579	12.4573	9.9539	7.5486	13.3867
157	4.1995	5.3589	5.4956	5.4969	4.8619	4.0368	5.3266	4.4983	4.6175	4.5094	4.3385	3.5829	3.9014	5.7206	5.7090
158	1.5740	1.6973	1.8150	1.2046	1.6728	1.2627	1.1236	1.1242	2.0498	1.6063	1.2153	1.7399	1.6735	1.3867	1.7669
159	3.2784	2.8618	2.9118	3.2534	2.4253	3.1603	3.6421	3.6571	2.5035	3.7123	3.4633	3.9000	4.1914	2.7926	4.6030
160	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	2.8015	3.4940	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ ก.33 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
161	3.7137	2.6030	2.3744	2.2906	2.6998	3.4475	2.5899	2.4217	3.5088	4.4711	2.6242	2.6101	2.6260	2.4338	3.8779
162	3.6542	3.8156	4.0557	4.7579	2.8347	3.2600	2.6842	2.8893	2.6984	2.9943	4.4689	4.7948	3.8362	4.6608	3.1047
163	3.8899	3.7263	4.6189	5.2952	3.3167	4.7740	4.1390	4.7933	5.1222	3.3701	5.2824	2.7973	4.2525	5.1483	3.1781
164	5.6487	5.2589	6.2129	7.2410	5.5157	6.4260	7.7886	7.2468	7.1871	7.7487	4.6891	6.6205	6.8787	7.2115	6.6624
165	4.6286	3.6007	3.8983	4.4673	6.3971	6.6167	5.0458	6.9201	3.5976	6.4709	5.3194	6.8746	6.5327	4.0414	4.7097
166	4.4436	6.0653	6.0526	5.5721	8.0405	6.2771	7.1830	6.9915	7.6935	5.2837	7.4308	5.9244	4.4338	7.8567	8.2837
167	4.2892	5.7919	6.7414	4.2623	3.9700	5.5338	4.3384	7.5710	7.4502	7.4232	7.6176	6.5013	6.5375	5.2658	4.0862
168	6.0384	6.4548	6.4430	7.4726	6.6992	8.1450	6.8239	7.8598	4.6966	7.5867	8.2730	5.1507	8.0016	7.0128	7.2165

ตารางที่ ก.34 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
169	4.4280	4.7194	4.0178	4.6089	3.9493	5.0092	2.9513	4.8652	3.0865	4.6339	3.8332	4.2186	3.5829	3.6824	4.5443
170	7.7097	7.4087	6.3477	7.7596	6.4440	7.0083	7.4864	4.8368	4.3427	7.2094	5.6172	6.8105	7.6372	5.1127	5.1744
171	4.0189	4.0264	4.2541	4.1406	3.0113	3.6771	3.5504	2.8015	3.2062	5.1720	4.9515	4.6441	2.9438	4.0205	2.7330
172	7.2818	7.9148	8.3019	4.9827	5.6675	7.7306	6.4595	6.7286	8.1577	8.6358	4.4265	5.8692	6.6655	7.5914	8.5564
173	6.6902	5.0252	7.7005	7.5289	5.7520	6.8402	6.1499	7.8692	5.4831	7.4264	7.4721	5.4701	6.8181	7.5486	7.5150
174	2.6892	2.5696	3.9101	2.5098	2.9798	2.5381	4.4568	2.9612	4.8542	4.4020	4.5172	3.5461	3.2332	4.1783	4.6215
175	7.7742	7.8791	7.6570	6.1683	6.1824	4.4247	6.0513	6.6269	4.6105	5.5812	5.2501	6.5630	5.9617	5.8774	4.3785
176	5.2739	5.2090	7.1554	6.9451	4.6856	4.7277	4.5131	7.2649	6.5151	7.6799	4.6310	5.2608	4.4133	6.9354	5.3482
177	0.4956	0.3278	0.4420	0.3033	0.3194	0.4260	0.4961	0.4644	0.3494	0.4694	0.4928	0.3813	0.5234	0.3416	0.3600
178	0.0000	0.0000	0.0000	11.1517	0.0000	13.0643	0.0000	12.7177	11.1192	0.0000	7.0089	13.5978	0.0000	12.5345	0.0000
179	6.9733	9.3360	8.3441	6.1911	5.8227	9.2746	6.6111	6.6037	6.9775	8.7881	5.8009	8.4133	8.1892	9.0764	6.8698
180	3.5507	5.9379	5.4708	5.0295	5.5600	5.6001	4.9659	5.7509	5.3340	4.9021	5.3837	6.2436	5.1980	5.8091	3.7968
181	3.4796	2.4269	2.8140	3.5579	2.7813	2.0763	2.3861	2.0718	3.2565	2.4868	2.8208	2.3280	3.7438	2.6641	2.3942
182	3.3693	1.9226	1.9513	2.8710	3.6283	3.0068	3.0049	3.0850	3.6068	2.2881	3.5373	1.9683	3.4006	1.9378	2.6556
183	9.2384	6.9334	10.4054	7.0157	6.8038	9.3495	11.2452	9.6260	7.0383	11.0861	7.9959	5.9960	7.1104	11.0472	10.8277
184	3.1069	3.0643	1.9655	2.2124	2.3847	3.5867	2.7243	2.5878	2.4773	2.5455	2.8040	2.3411	3.0775	3.2546	3.3094
185	16.9353	24.4794	15.5592	21.8709	17.3917	23.0779	17.1635	21.3622	16.8341	23.4832	21.8991	17.9447	17.5223	17.1755	18.0551
186	1.0674	0.8296	1.1138	1.2424	1.0090	1.0878	0.8514	1.1421	0.9995	0.7859	1.4573	0.9360	1.3020	0.8927	1.5268
187	4.5581	5.7373	5.2370	4.5414	4.8752	4.0928	4.6295	5.4506	3.8635	3.9211	4.0894	5.6905	3.3164	3.6603	3.9517
188	3.8068	4.8637	5.3131	2.9629	3.0379	2.8575	3.3612	2.8907	4.1370	3.5022	5.4078	4.8329	4.1930	3.0366	4.3097
189	12.9674	12.5134	11.0488	8.6457	14.1393	9.7238	11.7464	14.0422	11.7515	10.1393	14.4920	8.2301	13.4711	14.7952	11.3951
190	5.5346	4.3460	7.3894	7.0672	5.6072	5.3000	4.2434	7.2524	3.7877	4.4687	4.9873	3.9557	4.3111	6.5140	5.5833
191	12.9748	11.9925	14.0685	11.4949	12.8409	12.2563	17.7456	16.4490	12.9309	15.3230	12.4877	12.2563	12.2168	16.2621	14.7373
192	7.0635	6.9263	8.2573	9.4459	8.4249	11.0127	12.7892	11.6371	10.7331	11.5035	11.4591	10.4044	11.6312	9.1347	10.5307
193	1.6092	1.6644	1.3149	1.7380	1.4729	1.8209	1.4875	2.3594	2.2436	1.4175	2.3486	1.5830	1.4280	2.1450	2.5214
194	8.5103	7.6131	6.2296	5.9909	6.7272	6.3329	8.8067	4.7189	7.9563	6.2755	6.1204	7.7296	9.0102	8.8785	9.3668
195	3.6764	3.8708	6.7902	3.7359	5.7779	6.6099	3.9126	6.4573	3.4944	4.6009	4.2433	6.8004	6.3277	6.1492	6.5116
196	3.8094	3.9301	2.8271	3.7295	3.5620	2.7589	2.8620	4.0845	2.2090	3.6302	2.5868	3.9037	2.6070	2.3532	3.4657
197	1.2179	1.9850	2.0996	1.4481	1.4140	1.1108	1.6504	2.1940	1.9175	1.4462	1.7658	1.9658	1.2264	1.7425	2.0636
198	19.0550	14.0166	15.1414	17.4274	12.0387	15.9052	13.9550	16.7907	20.3664	15.5375	17.1177	12.3434	21.5282	13.6180	15.5851
199	0.9630	1.0199	0.6804	0.8801	1.1573	0.9904	0.6267	0.6051	0.8649	0.8390	0.8623	0.6762	0.7892	1.0908	1.0117
200	1.4498	1.9519	1.1198	1.2089	1.9920	1.1265	1.4204	1.3193	1.0981	1.2225	1.4506	1.3231	1.7419	1.2686	2.0052
201	7.2758	6.4367	8.6694	9.9793	8.0472	11.1234	8.0066	7.2701	6.9472	10.9283	6.8155	7.7782	6.8247	7.0783	7.9054

ตารางที่ ก.35 เวลาปรับตั้งเครื่องจักรของปัญหาการทดลองที่มีชนิดผลิตภัณฑ์ 15 ชนิด 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาปรับตั้งเครื่อง														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
202	7.5648	7.2364	5.8709	6.0448	4.0864	5.9702	7.1877	5.5411	5.2953	4.1822	6.2565	7.5419	6.3543	5.4092	6.2662
203	5.7883	6.3578	5.9782	5.4784	7.0609	5.8488	5.9711	6.2033	6.7801	5.0266	6.2378	5.5507	4.9676	5.2270	6.1485
204	4.9483	7.9820	7.9685	5.2010	5.3983	8.0523	7.2155	7.2395	6.5839	7.3062	5.8406	7.3835	4.5442	6.1035	6.9209
205	8.3251	10.2178	9.2193	12.0177	11.1446	13.2257	12.9186	10.5137	7.2048	9.4302	7.8762	13.3109	10.1410	12.5748	10.9938

4. เวลาในการดำเนินงานของปัญหา 13 ปัญหา

4.1 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 1.1, 1.2 จำนวนขั้นงาน 16 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.36 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 1.1, 1.2

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน				
	1	2	3	4	5
1	6	1	4	6	2
2	5	0	0	3	5
3	2	3	3	5	1
4	5	9	3	7	1
5	8	6	5	6	5
6	4	8	2	8	1
7	7	7	5	4	7
8	0	0	3	2	0
9	1	5	1	3	4
10	4	1	4	3	3
11	6	3	1	2	3
12	3	5	5	1	3
13	6	9	2	5	3
14	4	5	6	1	6
15	3	8	1	4	5
16	4	7	3	1	7

4.2 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 2.1, 2.2 จำนวนขั้นงาน 24 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.37 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 2.1, 2.2

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน				
	1	2	3	4	5
1	3	1	2	2	2
2	7	9	1	6	7
3	7	9	8	8	5
4	5	7	1	3	1
5	4	6	6	2	5
6	3	4	2	2	3
7	1	4	1	1	3
8	3	0	0	2	3
9	6	9	2	6	3
10	0	0	4	4	0
11	1	4	2	3	4
12	3	8	5	8	2
13	3	8	3	2	7
14	9	5	4	2	6
15	5	4	2	4	3
16	9	7	9	1	5
17	2	5	3	5	5
18	7	4	2	6	7
19	0	0	0	7	7
20	9	4	1	9	5
21	8	3	5	8	5
22	4	8	4	4	2
23	9	7	9	4	3
24	9	7	6	8	7

4.3 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 3.1, 3.2 จำนวนขั้นงาน 65 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.38 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 3.1, 3.2

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน					ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน					ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	35	26	28	33	10	17	11	2	12	30	12	33	13	53	3	11	45
2	14	15	38	6	21	18	74	58	184	124	136	34	41	39	52	19	71
3	1	54	58	15	31	19	34	14	10	4	28	35	21	63	34	99	68
4	18	1	11	6	8	20	19	19	77	69	104	36	33	28	8	41	50
5	36	33	16	24	17	21	14	0	0	26	29	37	147	103	79	133	127
6	29	26	2	19	28	22	12	24	8	24	14	38	43	12	85	33	51
7	159	61	88	128	9	23	19	61	8	36	58	39	15	24	19	15	32
8	70	5	54	87	9	24	38	76	22	56	6	40	27	1	7	24	2
9	24	16	32	8	45	25	89	43	33	79	35	41	4	5	17	39	40
10	99	40	43	95	33	26	66	45	45	58	43	42	25	80	104	125	19
11	56	56	40	33	67	27	27	6	35	41	50	43	22	18	28	22	27
12	51	47	12	29	39	28	189	249	227	145	211	44	3	7	23	17	33
13	94	132	33	124	95	29	2	48	82	85	17	45	44	35	15	13	4
14	29	6	54	37	40	30	21	33	25	28	19	46	26	34	20	12	36
15	39	1	33	28	12	31	6	5	4	4	4	47	2	19	10	7	10
16	15	16	121	125	9	32	18	12	3	7	27	48	41	44	18	7	50

ตารางที่ ก.39 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 3.1, 3.2 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน					ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
49	9	3	16	5	23	58	52	64	23	27	28
50	8	46	5	37	16	59	16	2	19	7	5
51	20	13	40	9	31	60	0	0	3	10	0
52	0	0	0	8	12	61	98	66	37	73	16
53	14	5	2	7	3	62	3	0	0	14	18
54	38	93	35	99	66	63	117	15	3	68	39
55	11	23	12	39	35	64	54	85	143	64	115
56	56	7	79	32	108	65	35	26	55	58	57
57	23	98	67	0	17						

4.4 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 4.1, 4.2 จำนวนขั้นงาน 70 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.40 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	17	6	13	16	4	15	11	14	1	4
2	66	6	62	11	25	19	29	6	3	59
3	54	36	17	34	21	30	9	30	32	37
4	52	13	49	23	27	22	36	8	13	25
5	6	2	4	3	2	4	5	6	6	6
6	88	24	8	71	46	15	10	37	32	65
7	21	1	11	15	11	14	9	11	7	11
8	128	78	5	112	68	51	123	39	86	89
9	68	22	21	52	60	30	27	56	34	32
10	70	57	31	3	13	42	25	18	47	24
11	85	74	38	32	52	84	36	69	61	25
12	21	3	2	4	19	1	5	4	18	12
13	134	101	43	29	20	38	50	92	84	119
14	135	61	106	7	110	60	135	9	40	55
15	94	26	12	82	20	14	11	83	41	32
16	90	47	56	66	36	68	65	75	52	66
17	50	43	27	30	26	20	43	34	28	5
18	219	166	199	145	200	75	135	14	99	159
19	19	6	19	8	17	9	6	3	8	7
20	54	6	3	5	30	42	29	46	32	51
21	50	33	45	41	29	11	29	20	38	49
22	40	9	16	5	34	1	21	32	1	36
23	73	48	15	59	7	9	71	22	22	52
24	12	9	10	5	3	8	7	8	8	12
25	152	103	122	132	60	151	106	142	140	123
26	42	13	7	36	28	20	24	22	37	39
27	45	37	29	29	27	33	13	34	24	26
28	0	0	0	74	41	62	0	0	72	0
29	26	14	20	15	15	11	19	18	13	18
30	11	7	6	7	3	6	5	11	1	11

ตารางที่ ก.41 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2 (ต่อ)

ชิ้นงาน	เวลาดำเนินงาน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
31	31	9	11	15	9	9	4	24	10	24
32	50	2	26	22	26	44	4	17	41	19
33	102	43	62	54	11	60	70	33	14	43
34	46	32	20	23	40	42	19	25	13	5
35	35	35	10	16	19	23	7	5	24	5
36	40	4	39	18	34	1	39	4	20	17
37	2	1	1	1	1	2	1	2	2	1
38	10	7	3	4	9	2	10	7	3	2
39	3	2	3	3	1	1	2	1	3	3
40	13	11	13	3	6	2	8	9	4	9
41	16	9	5	10	15	3	9	15	8	2
42	25	0	0	13	6	17	0	9	21	0
43	21	6	12	6	1	6	9	3	11	7
44	43	17	35	41	18	23	7	33	28	35
45	30	12	23	28	20	15	29	18	28	24
46	83	16	54	36	31	45	82	40	28	77
47	89	84	42	74	65	0	29	63	66	84
48	56	4	33	44	24	54	40	2	37	43
49	59	55	54	25	35	13	51	28	17	46
50	43	41	26	14	35	14	2	11	6	26
51	11	3	7	8	11	11	3	7	6	1
52	26	17	14	20	18	4	25	17	10	18
53	44	6	21	19	29	23	12	22	5	42
54	121	60	15	21	71	62	16	93	96	51
55	38	23	29	3	23	25	1	38	38	16
56	68	8	51	66	58	10	25	19	51	27
57	22	20	7	5	14	12	7	21	15	15
58	7	7	5	7	7	3	2	5	1	6
59	16	15	2	9	3	11	1	7	1	2
60	32	16	21	20	31	12	14	29	24	10
61	25	3	17	5	16	18	21	6	1	7
62	27	17	24	17	18	23	3	20	17	16
63	0	0	0	76	0	0	0	97	125	0
64	28	3	5	17	9	7	8	10	7	15
65	15	12	1	9	15	2	1	10	8	9
66	26	5	8	13	25	17	24	14	14	25
67	18	13	17	3	13	11	8	18	9	1
68	72	63	35	49	17	19	5	18	50	71

69	23	13	21	2	20	18	18	15	16	23
70	27	16	1	25	21	20	17	21	2	7

4.5 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 5.1, 5.2 จำนวนขั้นงาน 148 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.42 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	12	10	10	6	3	11	2	7	8	11	1	1	2	10	4
2	10	24	1	24	12	5	4	22	4	9	17	16	24	4	15
3	7	6	1	4	5	3	2	3	1	4	7	4	6	2	3
4	42	0	0	46	22	20	15	45	32	0	21	30	34	31	9
5	26	3	29	12	19	20	26	1	19	11	5	27	9	26	21
6	5	7	1	6	2	3	2	5	7	4	1	5	2	3	1
7	0	0	25	26	0	12	0	23	24	0	23	19	20	20	0
8	11	11	32	32	12	16	25	12	32	9	30	27	12	15	3
9	20	33	30	8	8	24	30	29	11	26	6	26	20	11	31
10	21	29	8	16	20	19	15	12	29	20	25	15	27	2	3
11	3	18	12	1	12	5	8	4	11	6	5	11	10	4	18
12	7	2	2	10	7	3	4	6	8	3	7	6	8	4	2
13	10	2	10	13	6	6	8	7	1	13	11	3	6	10	5
14	6	15	16	7	13	11	12	8	14	2	2	12	3	1	11
15	16	10	10	35	17	30	28	15	23	21	17	27	19	30	8
16	23	23	39	18	15	26	12	5	39	32	33	28	21	30	39
17	6	3	2	6	5	3	4	3	6	1	5	1	2	4	3
18	3	12	23	7	3	12	5	20	15	4	5	6	23	17	15
19	20	10	8	23	14	2	17	4	12	16	13	17	11	12	23
20	6	6	4	2	4	3	2	3	1	3	3	6	4	3	1
21	5	6	7	7	6	7	1	4	3	3	4	6	6	2	7
22	1	5	8	4	6	4	3	5	3	6	7	4	4	1	3
23	10	8	8	7	10	6	4	8	5	2	3	2	9	7	3
24	6	6	5	2	3	1	6	4	5	5	2	6	4	6	1
25	3	11	2	5	7	7	5	8	6	1	10	3	11	1	5
26	10	13	5	13	5	8	2	11	7	1	5	9	1	3	12
27	4	8	7	3	2	6	6	4	1	5	3	1	1	2	7
28	24	17	14	11	17	21	6	4	9	16	8	23	13	22	24

ตารางที่ ก.43 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
29	2	10	6	9	10	4	3	1	8	6	9	5	2	4	5
30	18	25	2	7	9	24	6	10	11	4	25	20	10	14	23
31	3	4	9	4	6	5	9	6	9	7	9	1	3	1	4
32	1	6	8	6	3	3	6	1	2	4	1	3	7	8	4
33	13	2	4	11	8	2	12	5	1	1	10	9	5	10	9
34	20	16	7	30	8	5	5	19	3	11	9	16	22	14	23
35	40	23	5	33	22	28	17	27	21	33	38	13	19	40	18
36	20	23	24	11	6	12	22	9	10	5	9	15	8	19	22
37	3	2	5	2	1	5	2	2	4	2	3	2	3	2	1
38	75	9	37	23	33	74	39	53	72	33	21	48	5	3	26
39	7	6	3	6	2	5	2	4	1	6	6	3	2	7	6
40	12	5	2	14	5	8	10	7	2	12	2	3	13	11	8
41	38	15	12	24	6	5	29	9	7	11	33	15	7	8	27
42	5	6	2	9	5	5	8	9	4	4	3	2	2	4	9
43	8	29	20	25	11	17	20	24	10	18	4	6	27	4	18
44	62	23	37	6	25	14	49	28	1	3	37	7	59	55	41
45	52	34	78	10	77	23	16	7	55	51	30	61	4	30	56
46	7	5	3	2	3	2	6	6	5	5	4	1	6	5	6
47	21	10	42	6	41	5	28	2	40	20	15	28	13	42	19
48	1	5	8	13	12	3	11	4	6	3	9	6	1	9	6
49	26	20	41	40	10	28	23	9	24	35	3	21	5	13	14
50	23	25	34	12	32	10	26	22	16	21	5	24	10	23	4
51	18	15	25	7	3	21	2	7	9	4	15	6	17	19	12
52	6	7	10	7	8	7	2	4	4	9	7	8	1	5	9
53	51	61	28	74	37	18	69	37	18	15	29	22	30	64	42
54	13	18	23	10	9	8	11	7	20	10	12	19	22	23	8
55	3	3	2	5	1	4	5	3	2	3	3	1	2	5	2
56	0	0	0	26	17	10	0	0	22	0	17	0	22	16	11
57	7	3	9	10	1	6	8	9	3	2	2	1	8	4	4
58	33	42	9	43	26	25	43	27	36	9	37	15	24	12	32
59	4	14	2	2	11	8	1	10	9	4	13	8	11	3	5
60	3	2	2	1	1	3	2	1	3	1	2	1	3	3	2
61	1	2	1	3	3	3	1	3	1	2	1	1	2	2	1
62	5	5	3	5	3	3	1	3	1	2	1	1	2	2	1

ตารางที่ ก.44 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
63	13	0	0	15	7	12	0	7	13	0	9	5	6	8	11
64	26	4	22	25	10	16	18	21	14	8	4	16	20	10	12
65	1	4	4	3	3	4	1	4	1	3	1	1	2	1	1
66	19	15	14	9	3	19	6	4	6	2	13	5	19	8	7
67	8	4	5	5	3	1	1	4	5	4	3	7	6	7	2
68	14	3	10	6	8	11	5	4	4	3	2	7	1	3	9
69	4	6	3	13	10	11	12	6	5	2	10	4	12	10	11
70	12	7	6	12	3	5	3	8	8	4	5	5	6	9	8
71	27	46	48	34	8	14	32	23	45	41	46	32	21	23	27
72	14	4	14	25	6	11	17	9	13	22	7	21	11	6	21
73	23	37	27	19	29	22	37	10	9	7	23	26	17	32	23
74	29	18	31	29	24	0	15	29	22	28	17	29	25	21	0
75	51	17	24	34	17	42	30	32	21	6	7	41	49	40	35
76	5	1	4	5	3	4	3	3	1	5	1	4	1	4	5
77	23	10	28	24	6	16	28	6	20	11	10	15	9	18	21
78	6	8	8	4	1	5	7	1	6	5	6	2	2	1	4
79	15	107	90	78	77	67	85	29	106	50	24	99	57	102	38
80	4	1	2	2	4	4	1	1	1	4	1	4	1	3	3
81	14	12	4	8	8	7	11	5	12	13	10	4	12	11	7
82	7	9	6	3	1	4	1	1	8	5	1	6	3	8	6
83	20	9	8	17	15	3	6	11	15	16	10	6	7	15	8
84	7	13	7	24	8	16	14	18	11	4	12	17	20	21	6
85	13	8	9	18	14	3	4	7	13	6	13	3	18	11	12
86	13	21	12	8	17	13	14	19	21	15	19	4	8	11	20
87	42	13	13	9	22	11	24	36	32	15	23	28	20	16	14
88	9	1	18	20	9	7	12	11	13	19	5	11	7	5	3
89	5	10	6	12	12	8	12	4	7	9	3	9	12	10	9
90	15	9	2	9	15	10	2	13	3	8	14	7	10	1	8
91	40	83	37	93	73	23	44	74	25	79	24	93	74	21	91
92	6	22	34	10	9	12	13	10	7	16	23	5	10	21	9
93	25	4	27	17	21	5	7	13	5	8	16	20	23	20	9
94	29	43	27	12	27	16	28	10	14	4	34	8	36	40	18
95	18	2	10	16	6	5	3	18	8	10	4	11	15	12	14
96	9	13	13	17	14	11	14	8	12	8	4	16	15	17	5

ตารางที่ ก.45 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
97	6	12	5	2	6	2	12	1	7	10	2	6	4	3	5
98	31	5	23	32	10	20	16	14	29	13	10	27	16	22	9
99	13	49	44	24	30	7	43	18	37	47	10	13	8	32	22
100	20	31	34	16	9	16	7	14	12	19	21	13	12	24	30
101	7	11	13	6	12	7	8	3	5	7	6	13	5	12	2
102	17	4	6	19	12	17	3	9	1	15	10	13	12	11	10
103	8	3	14	7	11	4	6	14	4	13	8	3	14	10	8
104	1	20	14	35	9	11	27	23	32	15	6	26	29	23	33
105	0	0	0	0	0	0	0	49	0	0	0	0	0	0	0
106	1	5	12	6	3	5	1	5	6	11	6	9	5	8	7
107	9	8	6	7	8	1	2	3	5	8	4	7	2	9	6
108	7	12	2	37	9	4	15	28	34	21	3	17	19	3	5
109	32	33	14	19	25	31	13	21	8	19	11	31	20	27	24
110	20	28	20	8	23	21	15	21	24	14	22	14	19	9	11
111	6	9	14	9	8	3	10	5	10	12	8	1	5	13	7
112	87	70	94	9	64	25	68	14	78	59	7	28	67	12	65
113	7	3	12	11	6	7	4	7	2	1	1	6	4	1	9
114	0	0	0	0	0	0	0	19	20	0	0	0	0	0	0
115	15	5	3	11	6	3	12	11	15	13	10	8	6	7	14
116	2	12	22	4	13	3	14	7	13	15	12	18	3	22	21
117	5	10	14	19	12	18	2	10	8	13	6	12	17	8	14
118	9	9	22	9	15	6	18	5	16	22	21	9	19	3	12
119	22	23	47	24	41	46	40	30	44	29	31	35	18	14	26
120	23	21	14	30	24	7	12	7	11	18	27	30	12	8	21
121	22	18	8	20	10	7	6	20	18	8	21	16	20	17	15
122	20	13	25	8	16	2	7	13	23	20	16	8	21	5	9
123	14	18	6	8	15	12	17	14	5	9	18	12	7	11	14
124	1	5	15	12	15	10	3	6	9	13	11	9	4	13	6
125	12	13	6	11	6	5	8	3	9	8	3	4	9	4	13
126	39	42	5	27	11	24	29	12	7	33	23	16	38	27	19
127	24	5	26	39	37	7	6	24	11	23	36	21	28	37	6
128	5	4	9	9	3	8	3	1	6	9	5	1	7	4	6
129	8	7	8	2	5	1	7	4	4	4	6	5	4	1	1
130	6	9	2	5	5	9	2	5	3	5	1	4	4	2	7

ตารางที่ ก.46 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
131	9	11	11	15	12	4	6	5	13	13	5	4	11	14	8
132	3	16	3	12	14	12	10	13	3	5	14	16	11	15	7
133	15	13	15	9	7	3	6	7	14	1	8	6	5	5	13
134	19	16	13	10	15	6	16	12	4	6	19	7	6	16	7
135	35	8	4	12	29	4	11	23	30	17	22	9	16	26	8
136	50	62	23	45	32	60	13	46	29	54	25	47	9	48	36
137	18	2	18	12	5	16	9	11	7	8	6	3	14	5	6
138	0	0	0	15	0	8	0	9	11	0	7	11	0	12	0
139	23	1	24	34	8	32	3	27	5	7	12	32	21	27	10
140	1	22	3	7	17	20	14	17	6	7	11	14	18	9	13
141	89	123	7	9	59	111	64	14	55	21	48	27	71	83	29
142	85	48	62	76	65	79	34	25	60	16	66	50	84	59	24
143	48	30	22	6	24	30	13	32	15	36	31	12	16	23	40
144	70	98	131	100	67	112	75	88	79	52	64	38	76	89	102
145	90	112	58	110	79	43	49	78	62	98	80	74	65	62	91
146	47	45	48	13	15	31	16	28	45	16	28	26	19	40	46
147	61	6	20	75	18	14	34	17	38	9	64	51	23	34	67
148	65	18	15	19	34	47	18	22	65	36	19	26	60	42	46

4.6 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 6 จำนวนขั้นงาน 205 ขั้นงาน

ตารางที่ ก.47 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
1	692	170	280	391	213	500	91	488	413	478	420	291	175	137	88
2	42	40	19	3	14	25	10	16	23	13	28	13	41	21	34
3	261	233	83	229	129	222	71	240	174	152	110	180	143	133	157
4	261	174	193	99	80	111	183	152	132	99	167	219	145	162	117
5	157	94	57	137	144	66	89	77	74	124	93	129	140	134	81
6	90	4	35	10	80	28	71	37	30	52	64	48	28	56	81
7	54	27	40	17	18	15	27	35	11	52	23	41	29	35	13
8	67	55	24	54	41	62	15	54	50	21	23	47	65	47	62
9	30	4	9	17	26	18	11	23	11	24	19	24	19	22	28

ตารางที่ ก.48 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
10	106	100	79	54	46	99	85	24	87	84	69	76	79	100	105
11	32	15	20	32	18	16	14	14	7	32	12	9	19	24	29
12	62	19	46	58	15	54	38	48	22	13	25	58	19	37	51
13	54	24	15	33	48	36	17	34	21	30	18	30	32	14	37
14	67	63	60	57	19	54	35	11	28	28	24	66	58	45	35
15	30	22	15	20	13	15	10	14	24	16	14	27	22	18	13
16	106	73	63	65	55	93	57	82	102	92	72	73	84	63	80
17	32	15	25	22	26	15	32	13	10	13	29	14	28	7	16
18	62	27	55	37	21	33	39	46	25	47	45	52	36	46	54
19	56	45	31	44	30	48	33	53	36	51	45	33	22	43	52
20	67	51	66	25	26	48	57	21	34	54	51	60	29	29	44
21	86	61	58	65	36	29	57	50	53	57	86	59	69	75	64
22	37	0	0	35	34	30	22	27	32	25	17	21	0	33	34

ตารางที่ ก.49 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
23	41	18	17	40	19	21	32	24	24	18	30	29	28	20	36
24	72	55	32	64	42	38	32	58	63	43	25	59	47	60	44
25	86	45	65	53	32	57	71	76	83	67	73	71	82	57	79
26	16	15	11	9	4	11	9	7	14	7	11	5	10	9	13
27	51	39	47	34	25	49	30	47	41	20	34	22	19	28	51
28	66	23	47	42	18	32	46	27	65	37	47	41	22	31	58
29	41	30	21	13	29	31	39	23	24	32	36	40	29	17	28
30	72	55	67	65	39	43	55	62	34	20	56	68	43	26	58
31	51	16	19	22	27	31	24	32	33	50	51	19	32	28	44
32	16	7	11	16	11	5	8	7	11	9	5	8	8	16	13
33	15	5	11	4	8	5	2	14	14	7	5	8	7	13	15
34	15	4	4	9	6	2	11	6	4	8	4	13	10	10	6
35	0	0	46	27	0	58	0	55	54	0	53	25	20	54	0
36	59	45	54	7	31	9	40	12	23	13	25	30	39	47	56
37	23	15	21	14	16	20	13	17	14	13	7	9	5	11	21
38	13	4	3	4	6	2	2	1	13	1	4	8	3	2	2

ตารางที่ ก.50 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
39	19	11	10	5	14	7	9	13	16	10	6	15	16	4	16
40	108	64	105	31	52	66	86	59	91	68	53	104	69	57	98
41	214	141	209	127	125	136	78	93	107	122	198	202	114	174	178
42	80	33	47	22	67	36	75	21	41	43	56	63	58	55	60
43	37	11	29	26	22	33	26	17	36	15	11	18	32	17	31
44	84	38	31	41	79	58	57	82	59	79	38	54	62	72	80
45	18	12	13	16	5	12	7	3	17	6	16	13	3	7	4
46	12	9	12	7	1	7	2	4	2	9	6	2	3	11	9
47	29	25	11	22	13	26	19	9	28	17	29	22	23	21	23
48	37	9	23	14	28	18	17	11	14	36	31	14	33	22	29
49	13	6	9	9	9	13	5	8	11	3	10	5	12	10	12
50	70	21	18	40	17	30	16	47	18	33	59	46	69	47	69
51	217	111	55	147	211	132	165	70	112	174	152	131	120	157	175
52	72	8	34	29	45	40	33	72	67	26	35	32	50	58	61
53	85	63	39	71	66	59	64	74	52	54	41	73	68	56	65
54	43	28	21	33	24	37	29	17	29	14	36	43	35	37	31
55	97	65	73	96	80	40	56	48	91	44	92	71	45	64	53
56	37	8	18	14	23	33	37	13	22	35	25	16	13	24	30
57	13	2	6	5	1	11	8	9	10	13	3	4	3	5	11
58	35	24	26	14	31	18	21	33	25	15	18	24	26	25	31
59	217	86	44	110	202	217	112	97	92	217	114	80	57	197	111
60	72	33	20	28	41	53	16	47	48	31	24	20	29	8	54
61	85	25	12	37	66	28	47	85	31	21	49	40	66	62	81
62	25	5	21	16	6	8	9	22	20	14	20	19	5	23	16
63	37	11	23	21	27	25	11	34	17	34	23	17	14	21	24
64	37	29	4	18	13	24	12	17	33	8	27	25	27	8	19
65	103	65	81	72	55	73	90	71	100	97	88	81	76	68	92
66	140	49	131	29	53	60	90	139	110	76	78	125	89	72	129
67	49	33	47	36	46	13	15	24	22	15	16	37	26	16	41
68	35	27	23	19	16	23	14	11	28	18	26	15	13	28	20
69	51	36	35	21	28	38	33	24	50	23	24	47	19	44	41
70	88	37	27	31	33	26	69	80	45	82	76	55	42	32	65
71	0	0	0	53	32	24	0	0	42	0	41	0	44	19	29
72	144	133	134	127	120	78	107	43	63	51	123	76	98	100	88

ตารางที่ ก.51 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
73	337	153	160	199	317	309	330	100	237	218	126	262	99	154	202
74	107	41	77	34	28	86	79	76	77	65	59	80	89	82	104
75	371	184	117	122	349	105	274	286	170	225	249	310	108	253	201
76	97	19	11	80	56	73	71	61	55	76	65	43	56	92	61
77	166	65	144	116	139	117	103	96	94	76	142	103	161	157	99
78	92	33	56	43	77	57	28	85	74	76	57	67	31	83	79
79	92	67	54	53	91	57	75	68	78	50	26	83	49	59	72
80	106	93	65	67	80	86	56	101	75	104	92	68	101	69	80
81	49	16	20	23	13	20	48	49	24	31	39	22	17	16	27
82	92	10	77	38	76	39	61	69	57	60	74	23	85	65	77
83	371	178	132	228	230	239	271	210	224	265	276	109	128	300	264
84	87	0	0	40	61	52	0	61	33	0	75	61	53	67	74
85	162	77	157	83	124	47	122	95	79	129	124	75	54	107	101
86	96	25	82	49	31	64	42	20	53	54	42	63	92	91	89
87	79	65	34	19	64	61	46	78	22	19	15	48	54	35	68
88	96	60	73	56	45	87	68	84	25	89	81	75	52	32	79
89	42	25	27	17	15	9	34	40	33	29	19	33	25	27	37
90	88	18	48	87	26	62	31	47	28	44	55	64	81	64	73
91	90	50	89	65	86	32	69	82	77	57	72	49	62	88	69
92	97	51	63	54	45	76	53	76	88	77	78	86	60	82	41
93	270	193	209	130	201	198	231	150	237	211	118	96	179	112	91
94	452	132	269	325	363	366	301	400	443	398	303	406	231	199	325
95	48	39	15	17	47	39	21	19	28	29	11	42	17	11	31
96	338	151	141	194	213	312	177	197	219	207	110	158	168	283	309
97	34	21	34	27	20	0	19	25	34	26	24	34	22	29	0
98	65	38	18	9	43	31	19	13	24	22	16	64	15	52	65
99	50	13	38	9	12	23	33	29	36	50	42	16	32	29	41
100	112	83	75	63	68	73	103	87	92	66	96	58	111	103	57
101	48	15	28	12	43	11	23	25	33	17	28	44	40	18	26
102	117	52	72	105	112	106	92	91	85	75	97	70	94	70	102
103	50	40	8	21	24	19	22	28	44	32	42	38	41	23	37
104	68	57	18	41	29	60	25	50	65	45	31	55	62	55	46
105	232	121	111	177	232	202	224	150	177	122	143	230	209	198	212
106	122	94	109	112	118	95	80	89	114	75	112	101	87	77	91

ตารางที่ ก.52 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
107	151	128	75	137	70	92	112	138	84	78	108	123	120	73	141
108	31	23	29	13	20	11	16	18	29	19	26	24	17	9	24
109	97	72	82	75	42	66	47	44	52	76	61	87	52	77	91
110	308	221	255	191	218	213	138	155	179	276	208	250	292	146	233
111	116	86	94	114	93	83	110	106	89	79	88	81	69	98	91
112	312	202	196	280	131	183	193	178	170	209	302	257	249	123	299
113	34	24	34	33	14	29	18	29	29	34	23	18	22	29	21
114	128	80	95	70	100	75	115	127	117	111	108	99	81	116	103
115	54	13	32	45	20	18	37	33	31	35	44	54	37	53	44
116	175	108	161	118	171	148	158	149	162	105	91	95	106	123	127
117	55	28	39	40	44	23	24	36	30	53	40	52	31	22	19
118	306	228	261	255	303	213	275	240	138	148	286	256	273	265	277
119	59	30	22	48	43	50	49	53	58	45	47	37	33	29	51
120	59	28	32	22	33	45	48	58	51	57	44	34	30	33	49
121	66	20	18	26	57	62	48	39	41	49	64	53	54	64	51
122	66	60	66	45	53	50	58	62	50	57	62	29	33	37	41
123	23	15	18	7	18	20	14	18	7	23	21	16	23	10	17
124	244	165	172	190	116	143	239	170	218	119	149	165	205	160	183
125	54	36	53	42	54	40	26	42	37	52	26	38	36	23	40
126	294	147	112	114	248	285	103	288	189	220	190	137	234	190	222
127	84	70	65	57	28	60	83	71	50	45	31	66	78	52	47
128	61	44	19	49	39	37	35	28	52	49	31	39	23	57	50
129	57	30	41	42	45	17	37	57	48	57	32	31	18	57	49
130	38	26	33	37	29	24	22	31	19	16	26	19	34	18	28
131	944	362	706	669	727	826	610	746	446	243	633	577	462	901	647
132	511	440	462	311	510	433	293	347	370	280	316	294	437	438	370
133	625	291	593	504	467	451	567	579	390	475	458	585	565	498	554
134	445	343	200	433	287	341	311	399	391	306	443	420	306	425	267
135	68	33	64	38	15	65	55	52	39	44	47	51	63	57	42
136	53	29	23	51	39	50	44	39	42	32	26	36	42	14	33
137	49	20	24	26	37	48	33	37	47	42	34	22	28	33	41
138	92	34	48	76	37	43	51	53	46	59	34	89	36	58	57
139	236	81	208	231	233	207	236	181	125	179	188	221	179	116	123
140	116	62	86	80	96	62	81	103	114	102	91	71	82	101	93

ตารางที่ ก.53 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
141	265	121	243	255	246	213	102	253	174	188	153	208	151	174	261
142	149	70	61	128	105	138	101	143	137	109	98	149	139	120	144
143	74	24	36	56	64	74	32	64	51	60	57	69	47	38	67
144	332	246	211	134	237	317	242	321	176	238	189	304	269	278	287
145	0	0	0	0	0	0	0	111	0	0	0	0	0	0	0
146	104	87	90	83	51	75	102	92	76	88	63	100	98	101	89
147	51	40	50	51	22	34	43	24	36	31	41	36	34	44	24
148	58	35	46	16	37	26	47	58	33	39	35	38	40	46	50
149	67	26	56	37	53	29	46	32	43	33	22	66	48	56	38
150	49	20	44	38	25	43	26	43	21	40	27	47	35	41	39
151	107	73	60	84	67	100	85	98	64	81	82	101	73	74	91
152	38	26	11	22	14	28	18	23	25	30	22	34	28	21	13
153	27	21	17	27	16	23	20	9	19	13	21	23	26	11	17
154	68	63	20	38	46	48	57	38	66	32	40	62	58	28	35
155	207	112	81	144	151	171	99	141	134	204	191	180	145	204	196
156	202	84	99	124	160	143	132	180	146	192	178	85	96	111	145
157	83	29	74	31	65	57	81	67	54	42	61	57	71	79	63
158	35	7	26	28	8	33	18	20	11	18	34	15	17	24	23
159	58	34	54	40	56	57	41	17	58	43	49	33	58	49	57
160	0	0	0	0	0	0	0	34	39	0	0	0	0	0	0
161	68	54	24	49	65	15	56	41	56	49	28	42	21	63	46
162	68	21	52	55	48	57	54	61	58	40	52	64	38	59	31
163	68	62	64	51	68	46	54	50	68	46	59	30	42	48	61
164	103	49	81	96	58	99	48	69	97	54	65	103	99	101	67
165	103	63	97	55	49	73	61	74	99	37	47	51	65	82	88
166	103	86	71	73	89	79	97	90	80	89	91	64	82	66	100
167	103	80	64	69	76	77	70	67	66	57	87	91	82	88	75
168	103	65	86	103	91	70	74	93	77	95	89	82	76	59	92
169	68	59	53	45	50	47	67	43	62	56	34	49	39	55	61
170	103	56	75	94	68	93	70	55	83	95	54	78	71	89	99
171	68	66	38	37	56	41	52	64	68	39	38	47	51	53	60
172	103	50	89	102	73	88	86	90	78	92	101	77	84	92	98
173	103	70	95	54	97	91	59	67	72	81	68	96	63	83	85
174	68	51	34	48	38	66	31	42	48	58	62	36	44	57	63

ตารางที่ ก.54 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 6 (ต่อ)

ขั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
175	103	62	65	79	101	84	97	93	60	95	89	84	90	71	73
176	103	59	85	61	77	98	68	97	84	75	92	88	79	90	100
177	10	1	7	10	6	2	3	4	3	3	5	10	8	7	8
178	0	0	0	138	0	122	0	175	121	0	152	128	0	143	0
179	134	127	130	74	66	88	124	104	68	119	90	78	85	132	76
180	89	42	62	52	60	55	48	56	69	62	57	80	73	72	81
181	58	45	15	54	51	11	34	46	20	42	49	47	38	29	57
182	49	46	22	39	34	46	39	34	38	47	42	25	29	31	42
183	134	86	117	131	112	132	123	114	102	86	134	98	128	115	126
184	53	36	40	31	23	48	30	35	48	29	51	40	47	34	44
185	334	149	267	224	113	274	290	302	232	283	198	322	222	234	309
186	24	11	9	16	7	19	12	5	22	13	20	24	19	17	14
187	76	42	74	51	60	62	56	71	75	66	68	58	64	32	55
188	76	51	69	59	35	43	66	54	62	63	52	40	38	70	67
189	192	188	172	136	155	145	152	164	175	169	158	143	119	120	147
190	98	78	61	66	81	98	78	60	70	74	87	93	69	50	67
191	258	170	110	154	218	177	157	250	175	202	167	229	210	190	242
192	165	153	92	132	161	153	148	137	123	103	98	120	161	134	88
193	38	29	20	36	28	35	28	13	29	38	8	12	13	23	37
194	115	90	69	114	74	112	107	83	94	72	87	99	103	89	99
195	83	51	40	81	74	77	63	80	55	78	46	81	78	65	76
196	56	44	26	49	37	47	41	33	37	46	43	48	45	39	51
197	29	25	13	20	24	26	5	27	15	24	20	27	26	22	28
198	303	236	197	257	189	227	278	108	279	281	161	181	177	293	216
199	18	7	8	6	10	13	12	12	17	18	15	11	8	9	10
200	29	25	14	8	14	27	22	28	23	29	18	16	13	20	21
201	154	123	107	92	121	91	137	75	139	87	111	148	102	98	87
202	90	49	86	62	67	75	84	68	89	72	79	76	70	81	88
203	93	70	62	87	72	82	39	65	79	87	68	62	56	81	90
204	94	84	80	74	82	59	86	90	85	71	79	92	89	67	78
205	165	101	99	135	128	164	145	134	158	114	139	94	123	154	148

5. ข้อมูลสายการประกอบที่นำมาใช้ในการจัดลำดับการผลิต

5.1 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานของสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย

เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานของสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย ซึ่งมีปัญหา 16, 24, 65, 70, 148 และ 205 ขั้นงาน (Kim et al., 2000) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ ก.55 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 16 ขั้นงาน (Kim et al., 2000)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	E	3,4
2	E	5
3	L	6
4	E	7
5	R	7
6	L	8
7	E	8,9,10
8	E	11
9	R	12,13
10	R	13
11	E	14,15
12	L	15
13	E	16
14	E	-
15	E	-
16	E	-

ตารางที่ ก.56 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 24 ขั้นงาน (Kim et al., 2000)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	L	11
2	L	5,6
3	R	6,7
4	R	15
5	L	8
6	E	9
7	R	10
8	E	12
9	E	12,13,14
10	E	14
11	L	16
12	L	17
13	E	18,19
14	R	19
15	R	20
16	L	21
17	E	21
18	E	22
19	E	23
20	R	23,24
21	L	-
22	E	-
23	R	-
24	E	-

ตารางที่ ก.57 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 65 ขั้นงาน (Kim et al., 2000)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	E	3	20	E	21
2	E	3	21	E	31
3	E	4, 23	22	E	31
4	E	5, 6, 7, 9, 11, 12, 25, 26, 27, 41, 45, 49	23	E	24
5	E	14	24	E	31
6	E	14	25	L	31
7	R	8	26	R	31

ตารางที่ ก.58 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 65 ขั้นงาน (Kim et al., 2000) (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
8	R	14	27	R	28
9	L	10	28	R	50
10	L	14	29	L	50
11	E	14	30	L	50
12	E	14	31	E	32, 36, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62
13	E	14	32	E	33
14	E	15, 18, 20, 22	33	E	34
15	E	16	34	E	35
16	L	17	35	R	50
17	L	31	36	E	37
18	R	19	37	E	38
19	R	21	38	E	39, 40

ตารางที่ ก.59 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 65 ขั้นงาน (Kim et al., 2000) (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
39	L	50	53	L	65
40	R	50	54	E	65
41	E	42	55	R	65
42	E	43	56	E	57
43	E	62	57	E	65
44	R	46	58	L	65
45	L	46	59	R	65
46	E	47	60	E	65
47	L	48	61	R	65
48	L	50	62	E	63
49	E	16	63	L	64
50	E	66	64	L	65
51	R	65	65	E	-
52	E	65			

ตารางที่ ก.60 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 70 ขั้นงาน

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	R	41,69,70	20	R	21
2	R	3	21	E	23
3	E	4,68	22	L	23
4	E	6,7	23	E	25,31,33
5	E	6,24,30	24	E	25
6	E	8	25	R	26,27,28,29
7	L	8	26	R	35
8	R	12	27	E	35
9	E	10	28	E	35
10	L	11	29	R	35
11	E	12	30	E	31
12	E	13,14	31	E	32
13	R	23	32	E	35
14	L	23	33	E	34
15	L	16	34	L	35
16	E	17,18	35	L	36,44,48,51,53,56,60,61,62
17	E	19	36	R	37
18	R	19	37	E	38
19	E	20,22	38	E	39,44

ตารางที่ ก.61 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 70 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
39	R	40	56	L	-
40	E	42	57	L	58
41	R	42	58	E	59
42	E	43	59	E	60
43	L	50	60	R	-
44	L	45	61	E	65
45	L	46	62	R	63
46	E	47	63	E	64
47	E	50	64	E	65,66,67
48	R	49	65	L	-
49	L	50	66	L	-
50	E	-	67	E	-

ตารางที่ ก.62 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 70 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
51	R	52	68	E	-
52	E	54	69	E	-
53	L	54	70	E	-
54	E	55			
55	R	-			

ตารางที่ ก.63 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 148 ขั้นงาน

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	E	5,6,7,8	22	L	25,26,27,28	43	L	44
2	E	3	23	L	25,26,27,28	44	L	-
3	E	4,5,6,7	24	R	25,26,27,28	45	L	46
4	E	8	25	R	29	46	L	47
5	E	14	26	R	29	47	L	48,49,55
6	E	9	27	L	29	48	E	-
7	E	14	28	L	29	49	L	-
8	E	10	29	E	31	50	E	51
9	E	14	30	R	-	51	L	53,69
10	E	14	31	E	36	52	L	53
11	E	12	32	L	34	53	L	-
12	E	13	33	R	35	54	L	133
13	E	-	34	L	36	55	R	54,72,76,87,88
14	E	15,16	35	R	36	56	E	73
15	L	17	36	R	37	57	L	79
16	R	17	37	R	38,45	58	L	84,86
17	E	18,19	38	R	39	59	E	75,87
18	L	20	39	R	40	60	E	-
19	R	20	40	R	41,48,55	61	E	62
20	E	21,22,23,24	41	R	-	62	E	63
21	R	25,26,27,28	42	L	43	63	E	67

ตารางที่ ก.64 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 148 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
64	R	65,71,72	93	L	-	122	E	126
65	E	66,99	94	E	-	123	E	124
66	E	67	95	E	101	124	E	125
67	E	68	96	E	104	125	E	-
68	E	95,98	97	E	-	126	E	-
69	R	82	98	E	101	127	E	-
70	R	71	99	E	100	128	L	129
71	R	-	100	E	101	129	L	130
72	R	134	101	E	102,103	130	L	131,137
73	E	84,86,87,88,96	102	E	127	131	L	-
74	E	75	103	E	127	132	E	135
75	E	88,97	104	E	-	133	L	135
76	E	77	105	E	119	134	R	135
77	E	78	106	E	107	135	E	136
78	E	79	107	E	108	136	E	-
79	E	80	108	E	109	137	L	-
80	E	81	109	E	110	138	E	139
81	E	106	110	E	-	139	E	140
82	E	83,89,143,146	111	E	112	140	E	-
83	E	-	112	L	113	141	L	142
84	E	85	113	L	114,116,120,123,128	142	R	143,146,147,148
85	E	-	114	E	115	143	L	-
86	E	-	115	E	125	144	L	145
87	E	-	116	E	117	145	R	147,148
88	E	111	117	E	118	146	R	-
89	E	90	118	E	126	147	L	-
90	E	79	119	E	-	148	R	-
91	E	105	120	E	121			
92	E	135	121	E	122			

ตารางที่ ก.65 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 205 ขั้นงาน

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
1	E	36	20	E	22	39	L	45
2	E	3,4	21	E	22	40	E	43,54
3	R	5	22	E	23	41	E	92
4	L	5	23	E	24,34	42	E	43,54
5	E	7,13	24	E	26,27,28	43	L	44
6	E	36	25	R	28	44	L	45
7	R	8	26	L	35	45	L	46,48,51,53
8	R	9	27	R	35	46	L	47
9	R	10	28	R	29	47	L	92
10	R	11	29	R	30,33	48	L	49
11	R	12	30	R	31,32	49	L	50
12	R	36	31	R	35	50	L	92
13	L	14	32	R	35	51	L	52
14	L	15	33	R	35	52	L	92
15	L	16	34	L	35	53	L	92
16	L	17	35	E	36	54	R	55
17	L	18	36	E	37,40,41,42,62,69,72,75,83,110,111,112	55	R	56,59,61
18	L	36	37	L	38	56	R	57
19	E	36	38	L	39	57	R	58

ตารางที่ ก.66 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
58	R	92	111	L	113
59	R	60	112	R	113
60	R	92	113	E	114,115,116,117, 118, 119, 120, 121, 122, 123, 124, 161, 162, 163, 169, 171, 174, 203, 204, 205
61	R	92	114	L	160
62	E	63	115	E	160
63	E	64	116	R	160
64	E	65,68	117	E	160
65	E	66	118	E	126
66	E	67	119	E	126
67	E	80	120	E	126
68	E	80	121	E	126
69	E	70	122	E	126
70	E	71	123	E	126
71	E	73	124	E	125
72	E	73	125	E	126

ตารางที่ ก.67 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
73	E	74	126	R	127,128,129
74	E	76	127	E	135
75	E	92	128	E	135
76	E	77,78,79	129	E	135
77	E	80,82	130	R	136
78	L	80	131	E	132
79	R	80	132	R	133
80	E	81	133	R	189
81	E	84	134	R	189
82	E	92	135	L	136, 137, 138, 139, 140, 141, 142, 144, 145, 147, 148, 149, 150, 151, 152, 153, 158
83	E	92	136	L	189
84	E	85	137	E	160
85	E	86,88,90	138	E	160
86	E	87	139	E	160
87	E	92	140	L	143
88	E	89	141	L	143
89	E	92	142	L	143
90	R	91	143	L	160
91	R	92	144	E	160
92	R	93,94,95,96,97,98,99	145	E	146
93	R	135	146	L	160
94	E	135	147	L	160
95	R	113	148	R	160
96	E	113	149	R	160
97	E	100	150	R	160
98	E	100	151	E	160
99	E	100	152	L	160
100	E	101,103,105,109,130,000,000	153	L	154
101	E	102	154	E	155
102	E	113	155	E	156
103	E	104	156	E	157
104	R	113	157	E	189
105	L	106,107	158	R	159
106	L	108	159	R	189
107	E	108	160	E	164,170,178,179,184
108	L	113	161	R	167
109	E	113	162	R	165
110	R	113	163	R	164

ตารางที่ ก.68 เงื่อนไขการจัดสรรขั้นงานสำหรับปัญหา 205 ขั้นงาน (ต่อ)

ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป	ขั้นงาน	ด้าน	ขั้นงานลำดับถัดไป
164	R	165	185	E	189
165	R	166	186	R	189
166	R	167	187	R	189
167	R	168	188	L	189
168	R	177	189	E	190,191,193
169	L	170	190	E	-
170	L	172	191	R	192
171	L	172	192	E	-
172	L	173	193	R	-
173	L	175	194	E	197
174	L	175	195	L	196
175	L	176	196	R	197
176	L	177	197	R	198,199,201
177	E	185,186,187,188,194,000	198	R	-
178	E	180	199	R	200
179	L	180	200	R	-
180	L	181,183	201	L	202
181	L	182	202	L	-
182	L	-	203	L	-
183	L	-	204	E	-
184	L	-	205	E	-

6. สายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย

สายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัยก่อนที่จะทำการจัดลำดับการผลิตจะต้องทำการจัดสมดุลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านก่อน ปัญหาที่ทำการศึกษาวิจัยจะมีดังนี้

ตารางที่ ก.69 Set 1.1 ปัญหา 16 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 5:3:2:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ws	1	2	3	1	2	3	4	3	4	6	5	5	6	7	7	8
Seq	1	3	5	2	4	6	8	7	9	12	10	11	13	14	15	16

ตารางที่ ก.70 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.1 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	8	7	0.875
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	6	3	0.500
MPS(12)		5	3	2	1	1			$\overline{u}$ = 0.688

ตารางที่ ก.71 Set 1.2 ปัญหา 16 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 4:4:2:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
ws	1	2	3	1	2	3	4	3	4	6	5	5	6	7	7	8
Seq	1	3	5	2	4	6	8	7	9	12	10	11	13	14	15	16

ตารางที่ ก.72 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.2 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	8	6	0.750
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	6	3	0.500
MPS(12)		4	4	2	1	1			$\overline{u}$ = 0.688

ตารางที่ ก.73 Set 2.1 ปัญหา 24 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 7:3:2:2:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	1	1	2	2	1	3	2	3	3	3	3	5	6	6	4	5	7	8	6	4
Seq	1	3	2	4	5	7	6	11	9	13	12	14	17	15	8	16	19	20	18	10
Task	21	22	23	24																
ws	7	8	10	9																
Seq	21	22	24	23																

ตารางที่ ก.74 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.1 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	10	10	1.000
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	8	4	0.500
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	5	3	0.600
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	5	3	0.600
MPS(15)		7	3	2	2	1			$\overline{u}$ = 0.675

ตารางที่ ก.75 Set 2.2 ปัญหา 24 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 4:3:3:3:2

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	1	1	2	2	1	3	2	3	3	3	3	5	6	6	4	5	7	8	6	4
Seq	1	2	4	5	3	7	6	9	8	11	10	14	17	16	12	15	19	21	18	13
Task	21	22	23	24																
ws	7	8	10	9																
Seq	20	22	24	23																

ตารางที่ ก.76 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.2 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	10	9	0.900
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	8	6	0.750
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	5	5	1.000
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	5	5	1.000
MPS(15)		4	3	3	3	2			$\overline{u}$ = 0.913

ตารางที่ ก.77 Set 3.1 ปัญหา 65 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 8:7:2:2:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	2	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	1	1	1	1	1	2	2	4
Seq	1	30	2	13	44	29	3	4	41	6	7	8	49	5	45	11	46	12	27	28
Task	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ws	4	1	1	1	1	3	3	3	3	3	3	3	4	4	3	3	4	3	3	4
Seq	26	47	48	23	24	42	43	25	9	10	14	22	18	19	20	21	15	16	17	31
Task	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ws	3	4	5	5	4	4	6	5	5	5	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6
Seq	60	59	54	53	52	36	37	62	63	64	32	33	34	35	38	40	61	58	55	51
Task	61	62	63	64	65															
ws	5	5	5	5	6															
Seq	56	57	39	50	65															

ตารางที่ ก.78 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.1 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	14	11	0.786
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	10	4	0.400
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	7	3	0.429
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	7	3	0.429
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	12	11	0.917
Option#6	4/5	1	1	1	1	1	16	20	1.250
Option#7	2/10	0	0	0	1	0	4	2	0.500
MPS(20)		8	7	2	2	1			$\overline{u}$ = 0.673

ตารางที่ ก.79 Set 3.2 ปัญหา 65 ขั้นงาน 5 ผลิตภัณฑ์ MPS = 5:4:4:4:3

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	1	2	1	1	2	2	2	2	2	1	2	1	1	1	2	2	2	1	1	1
Seq	13	44	29	30	2	1	3	23	24	4	26	45	49	12	41	27	28	42	43	9
Task	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ws	1	1	1	1	3	3	4	4	3	4	3	3	4	4	4	4	4	3	3	3
Seq	46	47	48	11	10	25	7	8	6	5	14	15	22	20	18	19	21	16	17	31
Task	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ws	3	4	4	6	5	6	6	5	6	6	6	6	6	5	5	5	6	5	6	5
Seq	58	60	61	55	36	59	51	37	32	56	33	34	35	53	38	39	40	50	54	62
Task	61	62	63	64	65															
ws	5	6	5	6	6															
Seq	63	52	64	57	65															

ตารางที่ ก.80 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.2 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	14	12	0.857
Option#2	1/2	0	0	1	1	0	10	8	0.800
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	7	7	1.000
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	7	7	1.000
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	12	12	1.000
Option#6	4/5	1	1	1	1	1	16	20	1.250
Option#7	2/10	0	0	0	1	0	4	4	1.000
MPS(20)		5	4	4	4	3			$\overline{u}$ = 0.987

ตารางที่ ก.81 Set 4.1 ปัญหา 70 ขั้นงาน 10 ผลิตภัณฑ์ MPS = 7:5:1:1:1:1:1:1:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	1	2	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	4	3	6	6	5	5	6	5
Seq	57	58	5	24	15	30	59	1	70	69	41	16	18	17	19	20	21	22	9	10
Task	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ws	7	6	6	8	8	7	8	7	10	9	10	9	12	12	12	11	11	11	11	11
Seq	11	2	3	4	6	7	8	68	12	14	13	23	25	26	29	33	34	31	32	28
Task	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ws	13	13	14	13	13	14	14	16	13	16	16	16	16	15	15	15	17	16	16	18
Seq	27	35	60	53	56	51	52	54	61	36	37	38	39	40	42	43	44	62	63	48
Task	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70										
ws	17	18	18	17	17	18	17	19	20	19										
Seq	49	64	67	66	65	55	45	46	47	50										

ตารางที่ ก.82 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 4.1 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	14	13	0.929
Option#2	1/ 2	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	10	5	0.500
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	7	5	0.714
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	7	4	0.571
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	12	12	1.000
Option#6	4/5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	16	19	1.188
Option#7	2/10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4	3	0.750
Option#8	10/15	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	14	10	0.714
MPS(20)		7	5	1	1	1	1	1	1	1	1			$\overline{u}$ = 0.796

ตารางที่ ก.83 Set 4.2 ปัญหา 70 ขั้นงาน 10 ผลิตภัณฑ์ MPS = 4:4:4:2:1:1:1:1:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
ws	1	2	1	1	2	1	2	1	1	4	3	6	6	6	5	5	5	6	6	5
Seq	57	58	5	30	24	9	59	15	16	18	17	19	20	21	22	10	11	2	3	4
Task	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
ws	7	8	7	8	7	10	9	10	11	10	10	12	12	11	14	11	14	13	14	13
Seq	6	68	7	8	12	13	14	23	33	31	32	25	27	28	26	34	29	35	62	61
Task	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
ws	14	13	14	13	14	15	14	14	14	15	16	16	16	15	15	15	18	18	17	17
Seq	51	56	48	53	52	49	36	37	38	44	39	54	55	40	45	46	47	60	63	64
Task	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70										
ws	17	17	17	18	18	17	18	18	17	18										
Seq	67	66	65	1	69	70	41	42	43	50										

ตารางที่ ก.84 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 4.2 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	14	11	0.786
Option#2	1/ 2	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	10	9	0.900
Option#3	1/3	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	7	6	0.857
Option#4	1/3	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	7	5	0.714
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	12	10	0.833
Option#6	4/5	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	16	19	1.188
Option#7	2/10	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0	4	4	1.000
Option#8	10/15	1	0	0	0	0	0	0	1	1	1	14	7	0.500
MPS(20)		4	4	4	2	1	1	1	1	1	1			$\overline{u}$ = 0.847

ตารางที่ ก.85 Set 5.1 ปัญหา 148 ขั้นงาน 15 ผลิตภัณฑ์ MPS = 20:20:20:15:15:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ws	1	2	1	2	2	1	3	5	7	7	2	2	4	4	4	4	7	7
Seq	2	138	141	139	70	32	58	144	93	52	91	105	119	64	94	92	42	57
Task	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ws	4	6	6	8	7	10	12	7	7	7	7	12	9	9	9	11	11	12
Seq	65	66	74	142	60	145	148	56	11	50	51	69	53	133	43	44	3	71
Task	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ws	11	12	14	11	11	11	11	11	13	14	14	14	13	13	13	16	16	16
Seq	34	33	35	61	62	140	12	132	147	73	96	104	84	86	85	99	100	30
Task	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ws	13	15	15	15	15	18	15	15	15	15	15	15	17	17	17	18	17	18
Seq	59	75	97	13	82	146	89	90	83	63	67	68	95	98	101	103	102	127
Task	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
ws	17	17	18	18	20	19	20	19	19	20	19	20	20	19	20	22	21	22
Seq	4	143	1	7	5	8	10	6	9	14	15	16	17	18	19	20	22	21
Task	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
ws	22	21	22	22	21	21	22	21	22	22	23	23	23	24	24	24	24	24
Seq	24	23	25	26	27	28	29	31	36	37	45	46	47	38	39	40	55	72
Task	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
ws	23	23	26	26	25	26	26	25	25	25	25	28	27	27	28	28	28	28
Seq	88	111	87	134	76	135	136	112	48	113	116	120	121	122	114	115	123	124
Task	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
ws	28	27	27	30	27	27	29	29	30	29	30	31	31	31	31	31	31	32
Seq	125	117	118	126	77	78	79	80	81	106	107	108	128	129	130	131	137	109
Task	145	146	147	148														
ws	32	31	31	32														
Seq	110	49	54	41														

ตารางที่ ก.86 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 5.1 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	67	59	0.881
Option#2	1/ 2	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	50	42	0.840
Option#3	17/30	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	57	38	0.667
Option#4	1/ 2	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	50	36	0.720
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	60	58	0.967
Option#6	39/43	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	91	98	1.077
Option#7	10/15	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	67	40	0.597
Option#8	6/30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	1	0.050
Option#9	2/15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	13	2	0.154
Option#10	4/9	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	44	21	0.477
MPS(100)		20	20	20	15	15	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1			$\overline{u}$ = 0.643

ตารางที่ ก.87 Set 5.2 ปัญหา 148 ขั้นงาน 15 ผลิตภัณฑ์ MPS = 15:15:10:10:10:10:10:10:4:1:1:1:1:1:1

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ws	2	1	1	2	1	4	3	3	4	3	3	6	5	6	6	5	5	5
Seq	94	132	138	30	141	142	91	105	119	57	74	70	93	64	71	61	62	63
Task	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ws	5	6	6	6	5	8	7	10	12	7	9	9	9	9	9	9	11	12
Seq	58	56	73	96	84	104	144	145	148	85	52	1	92	42	43	44	50	33
Task	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ws	12	11	11	11	12	14	14	11	11	11	13	13	14	14	13	14	13	14
Seq	35	32	34	147	59	75	97	86	11	12	13	51	69	82	89	83	143	146
Task	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ws	13	14	15	16	15	15	16	16	16	15	16	15	16	17	17	18	18	18
Seq	90	65	66	67	99	100	68	95	98	101	102	103	127	53	133	139	140	60
Task	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
ws	18	18	18	17	18	17	17	20	19	20	19	20	19	19	20	19	19	20
Seq	2	3	7	4	8	5	6	9	10	14	15	16	17	18	19	20	23	24
Task	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
ws	19	20	19	20	21	20	21	21	22	22	21	22	21	23	23	22	22	24
Seq	22	21	27	26	28	25	29	31	36	37	45	38	46	47	49	39	40	55
Task	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
ws	24	23	23	23	26	23	23	25	25	25	25	26	25	26	28	27	27	27
Seq	87	76	77	78	79	88	111	112	113	123	128	124	120	116	117	118	129	54
Task	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
ws	28	28	28	28	28	27	27	27	28	28	28	27	27	27	28	30	29	30
Seq	80	81	106	107	108	114	115	125	72	48	41	130	137	131	121	122	126	134
Task	145	146	147	148														
ws	30	29	30	30														
Seq	135	136	109	110														

ตารางที่ ก.88 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 5.2 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	67	74	1.104
Option#2	1/ 2	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	50	48	0.960
Option#3	17/30	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	57	49	0.860
Option#4	1/ 2	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	50	38	1.152
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	60	64	1.067
Option#6	39/43	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	91	89	0.978
Option#7	10/15	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	67	42	0.627
Option#8	6/30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	20	10	0.500
Option#9	2/15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	13	14	1.077
Option#10	4/9	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	44	37	0.840
MPS(100)		15	15	10	10	10	10	10	10	4	1	1	1	1	1	1		$\overline{u}$ = 0.917	

ตารางที่ ก.89 Set 6 ปัญหา 205 ขั้นงาน 15 ผลิตภัณฑ์ MPS = 20 20 20 15 15 10 20 10 5 20 5 10 10 10 10

Task	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
ws	2	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	2
Seq	1	6	25	201	21	20	22	23	34	24	26	28	29	33	30	32	31	27
Task	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
ws	1	2	1	1	2	2	2	1	2	1	1	1	1	1	2	2	2	2
Seq	35	19	2	4	3	5	7	13	8	14	15	16	17	18	9	10	11	12
Task	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
ws	2	1	2	2	2	1	1	1	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1
Seq	36	75	40	112	110	69	83	111	72	62	63	64	68	65	70	71	73	74
Task	55	56	57	58	59	60	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70	71	72
ws	1	1	2	1	2	4	4	1	3	3	4	3	3	3	3	3	3	3
Seq	76	78	79	42	54	55	61	43	44	41	77	82	37	38	39	45	48	53
Task	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
ws	3	3	3	3	3	3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Seq	46	47	51	52	49	50	59	60	56	57	58	66	67	80	81	84	85	90
Task	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106	107	108
ws	4	3	3	3	4	4	4	3	4	3	3	3	4	4	3	4	6	6
Seq	91	86	87	88	89	92	95	98	97	99	100	101	109	134	131	132	133	130
Task	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122	123	124	125	126
ws	3	3	3	3	3	6	5	5	6	5	6	6	6	6	6	5	5	6
Seq	105	107	106	108	102	93	94	103	104	96	113	123	163	162	161	174	205	117
Task	127	128	129	130	131	132	133	134	135	136	137	138	139	140	141	142	143	144
ws	5	6	5	6	5	5	5	6	6	6	5	5	6	6	6	5	6	5
Seq	122	121	120	115	114	171	203	124	125	116	118	169	204	119	126	129	127	128
Task	145	146	147	148	149	150	151	152	153	154	155	156	157	158	159	160	161	162
ws	5	5	6	6	5	5	5	5	5	5	6	6	6	6	6	7	7	8
Seq	135	140	158	159	142	152	136	153	141	143	139	151	150	145	148	146	147	144

ตารางที่ ก.90 Set 6 ปัญหา 205 ขั้นงาน 15 ผลิตภัณฑ์ MPS = 20 20 20 15 15 10 20 10 5 20 5 10 10 10 10

Task	163	164	165	166	167	168	169	170	171	172	173	174	175	176	177	178	179	180
ws	7	8	7	7	7	7	7	8	8	8	7	8	7	7	7	7	7	8
Seq	138	149	137	160	184	170	172	164	165	166	178	167	179	180	183	181	182	168
Task	181	182	183	184	185	186	187	188	189	190	191	192	193	194	195	196	197	198
ws	8	8	8	7	7	7	7	7	7	8	7	8	8	7	8	8	8	8
Seq	154	155	156	157	173	175	176	177	195	194	188	196	197	202	198	187	199	200
Task	199	200	201	202	203	204	205											
ws	8	7	7	8	7	8	8											
Seq	186	185	189	193	190	191	192											

ตารางที่ ก.91 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 6 และค่า Utilisation Rate

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	nc*p/q	nc_0	u_m
Option#1	2/3	1	0	0	1	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	134	140	1.145
Option#2	½	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	1	1	1	1	0	100	95	0.950
Option#3	17/30	0	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	114	100	0.877
Option#4	1/ 2	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	1	0	1	1	1	100	80	0.800
Option#5	3/5	1	0	0	1	1	1	0	1	1	0	1	1	1	1	1	120	120	1.000
Option#6	39/43	1	1	1	1	1	0	1	1	1	1	1	1	1	1	0	182	180	0.989
Option#7	10/15	1	0	0	1	0	0	0	1	1	1	1	0	0	1	0	134	85	0.634
Option#8	6/30	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	40	10	0.400
Option#9	2/15	0	0	0	0	0	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	26	15	0.577
Option#10	4/9	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	1	1	0	1	0	88	65	0.739
MPS(200)		20	20	20	15	15	10	20	10	5	20	5	10	10	10	10		$\bar{u}$ = 0.801	

ภาคผนวก ข

ผลการทดลองการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของแต่ละปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

1. ค่าพารามิเตอร์ของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ที่เหมาะสม

วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ จำนวนฝูงและจำนวนอนุภาค ที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยแบ่งจำนวนฝูงและจำนวนอนุภาคออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 (10-10) คือ จะสุ่มในแต่ละรอบจะมีจำนวนฝูงมา 10 ฝูงและจำนวนอนุภาคมา 10 จำนวน ระดับที่ 2 คือ 5-20 และระดับที่ 3 คือ 4-25 โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดข้างต้น

1.1 การวิเคราะห์จากการทำการทดลอง

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม โดยขั้นตอนการวิเคราะห์มีดังต่อไปนี้ (ปาลิดา, 2553)

1.1.1 นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง โดยกำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะนี้เป็นตัวแปรตัวสนองโดยถ้าตัวแปรนี้มีค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงที่เข้าใกล้ 0 ที่ระดับปัจจัยใดอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะสามารถกำหนดได้ว่าระดับปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน แต่ถ้าตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงไม่มีระดับปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะพิจารณาต่อในขั้นตอนถัดไป

1.1.2 นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ โดยกำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะนี้เป็นตัวแปรตัวสนองโดยถ้าตัวแปรนี้มีค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเข้าใกล้ 0 ที่ระดับปัจจัยใดอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะสามารถกำหนดได้ว่าระดับปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการ

จัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน แต่ถ้าตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบไม่มีระดับปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะพิจารณาต่อในขั้นตอนถัดไป

1.1.3 นำผลที่ได้จากการทดลองมาหาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง โดยกำหนดให้ตัวชี้วัดสมรรถนะนี้เป็นตัวแปรตัวสนองโดยถ้าตัวแปรนี้มีค่าอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเข้าใกล้ 1 ที่ระดับปัจจัยใดอย่างมีนัยสำคัญ ก็จะสามารถกำหนดได้ว่าระดับปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับนำไปใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน แต่ถ้าตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงไม่มีระดับปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะพิจารณาต่อในขั้นตอนถัดไป

1.1.4 เมื่อตัวแปรตอบสนองทั้ง 3 ตัวชี้วัดข้างต้นพบว่าไม่มีระดับปัจจัยใดที่มีผลอย่างมีนัยสำคัญ จึงนำเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของแต่ละระดับปัจจัยมาเป็นตัวแปรที่ใช้ในการพิจารณาเลือกระดับปัจจัยที่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน โดยถ้าระดับปัจจัยใดใช้เวลาน้อยที่สุดก็จะเลือกระดับปัจจัยนั้นเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบแบบสองด้าน

การวิเคราะห์ระดับปัจจัยหรือค่าพารามิเตอร์จะใช้การวิเคราะห์ ANOVA โดยกำหนดที่ระดับนัยสำคัญที่ 0.05 โดยที่ถ้าตัวแปรตอบสนองใดมีผลอย่างมีนัยสำคัญก็จะหมายถึงระดับปัจจัยนั้นมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนอง

1. **การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา** Set 1.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: respone versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00431  0.00216  0.72  0.557
Error            3  0.00904  0.00301
Total            5  0.01335

S = 0.05488   R-Sq = 32.30%   R-Sq(adj) = 0.00%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.10725  0.06003  (--------------*---------------)
2      2  0.11080  0.00481  (---------------*--------------)
3      2  0.16580  0.07354         (---------------*--------------)
                                --+---------+---------+---------+-------
                                0.000     0.080     0.160     0.240

Pooled StDev = 0.05488
```

ภาพที่ ข.1 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.1 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.557 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Spread versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00036  0.00018  0.07  0.935
Error            3  0.00782  0.00261
Total            5  0.00818

S = 0.05105   R-Sq = 4.39%   R-Sq(adj) = 0.00%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.46730  0.04087    (-----------------*---------------)
2      2  0.45035  0.00870  (---------------*----------------)
3      2  0.45150  0.07792  (----------------*---------------)
                              --+---------+---------+---------+-------
                              0.350     0.420     0.490     0.560

Pooled StDev = 0.05105
```

ภาพที่ ข.2 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.2 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.935 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Ratio versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.1220  0.0610  0.79  0.529
Error            3  0.2303  0.0768
Total            5  0.3523

S = 0.2771   R-Sq = 34.62%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev     +---------+---------+---------+---------
1      2  0.5722  0.4164               (--------------*---------------)
2      2  0.4500  0.0707            (--------------*---------------)
3      2  0.2278  0.2278     (---------------*--------------)
                             +---------+---------+---------+---------
                           -0.40      0.00      0.40      0.80

Pooled StDev = 0.2771
```

ภาพที่ ข.3 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.3 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.529 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 4-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.1 คือ 4-25

ตารางที่ ข.1 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.1

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 4
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 25

2. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet1_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00223  0.00112  0.45  0.672
Error            3  0.00737  0.00246
Total            5  0.00960

S = 0.04955   R-Sq = 23.26%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.13930  0.04837  (---------------*---------------)
2      2  0.18425  0.05947        (---------------*---------------)
3      2  0.17440  0.03861       (---------------*---------------)
                              ------+---------+---------+---------+---
                                  0.070     0.140     0.210     0.280

Pooled StDev = 0.04955
```

ภาพที่ ข.4 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.4 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.672 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet1_2 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.012324	0.006162	7.30	0.070
Error	3	0.002533	0.000844		
Total	5	0.014857			

S = 0.02906 R-Sq = 82.95% R-Sq(adj) = 71.59%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.51565	0.03415	(----------*----------)
2	2	0.40715	0.02906	(----------*----------)
3	2	0.44105	0.02284	(----------*----------)

0.360 0.420 0.480 0.540

Pooled StDev = 0.02906

ภาพที่ ข.5 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.5 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.070 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet1_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0758  0.0379  1.49  0.355
Error            3  0.0763  0.0254
Total            5  0.1521

S = 0.1594   R-Sq = 49.86%   R-Sq(adj) = 16.44%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.5667  0.1414            (--------------*-------------)
2      2  0.3167  0.2121  (--------------*-------------)
3      2  0.3417  0.1061   (--------------*-------------)
                          --+---------+---------+---------+-------
                          0.00      0.25      0.50      0.75

Pooled StDev = 0.1594
```

ภาพที่ ข.6 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.6 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.355 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 10-10 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.2 คือ 10-10

ตารางที่ ข.2 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.2

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10

3. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_1 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.00031	0.00015	0.14	0.872
Error	3	0.00322	0.00107		
Total	5	0.00353			

S = 0.03278 R-Sq = 8.74% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.09370	0.03917	(----------*----------)
2	2	0.11125	0.01959	(----------*----------)
3	2	0.10165	0.03613	(----------*----------)

0.050 0.100 0.150 0.200

Pooled StDev = 0.03278

ภาพที่ ข.7 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.7 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.872 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet2_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.01084  0.00542  1.71  0.319
Error            3  0.00948  0.00316
Total            5  0.02032

S = 0.05623   R-Sq = 53.33%   R-Sq(adj) = 22.22%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.48325  0.04561     (-----------*-----------)
2      2  0.45320  0.07679  (-----------*-----------)
3      2  0.55455  0.03882            (-----------*-----------)
                              -------+---------+---------+---------+--
                                   0.40      0.50      0.60      0.70

Pooled StDev = 0.05623
```

ภาพที่ ข.8 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.8 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.319 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet2_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0414  0.0207  0.91  0.490
Error            3  0.0680  0.0227
Total            5  0.1094

S = 0.1505   R-Sq = 37.86%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.4710  0.1947          (-------------*------------)
2      2  0.2722  0.1389  (-------------*------------)
3      2  0.3342  0.1036     (------------*-------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                           0.00      0.25      0.50      0.75

Pooled StDev = 0.1505
```

ภาพที่ ข.9 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.9 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.490 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 5-20 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.1 คือ 5-20

ตารางที่ ข.3 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.1

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 5
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 20

4. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00208  0.00104  0.39  0.709
Error            3  0.00809  0.00270
Total            5  0.01017

S = 0.05192   R-Sq = 20.49%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.08435  0.02143    (----------------*----------------)
2      2  0.12845  0.07290           (----------------*----------------)
3      2  0.09620  0.04808      (----------------*----------------)
                              -----+---------+---------+---------+----
                                 0.000     0.070     0.140     0.210

Pooled StDev = 0.05192
```

ภาพที่ ข.10 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.10 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.709 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet2_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00648  0.00324  0.60  0.603
Error            3  0.01615  0.00538
Total            5  0.02264

S = 0.07338   R-Sq = 28.64%   R-Sq(adj) = 0.00%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.45245  0.11349  (-------------*------------)
2      2  0.53095  0.03557        (-------------*-------------)
3      2  0.50720  0.04483      (------------*-------------)
                              ------+---------+---------+---------+---
                                  0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.07338
```

ภาพที่ ข.11 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.11 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.603 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet2_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0061  0.0031  0.08  0.929
Error            3  0.1212  0.0404
Total            5  0.1273

S = 0.2010   R-Sq = 4.82%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.3635  0.1100    (------------------*-----------------)
2      2  0.2941  0.2912  (-----------------*-----------------)
3      2  0.3603  0.1560    (-----------------*-----------------)
                          ------+---------+---------+---------+---
                              0.00      0.25      0.50      0.75

Pooled StDev = 0.2010
```

ภาพที่ ข.12 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.12 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.929 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

1. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 10-10 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.2 คือ 10-10

ตารางที่ ข.4 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.2

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10

5. **การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา** Set 3.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet3_1 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.000037	0.000018	0.02	0.979
Error	3	0.002608	0.000869		
Total	5	0.002645			

S = 0.02949 R-Sq = 1.39% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.11825	0.03345	(----------*----------)
2	2	0.11450	0.00863	(----------*----------)
3	2	0.12050	0.03762	(----------*----------)

0.070 0.105 0.140 0.175

Pooled StDev = 0.02949

ภาพที่ ข.13 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.13 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.979 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

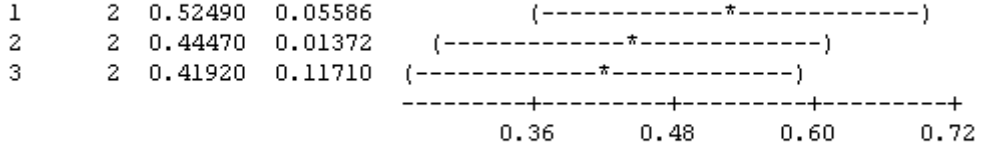
One-way ANOVA: SpreadSet3_1 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.01217	0.00608	1.07	0.445
Error	3	0.01702	0.00567		
Total	5	0.02919			

S = 0.07532 R-Sq = 41.69% R-Sq(adj) = 2.82%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.52490	0.05586
2	2	0.44470	0.01372
3	2	0.41920	0.11710

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.07532

ภาพที่ ข.14 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.14 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.445 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0228  0.0114  0.42  0.689
Error            3  0.0808  0.0269
Total            5  0.1036

S = 0.1641   R-Sq = 21.99%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.3132  0.2335   (--------------*-------------)
2      2  0.4331  0.1207         (-------------*--------------)
3      2  0.2939  0.1082  (--------------*--------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                           0.00      0.25      0.50      0.75

Pooled StDev = 0.1641
```

ภาพที่ ข.15 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.15 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.689 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 10-10 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.1 คือ 10-10

ตารางที่ ข.5 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.1

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10

6. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet3_2 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.001465	0.000733	1.64	0.330
Error	3	0.001339	0.000446		
Total	5	0.002804			

S = 0.02112 R-Sq = 52.26% R-Sq(adj) = 20.43%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.06655	0.01223	(----------*----------)
2	2	0.09980	0.01626	(----------*----------)
3	2	0.09960	0.03041	(----------*----------)
				0.035 0.070 0.105 0.140

Pooled StDev = 0.02112

ภาพที่ ข.16 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.16 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.330 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet3_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00452  0.00226  1.67  0.326
Error            3  0.00407  0.00136
Total            5  0.00859

S = 0.03682   R-Sq = 52.64%   R-Sq(adj) = 21.07%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.53045  0.03995            (------------*-------------)
2      2  0.51500  0.04921          (-------------*-------------)
3      2  0.46605  0.00700  (-------------*------------)
                                ------+---------+---------+---------+---
                                    0.420     0.480     0.540     0.600

Pooled StDev = 0.03682
```

ภาพที่ ข.17 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.17 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.326 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.03390  0.01695  2.26  0.252
Error            3  0.02247  0.00749
Total            5  0.05638

S = 0.08655   R-Sq = 60.14%   R-Sq(adj) = 33.57%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.44780  0.03224             (------------*------------)
2      2  0.26395  0.12579  (------------*------------)
3      2  0.34705  0.07488       (------------*------------)
                               -----+---------+---------+---------+----
                                  0.15      0.30      0.45      0.60

Pooled StDev = 0.08655
```

ภาพที่ ข.18 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.18 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.252 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

7. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 5-20 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.2 คือ 5-20

ตารางที่ ข.6 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.2

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 5
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 20

7. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet4_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00080  0.00040  0.14  0.878
Error            3  0.00884  0.00295
Total            5  0.00965

S = 0.05429   R-Sq = 8.33%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.12060  0.02376      (-----------------*-----------------)
2      2  0.09290  0.06774  (-----------------*-----------------)
3      2  0.11195  0.06074     (-----------------*-----------------)
                              ----+---------+---------+---------+-----
                                0.000     0.070     0.140     0.210

Pooled StDev = 0.05429
```

ภาพที่ ข.19 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.19 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.878 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

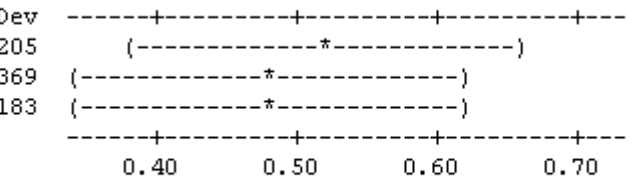
One-way ANOVA: SpreadSet4_1 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.00247	0.00123	0.32	0.746
Error	3	0.01147	0.00382		
Total	5	0.01394			

S = 0.06183 R-Sq = 17.71% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.52195	0.00205
2	2	0.47985	0.09369
3	2	0.47805	0.05183

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.06183

ภาพที่ ข.20 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.20 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.746 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0084  0.0042  0.05  0.949
Error            3  0.2391  0.0797
Total            5  0.2475

S = 0.2823   R-Sq = 3.41%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---------+---------+---------+---------+
1      2  0.3269  0.0933  (-----------------*-----------------)
2      2  0.3975  0.3601    (-----------------*-----------------)
3      2  0.3113  0.3173  (-----------------*-----------------)
                          ---------+---------+---------+---------+
                                 0.00      0.35      0.70      1.05

Pooled StDev = 0.2823
```

ภาพที่ ข.21 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.21 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.949 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 4-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.1 คือ 4-25

ตารางที่ ข.7 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา 4.1

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 4
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 25

8. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

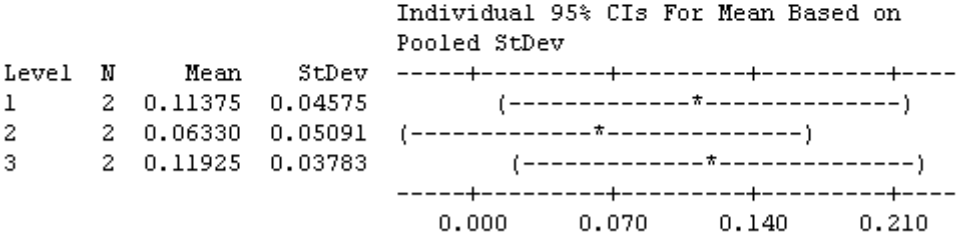
One-way ANOVA: ConvergenSet4_2 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.00380	0.00190	0.93	0.484
Error	3	0.00612	0.00204		
Total	5	0.00992			

S = 0.04515 R-Sq = 38.35% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.11375	0.04575	(-------------*-------------)
2	2	0.06330	0.05091	(-------------*-------------)
3	2	0.11925	0.03783	(-------------*-------------)

Pooled StDev = 0.04515



ภาพที่ ข.22 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.22 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.484 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet4_2 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.01232	0.00616	2.25	0.253
Error	3	0.00823	0.00274		
Total	5	0.02055			

S = 0.05236 R-Sq = 59.97% R-Sq(adj) = 33.28%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.44400	0.05063
2	2	0.55500	0.05303
3	2	0.49925	0.05339

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
-------+---------+---------+---------+--
(-----------*-----------)
           (-----------*-----------)
      (-----------*-----------)
-------+---------+---------+---------+--
     0.40      0.50      0.60      0.70
```

Pooled StDev = 0.05236

ภาพที่ ข.23 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.23 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.253 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_2 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.1221	0.0610	1.07	0.447
Error	3	0.1719	0.0573		
Total	5	0.2939			

S = 0.2393 R-Sq = 41.53% R-Sq(adj) = 2.55%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.2684	0.1775	(----------*----------)
2	2	0.5372	0.3312	(----------*----------)
3	2	0.2095	0.1751	(----------*----------)

0.00 0.40 0.80 1.20

Pooled StDev = 0.2393

ภาพที่ ข.24 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.24 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.447 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 4-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.2 คือ 4-25

ตารางที่ ข.8 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.2

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 4
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 25

9. **การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา** Set 5.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet5_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF         SS         MS  F  P
Swarm-Particle   2  0.0000947  0.0000474  *  *
Error            3  0.0000000  0.0000000
Total            5  0.0000947

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

                                 Individual 95% CIs For Mean Based on
                                 Pooled StDev
Level  N       Mean      StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.0662000  0.0000000  *
2      2  0.0750000  0.0000000                                       *
3      2  0.0670000  0.0000000     *
                                 -----+---------+---------+---------+----
                                    0.0675    0.0700    0.0725    0.0750

Pooled StDev = 0.0000000
```

ภาพที่ ข.25 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.25 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet5_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF         SS         MS  F  P
Swarm-Particle   2  0.0006167  0.0003083  *  *
Error            3  0.0000000  0.0000000
Total            5  0.0006167

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


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.550200  0.000000  *
2      2  0.550800  0.000000   *
3      2  0.572000  0.000000                                      *
                              ---+---------+---------+---------+------
                               0.5520    0.5580    0.5640    0.5700

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.26 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.26 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

One-way ANOVA: RatioSet5_1 versus Swarm-Particle

```
Source          DF         SS         MS  F  P
Swarm-Particle   2  0.0005122  0.0002561  *  *
Error            3  0.0000000  0.0000000
Total            5  0.0005122

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


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.352900  0.000000                                       *
2      2  0.333300  0.000000  *
3      2  0.352900  0.000000                                       *
                                ---+---------+---------+---------+------
                                 0.3350    0.3400    0.3450    0.3500

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.27 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.27 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 10-10 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.1 คือ 10-10

ตารางที่ ข.9 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.1

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10

10. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet5_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF        SS        MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.001297  0.000648  0.69  0.568
Error            3  0.002827  0.000942
Total            5  0.004124

S = 0.03070   R-Sq = 31.45%   R-Sq(adj) = 0.00%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.07105  0.03741    (-------------*-------------)
2      2  0.07010  0.03649    (-------------*-------------)
3      2  0.10175  0.00983           (-------------*-------------)
                              +---------+---------+---------+---------
                             0.000     0.050     0.100     0.150

Pooled StDev = 0.03070
```

ภาพที่ ข.28 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.28 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.568 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet5_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF       SS       MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.00396  0.00198  0.28  0.776
Error            3  0.02151  0.00717
Total            5  0.02547

S = 0.08467   R-Sq = 15.55%   R-Sq(adj) = 0.00%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.54695  0.04575    (---------------*--------------)
2      2  0.59220  0.11073       (---------------*---------------)
3      2  0.53170  0.08457  (---------------*---------------)
                                --+---------+---------+---------+-------
                                0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.08467
```

ภาพที่ ข.29 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.29 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.776 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet5_2 versus Swarm-Particle

```
Source          DF      SS      MS     F      P
Swarm-Particle   2  0.0236  0.0118  0.31  0.753
Error            3  0.1132  0.0377
Total            5  0.1368

S = 0.1942   R-Sq = 17.25%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.3849  0.2551      (--------------*-------------)
2      2  0.3700  0.2159      (--------------*--------------)
3      2  0.2450  0.0391  (--------------*--------------)
                          ------+---------+---------+---------+---
                              0.00      0.30      0.60      0.90

Pooled StDev = 0.1942
```

ภาพที่ ข.30 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.30 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.753 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 10-10 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.2 คือ 10-10

ตารางที่ ข.10 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.2

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 10

11. การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 6

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet6 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.00242	0.00121	0.65	0.581
Error	3	0.00555	0.00185		
Total	5	0.00796			

S = 0.04301 R-Sq = 30.33% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.06820	0.04002	(----------*----------)
2	2	0.09770	0.06025	(----------*----------)
3	2	0.11700	0.01782	(----------*----------)

0.000 0.070 0.140 0.210

Pooled StDev = 0.04301

ภาพที่ ข.31 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.31 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.581 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

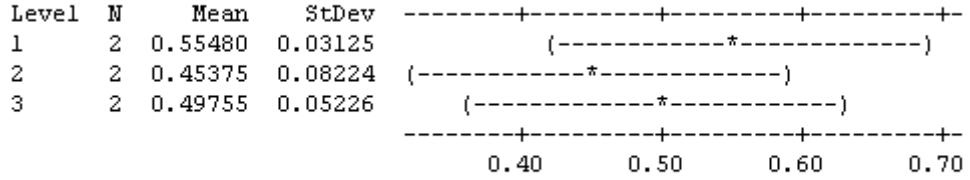
One-way ANOVA: SpreadSet6 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.01027	0.00514	1.47	0.359
Error	3	0.01047	0.00349		
Total	5	0.02074			

S = 0.05908 R-Sq = 49.52% R-Sq(adj) = 15.87%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.55480	0.03125
2	2	0.45375	0.08224
3	2	0.49755	0.05226

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.05908

ภาพที่ ข.32 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.32 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.359 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet6 versus Swarm-Particle

Source	DF	SS	MS	F	P
Swarm-Particle	2	0.0342	0.0171	0.32	0.750
Error	3	0.1613	0.0538		
Total	5	0.1955			

S = 0.2319 R-Sq = 17.49% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.4401	0.2842	(----------*----------)
2	2	0.2776	0.2838	(----------*----------)
3	2	0.2823	0.0004	(----------*----------)
				0.00 0.35 0.70 1.05

Pooled StDev = 0.2319

ภาพที่ ข.33 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.33 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.750 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 5-20 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 6 คือ 5-20

ตารางที่ ข.11 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 6

ระดับปัจจัย	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
จำนวนฝูง และจำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	จำนวนฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 5
	จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูงที่เหมาะสมเท่ากับ 20

1.2 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์

ของแต่ละปัญหาการทดลองในแต่ละปัญหา 11 ปัญหาของ DPSO ดังนี้

ตารางที่ ข.12 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ DPSO

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
1	1.1	1	(10)-(10)	0.1497	0.4962	0.2778
2	1.1	2	(10)-(10)	0.0648	0.4384	0.8667
3	1.1	1	(5)-(20)	0.1074	0.4565	0.5000
4	1.1	2	(5)-(20)	0.1142	0.4442	0.4000
5	1.1	1	(4)-(25)	0.1138	0.5066	0.3889
6	1.1	2	(4)-(25)	0.2178	0.3964	0.0667
7	1.2	1	(10)-(10)	0.1051	0.4915	0.6667
8	1.2	2	(10)-(10)	0.1735	0.5398	0.4667
9	1.2	1	(5)-(20)	0.2263	0.3866	0.1667
10	1.2	2	(5)-(20)	0.1422	0.4277	0.4667
11	1.2	1	(4)-(25)	0.1471	0.4572	0.4167
12	1.2	2	(4)-(25)	0.2017	0.4249	0.2667
13	2.1	1	(10)-(10)	0.0660	0.451	0.6087
14	2.1	2	(10)-(10)	0.1214	0.5155	0.3333
15	2.1	1	(5)-(20)	0.1251	0.3989	0.1739
16	2.1	2	(5)-(20)	0.0974	0.5075	0.3704
17	2.1	1	(4)-(25)	0.1272	0.582	0.2609
18	2.1	2	(4)-(25)	0.0761	0.5271	0.4074
No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
19	2.2	1	(10)-(10)	0.0995	0.5327	0.2857
20	2.2	2	(10)-(10)	0.0692	0.3722	0.4412
21	2.2	1	(5)-(20)	0.0769	0.5561	0.5000
22	2.2	2	(5)-(20)	0.1800	0.5058	0.0882
23	2.2	1	(4)-(25)	0.1302	0.4755	0.2500
24	2.2	2	(4)-(25)	0.0622	0.5389	0.4706

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
25	3.1	1	(10)-(10)	0.1419	0.4854	0.1481
26	3.1	2	(10)-(10)	0.0946	0.5644	0.4783
27	3.1	1	(5)-(20)	0.1084	0.4350	0.5185
28	3.1	2	(5)-(20)	0.1206	0.4544	0.3478
29	3.1	1	(4)-(25)	0.0939	0.5020	0.3704
30	3.1	2	(4)-(25)	0.1471	0.3364	0.2174
31	3.2	1	(10)-(10)	0.0752	0.5587	0.4250
32	3.2	2	(10)-(10)	0.0579	0.5022	0.4706
33	3.2	1	(5)-(20)	0.1113	0.4802	0.1750
34	3.2	2	(5)-(20)	0.0883	0.5498	0.3529
35	3.2	1	(4)-(25)	0.0781	0.4611	0.4000
36	3.2	2	(4)-(25)	0.1211	0.4710	0.2941
37	4.1	1	(10)-(10)	0.1038	0.5234	0.3929
38	4.1	2	(10)-(10)	0.1374	0.5205	0.2609
39	4.1	1	(5)-(20)	0.1408	0.5461	0.1429
40	4.1	2	(5)-(20)	0.0450	0.4136	0.6522
41	4.1	1	(4)-(25)	0.0690	0.4414	0.5357
42	4.1	2	(4)-(25)	0.1549	0.5147	0.0870
43	4.2	1	(10)-(10)	0.1461	0.4798	0.1429
44	4.2	2	(10)-(10)	0.0814	0.4082	0.3939
45	4.2	1	(5)-(20)	0.0273	0.5175	0.7714
46	4.2	2	(5)-(20)	0.0993	0.5925	0.3030
47	4.2	1	(4)-(25)	0.1460	0.4615	0.0857
48	4.2	2	(4)-(25)	0.0925	0.537	0.3333
49	5.1	1	(10)-(10)	0.0662	0.5502	0.3529
50	5.1	2	(10)-(10)	0.0662	0.5502	0.3529
51	5.1	1	(5)-(20)	0.0750	0.5508	0.3333
52	5.1	2	(5)-(20)	0.0750	0.5508	0.3333
53	5.1	1	(4)-(25)	0.0670	0.5720	0.3529
54	5.1	2	(4)-(25)	0.0670	0.5720	0.3529
55	5.2	1	(10)-(10)	0.0446	0.5793	0.5652

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
56	5.2	2	(10)-(10)	0.0975	0.5146	0.2045
57	5.2	1	(5)-(20)	0.0959	0.5139	0.2174
58	5.2	2	(5)-(20)	0.0443	0.6705	0.5227
59	5.2	1	(4)-(25)	0.1087	0.5915	0.2174
60	5.2	2	(4)-(25)	0.0948	0.4719	0.2727
61	6	1	(10)-(10)	0.0965	0.5769	0.2391
62	6	2	(10)-(10)	0.0399	0.5327	0.641
63	6	1	(5)-(20)	0.0551	0.5119	0.4783
64	6	2	(5)-(20)	0.1403	0.3956	0.0769
65	6	1	(4)-(25)	0.1044	0.4606	0.2826
66	6	2	(4)-(25)	0.1296	0.5345	0.2821

5.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบการกระจายของสิ่งมีชีวิตตามภูมิศาสตร์ (BBO) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ ลักษณะของรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย ที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยแบ่งลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายออกเป็น 2 ลักษณะคือ แบบ Linear กับ แบบ Sinusoidal โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายที่กำหนดข้างต้น

1.5 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม

5.5.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet1_1 versus BBO

```
Source  DF         SS         MS  F  P
BBO      1  0.1189560  0.1189560  *  *
Error    2  0.0000000  0.0000000
Total    3  0.1189560

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

                                 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.344900  0.000000                                      *
2      2  0.000000  0.000000    *
                                 +---------+---------+---------+---------
                                0.00      0.10      0.20      0.30

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.33 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.33 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet1_1 versus BBO

```
Source  DF         SS         MS  F  P
BBO      1  0.0030802  0.0030802  *  *
Error    2  0.0000000  0.0000000
Total    3  0.0030802

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

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.666700  0.000000                                      *
2      2  0.611200  0.000000  *
                                ---+---------+---------+---------+------
                                 0.615     0.630     0.645     0.660

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.34 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.34 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet1_1 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.2500000	0.2500000	*	*
Error	2	0.0000000	0.0000000		
Total	3	0.2500000			

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

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.50000	0.00000	*
2	2	1.00000	0.00000	*

0.60 0.75 0.90 1.05

Pooled StDev = 0.00000

ภาพที่ ข.35 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.35 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายแบบ Linear ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.1 คือ Linear

ตารางที่ ข.12 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

5.5.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet1_2 versus BBO

```
Source  DF       SS       MS      F      P
BBO      1  0.10524  0.10524  36.25  0.026
Error    2  0.00581  0.00290
Total    3  0.11104

S = 0.05388   R-Sq = 94.77%   R-Sq(adj) = 92.16%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.33850  0.07354                (-------*-------)
2      2  0.01410  0.01994  (-------*-------)
                              -------+---------+---------+---------+--
                                   0.00      0.20      0.40      0.60

Pooled StDev = 0.05388
```

ภาพที่ ข.36 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.36 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.026 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.2 คือ Sinusoidal

ตารางที่ ข.13 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Sinusoidal

5.5.3 **การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา** Set 2.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_1 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.02362	0.02362	9.04	0.095
Error	2	0.00523	0.00261		
Total	3	0.02885			

S = 0.05113 R-Sq = 81.88% R-Sq(adj) = 72.81%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.20915	0.05735	(----------*----------)
2	2	0.05545	0.04405	(----------*----------)

0.00 0.12 0.24 0.36

Pooled StDev = 0.05113

ภาพที่ ข.37 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.37 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.095 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet2_1 versus BBO

```
Source  DF       SS       MS     F      P
BBO      1  0.00497  0.00497  1.68  0.324
Error    2  0.00592  0.00296
Total    3  0.01089

S = 0.0544   R-Sq = 45.64%   R-Sq(adj) = 18.47%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.49590  0.07693  (------------*-------------)
2      2  0.56640  0.00000       (-------------*-------------)
                           --+---------+---------+---------+-------
                           0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.05440
```

ภาพที่ ข.38 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.38 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.324 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet2_1 versus BBO

```
Source  DF       SS       MS      F      P
BBO      1  0.10949  0.10949  26.44  0.036
Error    2  0.00828  0.00414
Total    3  0.11778

S = 0.06436   R-Sq = 92.97%   R-Sq(adj) = 89.45%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.35540  0.08669  (---------*---------)
2      2  0.68630  0.02772                   (---------*---------)
                              --+---------+---------+---------+-------
                              0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.06436
```

ภาพที่ ข.39 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.39 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.036 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเข้า 1 ที่ ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.1 คือ Sinusoidal

ตารางที่ ข.14 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Sinusoidal

5.5.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_2 versus BBO

```
Source  DF         SS         MS       F      P
BBO      1  0.0046649  0.0046649  106.64  0.009
Error    2  0.0000875  0.0000437
Total    3  0.0047524

S = 0.006614   R-Sq = 98.16%   R-Sq(adj) = 97.24%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.10695  0.00728                       (------*-----)
2      2  0.03865  0.00587  (------*------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                            0.030     0.060     0.090     0.120

Pooled StDev = 0.0066l
```

ภาพที่ ข.40 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.36 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.009 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.2 คือ Sinusoidal

ตารางที่ ข.15 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Sinusoidal

5.5.5 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

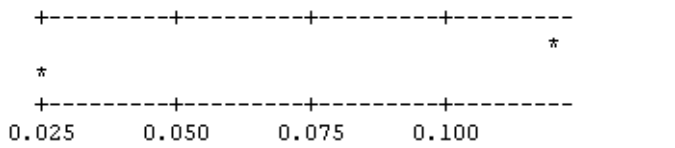
One-way ANOVA: ConvergenSet3_1 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.0089114	0.0089114	*	*
Error	2	0.0000000	0.0000000		
Total	3	0.0089114			

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

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.120300	0.000000
2	2	0.025900	0.000000

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.000000

ภาพที่ ข.41 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.41 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet3_1 versus BBO

```
Source  DF         SS         MS  F  P
BBO      1  0.0185504  0.0185504  *  *
Error    2  0.0000000  0.0000000
Total    3  0.0185504

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

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.580800  0.000000                                        *
2      2  0.444600  0.000000  *
                                ---+---------+---------+---------+------
                                 0.455     0.490     0.525     0.560

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.42 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.42 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_1 versus BBO

```
Source  DF         SS         MS  F  P
BBO      1  0.1110889  0.1110889  *  *
Error    2  0.0000000  0.0000000
Total    3  0.1110889

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

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.388900  0.000000   *
2      2  0.722200  0.000000                                      *
                                -+---------+---------+---------+--------
                               0.40      0.50      0.60      0.70

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.43 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.43 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายแบบ Linear ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.1 คือ Linear

ตารางที่ ข.16 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

5.5.6 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet3_2 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS     F      P
BBO      1  0.001384  0.001384  3.28  0.212
Error    2  0.000843  0.000421
Total    3  0.002227

S = 0.02053   R-Sq = 62.15%   R-Sq(adj) = 43.23%

                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.08940  0.02772         (------------*-----------)
2      2  0.05220  0.00863  (-----------*-----------)
                           --+---------+---------+---------+-------
                           0.000     0.050     0.100     0.150

Pooled StDev = 0.02053
```

ภาพที่ ข.44 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.44 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.212 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet3_2 versus BBO

```
Source  DF       SS       MS     F      P
BBO      1  0.00013  0.00013  0.03  0.872
Error    2  0.00806  0.00403
Total    3  0.00820

S = 0.0635   R-Sq = 1.64%   R-Sq(adj) = 0.00%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.52510  0.00000  (--------------------*-------------------)
2      2  0.53670  0.08980   (--------------------*-------------------)
                           -------+---------+---------+---------+--
                                0.40      0.50      0.60      0.70

Pooled StDev = 0.06350
```

ภาพที่ ข.45 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.45 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.872 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_2 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS        F      P
BBO      1  0.266256  0.266256  2080.13  0.000
Error    2  0.000256  0.000128
Total    3  0.266512

S = 0.01131   R-Sq = 99.90%   R-Sq(adj) = 99.86%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.24200  0.01131  (-*-)
2      2  0.75800  0.01131                                  (--*-)
                              ------+---------+---------+---------+---
                                  0.30      0.45      0.60      0.75

Pooled StDev = 0.01131
```

ภาพที่ ข.46 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.46 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.2 คือ Sinusoidal

ตารางที่ ข.17 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Sinusoidal

5.5.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet4_1 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS     F      P
BBO      1  0.000030  0.000030  0.06  0.833
Error    2  0.001038  0.000519
Total    3  0.001067

S = 0.02278   R-Sq = 2.78%   R-Sq(adj) = 0.00%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   +---------+---------+---------+---------
1      2  0.06815  0.00403   (-----------------*-----------------)
2      2  0.07360  0.03196     (-----------------*-----------------)
                           +---------+---------+---------+---------
                          0.000     0.040     0.080     0.120

Pooled StDev = 0.02278
```

ภาพที่ ข.47 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.47 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.833 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet4_1 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.001332	0.001332	2.86	0.233
Error	2	0.000933	0.000467		
Total	3	0.002265			

S = 0.0216 R-Sq = 58.81% R-Sq(adj) = 38.21%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.51590	0.00000	(------------*------------)
2	2	0.47940	0.03055	(------------*------------)

0.450 0.500 0.550 0.600

Pooled StDev = 0.02160

ภาพที่ ข.48 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.48 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.233 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_1 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS      F      P
BBO      1  0.012277  0.012277  33.78  0.028
Error    2  0.000727  0.000363
Total    3  0.013003

S = 0.01906   R-Sq = 94.41%   R-Sq(adj) = 91.62%

                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.56275  0.00559                    (---------*--------)
2      2  0.45195  0.02638  (--------*---------)
                            ----+---------+---------+---------+-----
                              0.420     0.480     0.540     0.600

Pooled StDev = 0.01906
```

ภาพที่ ข.49 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.49 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.028 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Linear จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.1 คือ Linear

ตารางที่ ข.18 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

5.5.8 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet4_2 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS     F      P
BBO      1  0.001802  0.001802  1.82  0.310
Error    2  0.001981  0.000991
Total    3  0.003783

S = 0.03148   R-Sq = 47.63%   R-Sq(adj) = 21.44%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.06525  0.01662  (---------------*---------------)
2      2  0.10770  0.04130         (---------------*---------------)
                              -----+---------+---------+---------+----
                                 0.000     0.060     0.120     0.180

Pooled StDev = 0.03148
```

ภาพที่ ข.50 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.50 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.310 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet4_2 versus BBO

```
Source  DF       SS       MS     F      P
BBO      1  0.04312  0.04312  7.40  0.113
Error    2  0.01166  0.00583
Total    3  0.05478

S = 0.07635   R-Sq = 78.72%   R-Sq(adj) = 68.07%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.63680  0.00000              (-----------*----------)
2      2  0.42915  0.10798    (----------*-----------)
                              +---------+---------+---------+---------
                            0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.07635
```

ภาพที่ ข.51 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.51 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.113 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_2 versus BBO

```
Source  DF      SS      MS     F      P
BBO      1  0.0838  0.0838  1.52  0.343
Error    2  0.1102  0.0551
Total    3  0.1940

S = 0.2347   R-Sq = 43.21%   R-Sq(adj) = 14.81%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.6647  0.2047        (-------------*--------------)
2      2  0.3753  0.2613  (--------------*-------------)
                          -------+---------+---------+---------+--
                               0.00      0.50      1.00      1.50

Pooled StDev = 0.2347
```

ภาพที่ ข.52 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.52 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.343 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายแบบ Linear ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.2 คือ Linear

ตารางที่ ข.19 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

5.5.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet5_1 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS      F      P
BBO      1  0.025186  0.025186  72.80  0.013
Error    2  0.000692  0.000346
Total    3  0.025878

S = 0.0186   R-Sq = 97.33%   R-Sq(adj) = 95.99%

                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      2  0.15870  0.02630                      (-------*-------)
2      2  0.00000  0.00000  (-------*-------)
                           --------+---------+---------+---------+-
                                 0.000     0.070     0.140     0.210

Pooled StDev = 0.01860
```

ภาพที่ ข.53 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.53 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.013 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.1 คือ Sinusoidal

ตารางที่ ข.20 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Sinusoidal

5.5.10 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet5_2 versus BBO

```
Source  DF        SS        MS     F      P
BBO      1  0.004617  0.004617  6.22  0.130
Error    2  0.001486  0.000743
Total    3  0.006103

S = 0.02725   R-Sq = 75.66%   R-Sq(adj) = 63.48%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.07730  0.03691             (-------------*-------------)
2      2  0.00935  0.01110   (-------------*------------)
                              --+---------+---------+---------+-------
                             -0.060     0.000     0.060     0.120

Pooled StDev = 0.02725
```

ภาพที่ ข.54 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.54 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.130 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet5_2 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.000059	0.000059	0.08	0.806
Error	2	0.001524	0.000762		
Total	3	0.001583			

S = 0.0276 R-Sq = 3.75% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.55650	0.03903	(---------------*----------------)
2	2	0.56420	0.00000	(----------------*----------------)
				0.500 0.550 0.600 0.650

Pooled StDev = 0.02760

ภาพที่ ข.55 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.55 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.806 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet5_2 versus BBO

```
Source  DF      SS      MS      F      P
BBO      1  0.4517  0.4517  12.37  0.072
Error    2  0.0731  0.0365
Total    3  0.5248

S = 0.1911   R-Sq = 86.08%   R-Sq(adj) = 79.12%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      2  0.1639  0.1911  (----------*----------)
2      2  0.8360  0.1911               (----------*----------)
                          --------+---------+---------+---------+-
                                0.00      0.50      1.00      1.50

Pooled StDev = 0.1911
```

ภาพที่ ข.56 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.56 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.072 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายแบบ Linear ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.1 คือ Linear

ตารางที่ ข.21 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

5.5.11 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 6

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet6 versus BBO

Source	DF	SS	MS	F	P
BBO	1	0.44649	0.44649	141.15	0.007
Error	2	0.00633	0.00316		
Total	3	0.45282			

S = 0.05624 R-Sq = 98.60% R-Sq(adj) = 97.90%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.00465	0.00658	(-----*-----)
2	2	0.67285	0.07927	(----*-----)

0.00 0.30 0.60 0.90

Pooled StDev = 0.05624

ภาพที่ ข.57 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.57 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.007 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่ารูปแบบการอพยพเคลื่อนย้ายมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงมีค่าเข้าใกล้ 0 ที่ลักษณะรูปแบบการอพยพแบบ Sinusoidal จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 6 คือ Linear

ตารางที่ ข.22 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 6

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ลักษณะรูปแบบการอพยพเคลื่อนย้าย	Linear

ตารางที่ ข.23 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ BBO

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
1	1.1	1	Linear	0.3449	0.6667	0.5000
2	1.1	1	Sinusoidal	0.0000	0.6112	1.0000
3	1.1	2	Linear	0.3449	0.6667	0.5000
4	1.1	2	Sinusoidal	0.0000	0.6112	1.0000
5	1.2	1	Linear	0.2865	0.5340	0.5000
6	1.2	1	Sinusoidal	0.0000	0.4479	1.0000
7	1.2	2	Linear	0.3905	0.634	0.3333
8	1.2	2	Sinusoidal	0.0282	0.4469	0.7778
9	2.1	1	Linear	0.2497	0.4415	0.2941
10	2.1	1	Sinusoidal	0.0866	0.5664	0.7059

ตารางที่ ข.24 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ BBO (ต่อ)

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
11	2.1	2	Linear	0.1686	0.5503	0.4167
12	2.1	2	Sinusoidal	0.0243	0.5664	0.6667
13	2.2	1	Linear	0.1018	0.4412	0.3333
14	2.2	1	Sinusoidal	0.0428	0.5564	0.6944
15	2.2	2	Linear	0.1121	0.4466	0.1500
16	2.2	2	Sinusoidal	0.0345	0.5064	0.8500
17	3.1	1	Linear	0.1203	0.5808	0.3889
18	3.1	1	Sinusoidal	0.0259	0.4446	0.7222
19	3.1	2	Linear	0.1203	0.5808	0.3889
20	3.1	2	Sinusoidal	0.0259	0.4446	0.7222
21	3.2	1	Linear	0.0698	0.5251	0.2500
22	3.2	1	Sinusoidal	0.0583	0.6002	0.7500
23	3.2	2	Linear	0.1090	0.5251	0.2340
24	3.2	2	Sinusoidal	0.0461	0.4732	0.7660
25	4.1	1	Linear	0.0653	0.5159	0.5667
26	4.1	1	Sinusoidal	0.0962	0.4578	0.4333
27	4.1	2	Linear	0.0710	0.5159	0.5588

ตารางที่ ข.25 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ BBO (ต่อ)

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
28	4.1	2	Sinusoidal	0.0510	0.5010	0.4706
29	4.2	1	Linear	0.0770	0.6368	0.5200
30	4.2	1	Sinusoidal	0.0785	0.3528	0.5600
31	4.2	2	Linear	0.0535	0.6368	0.8095
32	4.2	2	Sinusoidal	0.1369	0.5055	0.1905
33	5.1	1	Linear	0.1401	0.6109	0.0000
34	5.1	1	Sinusoidal	0.0000	0.5898	1.0000
35	5.1	2	Linear	0.1773	0.4816	0.0000
36	5.1	2	Sinusoidal	0.0000	0.5898	1.0000
37	5.2	1	Linear	0.0512	0.5841	0.2991
38	5.2	1	Sinusoidal	0.0172	0.5642	0.7009
39	5.2	2	Linear	0.1034	0.5289	0.0288
40	5.2	2	Sinusoidal	0.0015	0.5642	0.9712
41	6	1	Linear	0.0000	0.5607	1.0000
42	6	1	Sinusoidal	0.7289	0.6352	0.0000
43	6	2	Linear	0.0093	0.5756	0.9864
44	6	2	Sinusoidal	0.6168	0.5542	0.0136

5.6 **วิธีการบรรจวบ** (COIN)

วิธีการบรรจวบ (COIN) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ ความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยแบ่งความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นร่วมออกเป็น 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 เท่ากับ 0.100 คือ จะใช้ค่าความน่าจะเป็นที่ 0.100 ในการให้รางวัล (Reward) หรือลงโทษ (Punish) สำหรับคำตอบที่ดีและไม่ดี ระดับที่ 2 เท่ากับ 0.125 และระดับที่ 3 เท่ากับ 0.150 โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดข้างต้น

1.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม

1.6.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenceSet1_1 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.0327	0.0163	0.97	0.475
Error	3	0.0508	0.0169		
Total	5	0.0835			

S = 0.1301 R-Sq = 39.16% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.1478	0.2090	(----------*----------)
2	2	0.1641	0.0842	(----------*----------)
3	2	0.0000	0.0000	(----------*----------)

-0.20 0.00 0.20 0.40

Pooled StDev = 0.1301

ภาพที่ ข.58 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.58 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.475 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

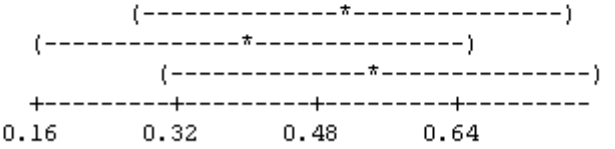
One-way ANOVA: Spread versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.0219	0.0109	0.89	0.497
Error	3	0.0368	0.0123		
Total	5	0.0586			

S = 0.1107 R-Sq = 37.29% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.5185	0.0972
2	2	0.4070	0.0675
3	2	0.5468	0.1508

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.1107

ภาพที่ ข.59 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.59 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.497 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Ratio versus Prob

```
Source  DF     SS     MS     F      P
Prob     2  0.633  0.316  1.60  0.336
Error    3  0.592  0.197
Total    5  1.224

S = 0.4442   R-Sq = 51.67%   R-Sq(adj) = 19.44%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev    -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.5000  0.7071        (-------------*-------------)
2      2  0.2143  0.3031    (-------------*-------------)
3      2  1.0000  0.0000                (-------------*--------------)
                           -+---------+---------+---------+--------
                         -0.70      0.00      0.70      1.40

Pooled StDev = 0.4442
```

ภาพที่ ข.60 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.60 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.336 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 0.150 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.1 คือ 0.150

ตารางที่ ข.26 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.150

4.5.2 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 1.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet1_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.0041	0.0021	0.07	0.934
Error	3	0.0893	0.0298		
Total	5	0.0934			

S = 0.1725 R-Sq = 4.43% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.2024	0.2863	(---------*---------)
2	2	0.2551	0.0688	(---------*---------)
3	2	0.2609	0.0508	(---------*---------)
				0.00 0.25 0.50 0.75

Pooled StDev = 0.1725

ภาพที่ ข.61 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.61 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.934 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet1_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.00939	0.00470	0.50	0.652
Error	3	0.02846	0.00949		
Total	5	0.03785			

S = 0.09740 R-Sq = 24.82% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.49045	0.15068	(----------*----------)
2	2	0.39410	0.06081	(----------*----------)
3	2	0.43315	0.04533	(----------*----------)
				0.30 0.45 0.60 0.75

Pooled StDev = 0.09740

ภาพที่ ข.62 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.62 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.652 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet1_2 versus Prob

```
Source  DF     SS     MS     F      P
Prob     2  0.253  0.127  0.73  0.551
Error    3  0.520  0.173
Total    5  0.773

S = 0.4163   R-Sq = 32.76%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.6000  0.5657          (---------------*---------------)
2      2  0.1000  0.1414  (---------------*--------------)
3      2  0.3000  0.4243     (---------------*---------------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                           -0.60      0.00      0.60      1.20

Pooled StDev = 0.4163
```

ภาพที่ ข.63 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.63 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.551 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 0.100 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.2 คือ 0.100

ตารางที่ ข.27 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.100

4.5.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 2.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_1 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.02693	0.01347	1.71	0.320
Error	3	0.02368	0.00789		
Total	5	0.05061			

S = 0.08884 R-Sq = 53.22% R-Sq(adj) = 22.03%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.01780	0.00085	(----------*----------)
2	2	0.04755	0.02029	(----------*----------)
3	2	0.17245	0.15252	(----------*----------)

-0.15 0.00 0.15 0.30

Pooled StDev = 0.08884

ภาพที่ ข.64 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.64 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.320 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet2_1 versus Prob

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Prob     2  0.0022  0.0011  0.10  0.904
Error    3  0.0318  0.0106
Total    5  0.0340

S = 0.1030   R-Sq = 6.51%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.4749  0.1141  (---------------*--------------)
2      2  0.5165  0.1293     (--------------*---------------)
3      2  0.4767  0.0455  (---------------*--------------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                            0.30      0.45      0.60      0.75

Pooled StDev = 0.1030
```

ภาพที่ ข.65 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.65 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.904 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet2_1 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.2893	0.1447	2.71	0.212
Error	3	0.1598	0.0533		
Total	5	0.4491			

S = 0.2308 R-Sq = 64.41% R-Sq(adj) = 40.69%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.8441	0.0029	(----------*----------)
2	2	0.7915	0.0774	(----------*----------)
3	2	0.3543	0.3922	(----------*----------)

0.00 0.40 0.80 1.20

Pooled StDev = 0.2308

ภาพที่ ข.66 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.66 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.212 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 0.150 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.1 คือ 0.150

ตารางที่ ข.28 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.150

4.5.4 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 2.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet2_2 versus Prob

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Prob     2  0.001947  0.000973  1.23  0.406
Error    3  0.002366  0.000789
Total    5  0.004313

S = 0.02809   R-Sq = 45.14%   R-Sq(adj) = 8.56%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.09085  0.02553           (-----------*-----------)
2      2  0.08005  0.03288       (-----------*-----------)
3      2  0.04840  0.02517  (-----------*-----------)
                              ---+---------+---------+---------+------
                               0.000     0.050     0.100     0.150

Pooled StDev = 0.02809
```

ภาพที่ ข.67 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.67 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.406 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet2_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.00236	0.00118	0.23	0.806
Error	3	0.01524	0.00508		
Total	5	0.01759			

S = 0.07126 R-Sq = 13.40% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.48030	0.08188	(---------*---------)
2	2	0.45325	0.06428	(---------*---------)
3	2	0.50170	0.06633	(---------*---------)
				0.30 0.40 0.50 0.60

Pooled StDev = 0.07126

ภาพที่ ข.68 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.68 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.806 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet2_2 versus Prob

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Prob     2  0.0167  0.0083  0.54  0.630
Error    3  0.0461  0.0154
Total    5  0.0628

S = 0.1240   R-Sq = 26.52%   R-Sq(adj) = 0.00%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.5432  0.0274        (-------------*-------------)
2      2  0.4241  0.1957  (-------------*-------------)
3      2  0.4405  0.0841   (-------------*-------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                           0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.1240
```

ภาพที่ ข.69 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.69 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.630 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 0.100 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.2 คือ 0.100

ตารางที่ ข.29 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.100

4.5.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 3.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet3_1 versus Prob

```
Source  DF       SS       MS     F      P
Prob     2  0.00656  0.00328  1.17  0.420
Error    3  0.00837  0.00279
Total    5  0.01493

S = 0.05283   R-Sq = 43.92%   R-Sq(adj) = 6.53%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.02805  0.00841    (--------------*-------------)
2      2  0.08520  0.04455           (--------------*--------------)
3      2  0.10630  0.07948             (--------------*--------------)
                              -+---------+---------+---------+--------
                             -0.080     0.000     0.080     0.160

Pooled StDev = 0.05283
```

ภาพที่ ข.70 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.70 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.420 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet3_1 versus Prob

```
Source  DF       SS       MS     F      P
Prob     2  0.01266  0.00633  5.99  0.090
Error    3  0.00317  0.00106
Total    5  0.01583

S = 0.03250   R-Sq = 79.98%   R-Sq(adj) = 66.64%


                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.47700  0.04016  (---------*----------)
2      2  0.58035  0.03642               (----------*---------)
3      2  0.56720  0.01513              (---------*---------)
                              --+---------+---------+---------+-------
                              0.420     0.490     0.560     0.630

Pooled StDev = 0.03250
```

ภาพที่ ข.71 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.71 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.090 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบจึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_1 versus Prob

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Prob     2  0.0668  0.0334  1.22  0.409
Error    3  0.0819  0.0273
Total    5  0.1487

S = 0.1652   R-Sq = 44.94%   R-Sq(adj) = 8.24%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.6190  0.0674              (--------------*--------------)
2      2  0.3660  0.0127    (--------------*--------------)
3      2  0.4465  0.2778       (--------------*--------------)
                            +---------+---------+---------+---------
                          0.00      0.25      0.50      0.75

Pooled StDev = 0.1652
```

ภาพที่ ข.72 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.72 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.409 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 0.150 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.1 คือ 0.150

ตารางที่ ข.29 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.150

4.5.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 3.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet3_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.0007418	0.0003709	6.05	0.089
Error	3	0.0001839	0.0000613		
Total	5	0.0009257			

S = 0.007829 R-Sq = 80.13% R-Sq(adj) = 66.89%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.045450	0.007566
2	2	0.063050	0.004313
3	2	0.072250	0.010394

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
(----------*----------)
          (----------*----------)
                (----------*----------)
---+---------+---------+---------+------
 0.032     0.048     0.064     0.080
```

Pooled StDev = 0.007829

ภาพที่ ข.73 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.73 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.089 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet3_2 versus Prob

```
Source  DF       SS       MS     F      P
Prob     2  0.00338  0.00169  0.34  0.738
Error    3  0.01511  0.00504
Total    5  0.01849

S = 0.07096   R-Sq = 18.31%   R-Sq(adj) = 0.00%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      2  0.50220  0.04639    (---------------*---------------)
2      2  0.47655  0.05975  (---------------*---------------)
3      2  0.53460  0.09687       (---------------*---------------)
                            --------+---------+---------+---------+-
                                  0.40      0.50      0.60      0.70

Pooled StDev = 0.07096
```

ภาพที่ ข.74 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.74 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.738 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet3_2 versus Prob

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Prob     2  0.0211  0.0105  0.85  0.510
Error    3  0.0372  0.0124
Total    5  0.0583

S = 0.1114   R-Sq = 36.15%   R-Sq(adj) = 0.00%

                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  --------+---------+---------+---------+-
1      2  0.4381  0.0539         (------------*-----------)
2      2  0.2985  0.0828  (------------*-----------)
3      2  0.4029  0.1657        (-----------*------------)
                           --------+---------+---------+---------+-
                                 0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.1114
```

ภาพที่ ข.75 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.75 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.510 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนอง อัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 0.100 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.2 คือ 0.100

ตารางที่ ข.30 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.100

4.5.7 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 4.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet4_1 versus Prob

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Prob     2  0.000610  0.000305  0.91  0.490
Error    3  0.001001  0.000334
Total    5  0.001611

S = 0.01827   R-Sq = 37.87%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.06165  0.02425  (-------------*------------)
2      2  0.08505  0.00191          (------------*-------------)
3      2  0.08020  0.02022        (-------------*------------)
                              ---+---------+---------+---------+------
                               0.030     0.060     0.090     0.120

Pooled StDev = 0.01827
```

ภาพที่ ข.76 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.76 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.490 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet4_1 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.00269	0.00134	0.26	0.789
Error	3	0.01574	0.00525		
Total	5	0.01842			

S = 0.07243 R-Sq = 14.58% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.46850	0.03776	(---------*---------)
2	2	0.51200	0.03281	(---------*---------)
3	2	0.46585	0.11505	(---------*---------)
				0.30 0.40 0.50 0.60

Pooled StDev = 0.07243

ภาพที่ ข.77 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.77 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.789 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_1 versus Prob

```
Source  DF       SS       MS     F      P
Prob     2  0.06074  0.03037  3.50  0.164
Error    3  0.02602  0.00867
Total    5  0.08676

S = 0.09313   R-Sq = 70.01%   R-Sq(adj) = 50.01%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.53820  0.16122            (----------*---------)
2      2  0.48155  0.00460          (---------*----------)
3      2  0.30215  0.00304  (---------*----------)
                              -----+---------+---------+---------+----
                                 0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.09313
```

ภาพที่ ข.78 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.78 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.164 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 0.125 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.1 คือ 0.125

ตารางที่ ข.31 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.125

4.5.8 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 4.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet4_2 versus Prob

```
Source  DF        SS        MS     F      P
Prob     2  0.000160  0.000080  0.20  0.831
Error    3  0.001222  0.000407
Total    5  0.001382

S = 0.02019   R-Sq = 11.58%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.06765  0.00078  (---------------*--------------)
2      2  0.07840  0.00255      (--------------*--------------)
3      2  0.06725  0.03486  (--------------*---------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                           0.030     0.060     0.090     0.120

Pooled StDev = 0.02019
```

ภาพที่ ข.79 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.79 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.831 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet4_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.000350	0.000175	1.00	0.465
Error	3	0.000525	0.000175		
Total	5	0.000876			

S = 0.01323 R-Sq = 39.98% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.50780	0.00269	(----------*----------)
2	2	0.52380	0.02150	(----------*----------)
3	2	0.50740	0.00750	(----------*----------)
				0.480 0.500 0.520 0.540

Pooled StDev = 0.01323

ภาพที่ ข.80 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.80 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.465 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet4_2 versus Prob

```
Source  DF      SS      MS     F      P
Prob     2  0.0801  0.0400  1.52  0.351
Error    3  0.0793  0.0264
Total    5  0.1594

S = 0.1625   R-Sq = 50.26%   R-Sq(adj) = 17.10%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.4776  0.0890           (-----------*-----------)
2      2  0.1961  0.1049  (------------*-----------)
3      2  0.3629  0.2456        (-----------*-----------)
                          ------+---------+---------+---------+---
                              0.00      0.30      0.60      0.90

Pooled StDev = 0.1625
```

ภาพที่ ข.81 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.81 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.351 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 0.150 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.2 คือ 0.150

ตารางที่ ข.32 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.150

4.5.9 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 5.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet5_1 versus Prob

```
Source  DF         SS         MS  F  P
Prob     2  0.0005808  0.0002904  *  *
Error    3  0.0000000  0.0000000
Total    5  0.0005808

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

                                  Individual 95% CIs For Mean Based on
                                  Pooled StDev
Level  N       Mean      StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.0362000  0.0000000       *
2      2  0.0551000  0.0000000                                       *
3      2  0.0327000  0.0000000  *
                                  -----+---------+---------+---------+----
                                     0.0360    0.0420    0.0480    0.0540

Pooled StDev = 0.0000000
```

ภาพที่ ข.82 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.82 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: SpreadSet5_1 versus Prob

```
Source  DF         SS         MS  F  P
Prob     2  0.0001497  0.0000748  *  *
Error    3  0.0000000  0.0000000
Total    5  0.0001497

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

                                 Individual 95% CIs For Mean Based on
                                 Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev    -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.563600  0.000000    *
2      2  0.572300  0.000000                          *
3      2  0.575400  0.000000                                    *
                                 -+---------+---------+---------+--------
                                0.5640    0.5670    0.5700    0.5730

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.83 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.83 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: RatioSet5_1 versus Prob

```
Source  DF         SS         MS  F  P
Prob     2  0.0503094  0.0251547  *  *
Error    3  0.0000000  0.0000000
Total    5  0.0503094

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

                                 Individual 95% CIs For Mean Based on
                                 Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  ------+---------+---------+---------+---
1      2  0.386400  0.000000                            *
2      2  0.204500  0.000000  *
3      2  0.409100  0.000000                                      *
                                 ------+---------+---------+---------+---
                                     0.240     0.300     0.360     0.420

Pooled StDev = 0.000000
```

ภาพที่ ข.84 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.84 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

5. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 0.125 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.1 คือ 0.125

ตารางที่ ข.33 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.125

4.5.10 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 5.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

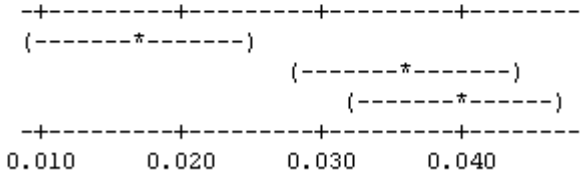
One-way ANOVA: ConvergenSet5_2 versus Prob

Source	DF	SS	MS	F	P
Prob	2	0.0005943	0.0002972	24.38	0.014
Error	3	0.0000366	0.0000122		
Total	5	0.0006309			

S = 0.003491 R-Sq = 94.20% R-Sq(adj) = 90.34%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.016850	0.005445
2	2	0.035900	0.002263
3	2	0.039550	0.001344

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.003491

ภาพที่ ข.85 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.85 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.014 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 1 เท่ากับ 0.100 ดังนั้นปัญหาที่ 5.2 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับที่ 1 เท่ากับ 0.100

ตารางที่ ข.34 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.100

1.5.3 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 6

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: ConvergenSet6 versus Prob

```
Source  DF         SS         MS        F      P
Prob     2  0.0017661  0.0008830  2053.57  0.000
Error    3  0.0000013  0.0000004
Total    5  0.0017674

S = 0.0006557   R-Sq = 99.93%   R-Sq(adj) = 99.88%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.051600  0.001131                                      (*)
2      2  0.013350  0.000071    (*)
3      2  0.047550  0.000071                                (-*)
                                +---------+---------+---------+---------
                               0.012     0.024     0.036     0.048

Pooled StDev = 0.000656
```

ภาพที่ ข.86 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.86 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 2 เท่ากับ 0.125 ดังนั้นปัญหาที่ 6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือระดับที่ 2 เท่ากับ 0.125

ตารางที่ ข.35 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 6

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ค่าความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุง	0.125

ตารางที่ ข.36 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
1	1.1	1	0.100	0.0000	0.5872	1.0000
2	1.1	1	0.125	0.1045	0.3593	0.4286
3	1.1	1	0.150	0.0000	0.4402	1.0000
4	1.1	2	0.100	0.2956	0.4497	0.0000
5	1.1	2	0.125	0.2236	0.4547	0.0000
6	1.1	2	0.150	0.0000	0.6535	1.0000
7	1.2	1	0.100	0.4049	0.3839	0.2000
8	1.2	1	0.125	0.2064	0.3511	0.2000
9	1.2	1	0.150	0.2249	0.4652	0.6000
10	1.2	2	0.100	0.0000	0.5970	1.0000
11	1.2	2	0.125	0.3037	0.4371	0.0000
12	1.2	2	0.150	0.2968	0.4011	0.0000
13	2.1	1	0.100	0.0184	0.3942	0.8421
14	2.1	1	0.125	0.0332	0.4251	0.7368
15	2.1	1	0.150	0.0646	0.4445	0.6316
16	2.1	2	0.100	0.0172	0.5556	0.8462
17	2.1	2	0.125	0.0619	0.6080	0.8462
18	2.1	2	0.150	0.2803	0.5089	0.0769

ตารางที่ ข.37 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
19	2.2	1	0.100	0.1089	0.5382	0.5238
20	2.2	1	0.125	0.1033	0.4078	0.2857
21	2.2	1	0.150	0.0662	0.4548	0.3810
22	2.2	2	0.100	0.0728	0.4224	0.5625
23	2.2	2	0.125	0.0568	0.4987	0.5625
24	2.2	2	0.150	0.0306	0.5486	0.5000

25	3.1	1	0.100	0.0340	0.5054	0.5714
26	3.1	1	0.125	0.0537	0.6061	0.3571
27	3.1	1	0.150	0.0501	0.5565	0.6429

ตารางที่ ข.38 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
28	3.1	2	0.100	0.0221	0.4486	0.6667
29	3.1	2	0.125	0.1167	0.5546	0.3750
30	3.1	2	0.150	0.1625	0.5779	0.2500
31	3.2	1	0.100	0.0401	0.535	0.4000
32	3.2	1	0.125	0.0600	0.5188	0.2400
33	3.2	1	0.150	0.0796	0.6031	0.5200
34	3.2	2	0.100	0.0508	0.4694	0.4762
35	3.2	2	0.125	0.0661	0.4343	0.3571
36	3.2	2	0.150	0.0649	0.4661	0.2857
37	4.1	1	0.100	0.0445	0.4418	0.6522
38	4.1	1	0.125	0.0864	0.5352	0.4783
39	4.1	1	0.150	0.0659	0.3845	0.3043
40	4.1	2	0.100	0.0788	0.4952	0.4242
41	4.1	2	0.125	0.0837	0.4888	0.4848
42	4.1	2	0.150	0.0945	0.5472	0.3000
43	4.2	1	0.100	0.0682	0.5059	0.5405
44	4.2	1	0.125	0.0766	0.5086	0.2703
45	4.2	1	0.150	0.0919	0.5021	0.1892
46	4.2	2	0.100	0.0671	0.5097	0.4146
47	4.2	2	0.125	0.0802	0.5390	0.1220
48	4.2	2	0.150	0.0426	0.5127	0.5366
49	5.1	1	0.100	0.0362	0.5636	0.3864
50	5.1	1	0.125	0.0551	0.5723	0.2045
51	5.1	1	0.150	0.0327	0.5754	0.4091
52	5.1	2	0.100	0.0362	0.5636	0.3864
53	5.1	2	0.125	0.0551	0.5723	0.2045

54	5.1	2	0.150	0.0327	0.5754	0.4091
55	5.2	1	0.100	0.0207	0.6294	0.5196
56	5.2	1	0.125	0.0343	0.5255	0.3824
57	5.2	1	0.150	0.0405	0.5648	0.1078

ตารางที่ ข.39 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
58	5.2	2	0.100	0.0130	0.6294	0.7155
59	5.2	2	0.125	0.0375	0.5941	0.1724
60	5.2	2	0.150	0.0386	0.5648	0.1293
61	6	1	0.100	0.0508	0.6633	0.1622
62	6	1	0.125	0.0134	0.6258	0.7027
63	6	1	0.150	0.0476	0.673	0.1532
64	6	2	0.100	0.0524	0.632	0.1545
65	6	2	0.125	0.0133	0.5951	0.7091
66	6	2	0.150	0.0475	0.6245	0.1545

5.7 **วิธีการบรรจวบขยาย** (COIN-E)

วิธีการบรรจวบแบบขยาย (COIN-E) มีพารามิเตอร์ที่สำคัญที่ต้องพิจารณาก็คือ ความน่าจะเป็นที่ใช้ในการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็น โดยจะใช้การอ้างอิงจากอัลกอริทึม COIN และพารามิเตอร์ที่จะใช้สุ่มจำนวนประชากรจากตารางความน่าจะเป็นของแต่ละวัตถุประสงค์ แบ่งเป็น 3 ระดับคือ ระดับที่ 1 (50-25-25) คือ ในแต่ละสตริงคำตอบจะสุ่มจากตารางวัตถุประสงค์ที่ 1 มาร้อยละ 50 จากตารางวัตถุประสงค์ที่ 2 ร้อยละ 25 และจากตารางวัตถุประสงค์ที่ 3 ร้อยละ 25 จนครบจำนวนสตริงคำตอบทั้งสิ้นร้อยละ 30 ของประชากรทั้งหมด ระดับที่ 2 (25-50-25) และระดับที่ 3 (25-25-50) ที่จำเป็นต้องมีการกำหนดให้เหมาะสมกับแต่ละปัญหาเพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพและใช้เวลาการค้นหาคำตอบที่สั้น ในการกำหนดพารามิเตอร์นั้นจะออกแบบการทดลองเป็นแบบ Full Factorial โดยทำจำนวนซ้ำ 2 โดยใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 4 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนองกับระดับปัจจัยที่กำหนดข้างต้น

5.8 **การวิเคราะห์ผลการทดลอง**

เมื่อทำการทดลองครบตามจำนวนครั้งการทดลอง โดยนำค่าที่ได้จากการทดลองมาวิเคราะห์ผลด้วยโปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ โดยในงานวิจัยนี้จะใช้โปรแกรม Minitab ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่มีความเหมาะสมในแต่ละอัลกอริทึม

5.8.1 **การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา** Set 1.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set1_1Convergen versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.0001178	0.0000589	1.00	0.465
Error	3	0.0001767	0.0000589		
Total	5	0.0002945			

S = 0.007675 R-Sq = 40.00% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.000000	0.000000	(----------*----------)
2	2	0.000000	0.000000	(----------*----------)
3	2	0.009400	0.013294	(----------*----------)
				-0.012 0.000 0.012 0.024

Pooled StDev = 0.007675

ภาพที่ ข.87 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.87 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.465 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set1_1Spread versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.0183  0.0091  0.73  0.553
Error      3  0.0378  0.0126
Total      5  0.0561

S = 0.1123   R-Sq = 32.59%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  0.4982  0.0480         (---------------*---------------)
2      2  0.5518  0.0015             (---------------*---------------)
3      2  0.4175  0.1884    (---------------*---------------)
                            +---------+---------+---------+---------
                          0.16      0.32      0.48      0.64

Pooled StDev = 0.1123
```

ภาพที่ ข.88 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.88 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.553 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set1_1Ratio versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00681  0.00340  1.00  0.465
Error      3  0.01021  0.00340
Total      5  0.01702

S = 0.05834   R-Sq = 40.00%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  1.0000  0.0000           (------------*------------)
2      2  1.0000  0.0000           (------------*------------)
3      2  0.9285  0.1010    (------------*------------)
                            +---------+---------+---------+---------
                          0.80      0.90      1.00      1.10

Pooled StDev = 0.0583
```

ภาพที่ ข.89 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.465 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 25-50-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 1.1 คือ 25-50-25

ตารางที่ ข.40 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-50-25

5.8.2 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 1.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set1_2Convergen versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.0076  0.0038  0.24  0.801
Error      3  0.0480  0.0160
Total      5  0.0556

S = 0.1265   R-Sq = 13.73%   R-Sq(adj) = 0.00%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.1603  0.0374   (-------------*-------------)
2      2  0.2279  0.0625      (-------------*--------------)
3      2  0.1461  0.2066  (-------------*--------------)
                          -------+---------+---------+---------+--
                               0.00      0.20      0.40      0.60

Pooled StDev = 0.1265
```

ภาพที่ ข.90 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.90 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.801 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set1_2Spread versus Sampling

```
Source    DF        SS        MS       F      P
Sampling   2  0.111387  0.055694  151.46  0.001
Error      3  0.001103  0.000368
Total      5  0.112490

S = 0.01918   R-Sq = 99.02%   R-Sq(adj) = 98.37%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.31370  0.02913  (--*---)
2      2  0.42690  0.00283           (---*--)
3      2  0.64220  0.01570                             (---*--)
                           -------+---------+---------+---------+--
                                0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.01918
```

ภาพที่ ข.91 ผลการทดสอบของปัญหา Set 1.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.91 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.001 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 1 เท่ากับ 50-25-25 ดังนั้นปัญหาที่ 1.2 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับที่ 1 เท่ากับ 50-25-25

ตารางที่ ข.41 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 1.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	50-25-25

5.8.3 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 2.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set2_1Convergen versus Sampling

```
Source    DF         SS         MS  F  P
Sampling   2  0.0000000  0.0000000  *  *
Error      3  0.0000000  0.0000000
Total      5  0.0000000

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


Level  N         Mean        StDev
1      2  0.000000000  0.000000000
2      2  0.000000000  0.000000000
3      2  0.000000000  0.000000000

       Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level    +---------+---------+---------+---------
1        *
2        *
3        *
         +---------+---------+---------+---------
       0.000000  0.000010  0.000020  0.000030

Pooled StDev = 0.000000000
```

ภาพที่ ข.92 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.92 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set2_1Spread versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.000000	0.000000	0.00	1.000
Error	3	0.002659	0.000886		
Total	5	0.002659			

S = 0.02977 R-Sq = 0.00% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.47685	0.02977	(----------*----------)
2	2	0.47685	0.02977	(----------*----------)
3	2	0.47685	0.02977	(----------*----------)
				0.420 0.455 0.490 0.525

Pooled StDev = 0.02977

ภาพที่ ข.93 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.93 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 1.000 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set2_1Ratio versus Sampling

```
Source    DF         SS         MS  F  P
Sampling   2  0.0000000  0.0000000  *  *
Error      3  0.0000000  0.0000000
Total      5  0.0000000

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


                              Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  1.00000  0.00000    *
2      2  1.00000  0.00000    *
3      2  1.00000  0.00000    *
                              +---------+---------+---------+---------
                             1.00000   1.00010   1.00020   1.00030

Pooled StDev = 0.00000
```

ภาพที่ ข.94 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.94 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 50-25-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.1 คือ 50-25-25

ตารางที่ ข.42 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	50-25-25

5.8.4 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 2.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set2_2Convergen versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.0000000	0.0000000	*	*
Error	3	0.0000000	0.0000000		
Total	5	0.0000000			

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

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.000000000	0.000000000
2	2	0.000000000	0.000000000
3	2	0.000000000	0.000000000

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev

```
Level    +---------+---------+---------+---------
1        *
2        *
3        *
         +---------+---------+---------+---------
       0.000000  0.000010  0.000020  0.000030
```

Pooled StDev = 0.000000000

ภาพที่ ข.95 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.95 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set2_2Spread versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.0000	0.0000	0.00	1.000
Error	3	0.0761	0.0254		
Total	5	0.0761			

S = 0.1592 R-Sq = 0.00% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.4469	0.1592	(----------*----------)
2	2	0.4469	0.1592	(----------*----------)
3	2	0.4469	0.1592	(----------*----------)
				0.20 0.40 0.60 0.80

Pooled StDev = 0.1592

ภาพที่ ข.96 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.96 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 1.000 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set2_2Ratio versus Sampling

```
Source    DF         SS         MS  F  P
Sampling   2  0.0000000  0.0000000  *  *
Error      3  0.0000000  0.0000000
Total      5  0.0000000

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


                                 Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev    +---------+---------+---------+---------
1      2  1.00000  0.00000    *
2      2  1.00000  0.00000    *
3      2  1.00000  0.00000    *
                              +---------+---------+---------+---------
                             1.00000   1.00010   1.00020   1.00030

Pooled StDev = 0.00000
```

ภาพที่ ข.97 ผลการทดสอบของปัญหา Set 2.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.97 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value หาค่าไม่ได้ พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 50-25-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 2.2 คือ 50-25-25

ตารางที่ ข.43 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 2.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	50-25-25

5.8.5 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 3.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set3_1Convergen versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00327  0.00163  0.44  0.681
Error      3  0.01120  0.00373
Total      5  0.01447

S = 0.06111   R-Sq = 22.58%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -------+---------+---------+---------+--
1      2  0.12100  0.09249       (-------------*-------------)
2      2  0.06530  0.04342  (-------------*------------)
3      2  0.10425  0.02765     (------------*-------------)
                              -------+---------+---------+---------+--
                                   0.00      0.10      0.20      0.30

Pooled StDev = 0.06111
```

ภาพที่ ข.98 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.98 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.681 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set3_1Spread versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.0212  0.0106  0.38  0.715
Error      3  0.0846  0.0282
Total      5  0.1057

S = 0.1679   R-Sq = 20.02%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ----+---------+---------+---------+-----
1      2  0.6543  0.2608       (--------------*--------------)
2      2  0.5283  0.0871  (--------------*--------------)
3      2  0.5283  0.0948  (--------------*--------------)
                          ----+---------+---------+---------+-----
                            0.25      0.50      0.75      1.00

Pooled StDev = 0.1679
```

ภาพที่ ข.99 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.99 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.715 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบจึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set3_1Ratio versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.0556	0.0278	1.21	0.411
Error	3	0.0686	0.0229		
Total	5	0.1242			

S = 0.1513 R-Sq = 44.74% R-Sq(adj) = 7.89%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.4708	0.2534	(----------*----------)
2	2	0.6167	0.0472	(----------*----------)
3	2	0.3834	0.0472	(----------*----------)

0.25 0.50 0.75 1.00

Pooled StDev = 0.1513

ภาพที่ ข.100 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.100 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.411 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 25-25-50 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.1 คือ 25-25-50

ตารางที่ ข.44 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-25-50

5.8.6 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 3.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

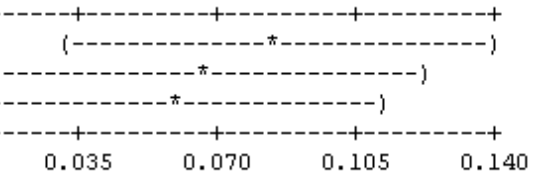
One-way ANOVA: Set3_2Convergen versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.000665	0.000333	0.57	0.616
Error	3	0.001745	0.000582		
Total	5	0.002411			

S = 0.02412 R-Sq = 27.60% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev
1	2	0.08415	0.01831
2	2	0.06755	0.02270
3	2	0.05875	0.02991

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev



Pooled StDev = 0.02412

ภาพที่ ข.101 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.101 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.616 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set3_2Spread versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00534  0.00267  0.37  0.719
Error      3  0.02172  0.00724
Total      5  0.02706

S = 0.08509   R-Sq = 19.73%   R-Sq(adj) = 0.00%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.58935  0.12268       (---------------*---------------)
2      2  0.52785  0.06357  (---------------*---------------)
3      2  0.52445  0.05127  (---------------*---------------)
                            --+---------+---------+---------+-------
                            0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.08509
```

ภาพที่ ข.102 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.102 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.719 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set3_2Ratio versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.0254  0.0127  1.15  0.426
Error      3  0.0331  0.0110
Total      5  0.0585

S = 0.1050   R-Sq = 43.38%   R-Sq(adj) = 5.63%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.4988  0.0354           (--------------*--------------)
2      2  0.3534  0.0957  (--------------*--------------)
3      2  0.3697  0.1506   (--------------*--------------)
                          ---+---------+---------+---------+------
                           0.16      0.32      0.48      0.64

Pooled StDev = 0.1050
```

ภาพที่ ข.103 ผลการทดสอบของปัญหา Set 3.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.103 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.426 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 1 คือ 50-25-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 3.2 คือ 50-25-25

ตารางที่ ข.45 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 3.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	50-25-25

5.8.7 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 4.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set4_1Convergen versus Sampling

Source	DF	SS	MS	F	P
Sampling	2	0.002512	0.001256	1.27	0.399
Error	3	0.002970	0.000990		
Total	5	0.005483			

S = 0.03147 R-Sq = 45.82% R-Sq(adj) = 9.71%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
1	2	0.05600	0.02800	(----------*----------)
2	2	0.08405	0.04434	(----------*----------)
3	2	0.10600	0.01485	(----------*----------)
				0.000 0.050 0.100 0.150

Pooled StDev = 0.03147

ภาพที่ ข.104 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.104 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.399 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set4_1Spread versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00285  0.00142  0.22  0.815
Error      3  0.01954  0.00651
Total      5  0.02239

S = 0.08071   R-Sq = 12.72%   R-Sq(adj) = 0.00%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---+---------+---------+---------+------
1      2  0.52865  0.05084    (--------------*--------------)
2      2  0.50095  0.04617  (--------------*--------------)
3      2  0.55430  0.12176      (--------------*--------------)
                            ---+---------+---------+---------+------
                             0.36      0.48      0.60      0.72

Pooled StDev = 0.08071
```

ภาพที่ ข.105 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.105 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.815 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set4_1Ratio versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.1029  0.0515  0.64  0.587
Error      3  0.2415  0.0805
Total      5  0.3445

S = 0.2837   R-Sq = 29.88%   R-Sq(adj) = 0.00%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev     +---------+---------+---------+---------
1      2  0.5387  0.3578             (--------------*---------------)
2      2  0.2322  0.3283     (---------------*---------------)
3      2  0.3035  0.0757       (---------------*---------------)
                             +---------+---------+---------+---------
                           -0.40      0.00      0.40      0.80

Pooled StDev = 0.2837
```

ภาพที่ ข.106 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.106 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.587 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 3 คือ 25-25-50 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 4.1 คือ 25-25-50

ตารางที่ ข.46 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-25-50

5.8.8 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 4.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set4_2Convergen versus Sampling

```
Source    DF        SS        MS     F      P
Sampling   2  0.002780  0.001390  1.79  0.308
Error      3  0.002332  0.000777
Total      5  0.005112

S = 0.02788   R-Sq = 54.38%   R-Sq(adj) = 23.96%

                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.11050  0.00933             (-----------*-----------)
2      2  0.09560  0.04327          (-----------*-----------)
3      2  0.05925  0.01930   (-----------*-----------)
                           -+---------+---------+---------+--------
                          0.000     0.050     0.100     0.150

Pooled StDev = 0.02788
```

ภาพที่ ข.107 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.107 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.308 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set4_2Spread versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00243  0.00122  0.33  0.745
Error      3  0.01119  0.00373
Total      5  0.01362

S = 0.06108   R-Sq = 17.84%   R-Sq(adj) = 0.00%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.45610  0.05501    (----------------*----------------)
2      2  0.49700  0.00042         (----------------*----------------)
3      2  0.45270  0.09037   (----------------*----------------)
                             -+---------+---------+---------+--------
                            0.320     0.400     0.480     0.560

Pooled StDev = 0.06108
```

ภาพที่ ข.108 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.108 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.745 พบว่ามีค่ามากกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set4_2Ratio versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS      F      P
Sampling   2  0.24378  0.12189  52.27  0.005
Error      3  0.00700  0.00233
Total      5  0.25078

S = 0.04829   R-Sq = 97.21%   R-Sq(adj) = 95.35%


                           Individual 95% CIs For Mean Based on
                           Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  ---------+---------+---------+---------+
1      2  0.12410  0.02659  (----*-----)
2      2  0.29605  0.06512         (-----*----)
3      2  0.61090  0.04525                    (-----*----)
                           ---------+---------+---------+---------+
                                  0.20      0.40      0.60      0.80

Pooled StDev = 0.04829
```

ภาพที่ ข.109 ผลการทดสอบของปัญหา Set 4.2 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.109 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.005 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 1 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 1 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 3 เท่ากับ 25-25-50 ดังนั้นปัญหาที่ 4.2 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับที่ 3 เท่ากับ 25-25-50

ตารางที่ ข.47 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 4.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-25-50

5.8.9 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 5.1

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set5_1Convergen versus Sampling

```
Source    DF        SS        MS     F      P
Sampling   2  0.000694  0.000347  0.71  0.560
Error      3  0.001474  0.000491
Total      5  0.002168

S = 0.02216   R-Sq = 32.02%   R-Sq(adj) = 0.00%

                              Individual 95% CIs For Mean Based on
                              Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev  -----+---------+---------+---------+----
1      2  0.05870  0.02546          (-------------*-------------)
2      2  0.03365  0.01563  (--------------*-------------)
3      2  0.05325  0.02411        (-------------*-------------)
                              -----+---------+---------+---------+----
                                 0.000     0.035     0.070     0.105

Pooled StDev = 0.02216
```

ภาพที่ ข.110 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.110 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.560 พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

2. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

One-way ANOVA: Set5_1Spread versus Sampling

```
Source    DF       SS       MS     F      P
Sampling   2  0.00320  0.00160  0.50  0.651
Error      3  0.00968  0.00323
Total      5  0.01288

S = 0.05681   R-Sq = 24.86%   R-Sq(adj) = 0.00%


                            Individual 95% CIs For Mean Based on
                            Pooled StDev
Level  N     Mean    StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.52005  0.08365   (---------------*---------------)
2      2  0.57575  0.04632          (---------------*---------------)
3      2  0.53920  0.02319     (---------------*---------------)
                             -+---------+---------+---------+--------
                            0.400     0.480     0.560     0.640

Pooled StDev = 0.05681
```

ภาพที่ ข.111 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ

จากภาพที่ ข.111 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.651 พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ค้นพบ จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

3. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set5_1Ratio versus Sampling

```
Source    DF      SS      MS     F      P
Sampling   2  0.1198  0.0599  1.05  0.451
Error      3  0.1707  0.0569
Total      5  0.2905

S = 0.2386   R-Sq = 41.23%   R-Sq(adj) = 2.05%


                          Individual 95% CIs For Mean Based on
                          Pooled StDev
Level  N    Mean   StDev  ---------+---------+---------+---------+
1      2  0.2140  0.0763  (--------------*--------------)
2      2  0.5318  0.3227           (--------------*---------------)
3      2  0.2543  0.2465   (--------------*---------------)
                          ---------+---------+---------+---------+
                                 0.00      0.35      0.70      1.05

Pooled StDev = 0.2386
```

ภาพที่ ข.112 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.1 เมื่อใช้ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ ข.112 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.451 พบว่ามีค่าไม่น้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงยอมรับสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยไม่มีผลต่อตัวแปรตอบสนองอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่ค้นพบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องพิจารณาตัวแปรตอบสนองด้านอื่นในการกำหนดระดับปัจจัยในขั้นตอนต่อไป

4. การวิเคราะห์โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการคำนวณ พบว่าระดับปัจจัยที่ 2 คือ 25-50-25 ใช้เวลาในการค้นหาน้อยที่สุด จึงกำหนดพารามิเตอร์ของปัญหา 5.1 คือ 25-50-25

ตารางที่ ข.48 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.1

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-50-25

5.8.10 **การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา** Set 5.2

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set5_2Convergen versus Sampling

```
Source    DF         SS         MS       F      P
Sampling   2  0.0013833  0.0006917  246.29  0.000
Error      3  0.0000084  0.0000028
Total      5  0.0013917

S = 0.001676   R-Sq = 99.39%   R-Sq(adj) = 98.99%


                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev  --+---------+---------+---------+-------
1      2  0.012800  0.001414  (--*--)
2      2  0.042000  0.001273                      (--*--)
3      2  0.047350  0.002192                          (--*---)
                                --+---------+---------+---------+-------
                                0.012     0.024     0.036     0.048

Pooled StDev = 0.001676
```

ภาพที่ ข.113 ผลการทดสอบของปัญหา Set 5.2 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.113 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.000 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 1 เท่ากับ 50-25-25 ดังนั้นปัญหาที่ 5.2 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับที่ 1 เท่ากับ 50-25-25

ตารางที่ ข.49 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 5.2

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	50-25-25

5.8.11 การวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่เหมาะสมในปัญหา Set 6

ผลการวิเคราะห์ตัวแปรตอบสนองในแต่ละด้านดังนี้

1. การวิเคราะห์ โดยกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

One-way ANOVA: Set6Convergen versus Sampling

```
Source    DF         SS         MS      F      P
Sampling   2  0.0000931  0.0000466  88.13  0.002
Error      3  0.0000016  0.0000005
Total      5  0.0000947

S = 0.0007269   R-Sq = 98.33%   R-Sq(adj) = 97.21%

                                Individual 95% CIs For Mean Based on
                                Pooled StDev
Level  N      Mean     StDev   -+---------+---------+---------+--------
1      2  0.031900  0.001131                              (----*----)
2      2  0.022250  0.000354   (----*---)
3      2  0.027100  0.000424              (---*----)
                                -+---------+---------+---------+--------
                               0.0210    0.0245    0.0280    0.0315

Pooled StDev = 0.000727
```

ภาพที่ ข.114 ผลการทดสอบของปัญหา Set 6 เมื่อกำหนดตอบแปรตอบสนองคือตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

จากภาพที่ ข.114 เมื่อพิจารณาจากค่า P-Value เท่ากับ 0.002 พบว่ามีค่าน้อยกว่าค่านัยสำคัญที่ 0.05 จึงปฏิเสธสมมติฐานหลักหรือสรุปได้ว่าระดับปัจจัยมีผลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงพิจารณาว่าปัจจัยใดมีค่าเข้าใกล้ 0 มากที่สุด ซึ่งพบว่าระดับที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุดคือ ระดับปัจจัยที่ 2 เท่ากับ 25-50-25 ดังนั้นปัญหาที่ 6 ระดับปัจจัยที่เหมาะสมคือ ระดับที่ 2 เท่ากับ 25-50-25

ตารางที่ ข.50 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดลองของปัญหา Set 6

ปัจจัย	พารามิเตอร์ที่เหมาะสม
ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มแต่ละวัตถุประสงค์	25-50-25

ตารางที่ ข.51 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E

No.	ปัญหาที่	การทำซ้ำ	ค่าพารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
1	1.1	1	50-25-25	0.0000	0.4643	1.0000
2	1.1	1	25-50-25	0.0000	0.5529	1.0000
3	1.1	1	25-25-50	0.0188	0.2843	0.8571
4	1.1	2	50-25-25	0.0000	0.5322	1.0000
5	1.1	2	25-50-25	0.0000	0.5508	1.0000
6	1.1	2	25-25-50	0.0000	0.5508	1.0000
7	1.2	1	50-25-25	0.1868	0.2931	0.0000
8	1.2	1	25-50-25	0.2721	0.4289	0.0000
9	1.2	1	25-25-50	0.0000	0.6533	1.0000
10	1.2	2	50-25-25	0.1339	0.3343	0.5000
11	1.2	2	25-50-25	0.1837	0.4249	0.3333
12	1.2	2	25-25-50	0.2922	0.6311	0.5000
13	2.1	1	50-25-25	0.0000	0.4558	1.0000
14	2.1	1	25-50-25	0.0000	0.4558	1.0000
15	2.1	1	25-25-50	0.0000	0.4558	1.0000
16	2.1	2	50-25-25	0.0000	0.4979	1.0000
17	2.1	2	25-50-25	0.0000	0.4979	1.0000
18	2.1	2	25-25-50	0.0000	0.4979	1.0000

ตารางที่ ข.52 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Convergen	Spread	Ratio
19	2.2	1	50-25-25	0.0000	0.5595	1.0000
20	2.2	1	25-50-25	0.0000	0.5595	1.0000
21	2.2	1	25-25-50	0.0000	0.5595	1.0000
22	2.2	2	50-25-25	0.0000	0.3343	1.0000
23	2.2	2	25-50-25	0.0000	0.3343	1.0000
24	2.2	2	25-25-50	0.0000	0.3343	1.0000
25	3.1	1	50-25-25	0.0556	0.4699	0.6500
26	3.1	1	25-50-25	0.0960	0.5899	0.6500
27	3.1	1	25-25-50	0.0847	0.4613	0.3500

ตารางที่ ข.53 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
28	3.1	2	50-25-25	0.1864	0.8387	0.2917
29	3.1	2	25-50-25	0.0346	0.4667	0.5833
30	3.1	2	25-25-50	0.1238	0.5953	0.4167
31	3.2	1	50-25-25	0.0712	0.5026	0.5238
32	3.2	1	25-50-25	0.0836	0.4829	0.2857
33	3.2	1	25-25-50	0.0376	0.4882	0.4762
34	3.2	2	50-25-25	0.0971	0.6761	0.4737
35	3.2	2	25-50-25	0.0515	0.5728	0.4211
36	3.2	2	25-25-50	0.0799	0.5607	0.2632
37	4.1	1	50-25-25	0.0758	0.4927	0.2857
38	4.1	1	25-50-25	0.0527	0.5336	0.4643
39	4.1	1	25-25-50	0.0955	0.6404	0.3571
40	4.1	2	50-25-25	0.0362	0.5646	0.7917
41	4.1	2	25-50-25	0.1154	0.4683	0.0000
42	4.1	2	25-25-50	0.1165	0.4682	0.2500
43	4.2	1	50-25-25	0.1039	0.495	0.1429
44	4.2	1	25-50-25	0.1262	0.4973	0.2500
45	4.2	1	25-25-50	0.0456	0.3888	0.6429
46	4.2	2	50-25-25	0.1171	0.4172	0.1053
47	4.2	2	25-50-25	0.0650	0.4967	0.3421
48	4.2	2	25-25-50	0.0729	0.5166	0.5789
49	5.1	1	50-25-25	0.0767	0.4609	0.1600
50	5.1	1	25-50-25	0.0226	0.5430	0.7600
51	5.1	1	25-25-50	0.0703	0.5556	0.0800
52	5.1	2	50-25-25	0.0407	0.5792	0.2679
53	5.1	2	25-50-25	0.0447	0.6085	0.3036
54	5.1	2	25-25-50	0.0362	0.5228	0.4286
55	5.2	1	50-25-25	0.0138	0.6165	0.7708
56	5.2	1	25-50-25	0.0411	0.6515	0.1667
57	5.2	1	25-25-50	0.0489	0.6347	0.0833

ตารางที่ ข.54 ผลการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-E (ต่อ)

No.	ปัญหา	การทำซ้ำ	พารามิเตอร์	Con.	Spread	Ratio
58	5.2	2	50-25-25	0.0118	0.6569	0.8049
59	5.2	2	25-50-25	0.0429	0.6306	0.1301
60	5.2	2	25-25-50	0.0458	0.0813	0.6501
61	6	1	50-25-25	0.0311	0.6682	0.2431
62	6	1	25-50-25	0.0220	0.6394	0.4514
63	6	1	25-25-50	0.0268	0.6410	0.3194
64	6	2	50-25-25	0.0327	0.6715	0.2263
65	6	2	25-50-25	0.0225	0.6340	0.4599
66	6	2	25-25-50	0.0274	0.6531	0.3285

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองจากการรันโปรแกรม

ภาคผนวก ง

ตัวอย่างการนำเอาวิธี NSGA-II ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบชนิดแบบสองด้าน

ภาคผนวก จ

ตัวอย่างการนำเอาวิธี DPSO ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบชนิดแบบสองด้าน

ภาคผนวก ฉ

ตัวอย่างการนำเอาวิธี BBO ไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบชนิดแบบสองด้าน

ภาคผนวก ช

ตัวอย่างตัวชี้วัดสมรรถนะที่ใช้ในการเปรียบเทียบผล

(ภาคผนวกทั้งหมดนี้อยู่ใน CD ที่แนบมา)

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายสถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย เกิดเมื่อวันที่ 5 พฤศจิกายน พ.ศ. 2531 สำเร็จการศึกษาระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนหอวัง และสำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี วิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาสถิติประยุกต์ คณะวิทยาศาสตร์ประยุกต์ จากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ เมื่อปี พ.ศ. 2554 และในปีเดียวกันนี้ได้เข้าศึกษาต่อระดับปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย