

การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม
แบบสองด้านด้วยอัลกอริทึมการบรรจวบรรวมกับฟิชชีลอจิก



นายวัชรวิทย์ ถนนทอง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

CHULALONGKORN UNIVERSITY

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย

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

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2558

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-
SIDED ASSEMBLY LINES WITH COMBINATORIAL OPTIMIZATION WITH COINCIDENCE WITH
FUZZY LOGIC.

Mr. Watcharawit Tanontong



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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2015

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บน
สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านด้วย
อัลกอริทึมการบรรจบร่วมกับฟัชชีลोजิก

โดย

นายวัชรวิทย์ ถนนทอง

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วน
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารธุรกิจ

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เกาประเสริฐวงศ์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.โอฬาร กิตติธีรพรชัย)

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

วัชรวิทย์ ถนนทอง : การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านด้วยอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับฟัซซี่ลอจิก (MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINES WITH COMBINATORIAL OPTIMIZATION WITH COINCIDENCE WITH FUZZY LOGIC.) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: ศ. ดร.ปารเมศ ชูติมา, 236 หน้า.

การจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน จัดเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อน เนื่องจากเป็นปัญหาประเภท Non-deterministic Polynomial Hard: NP-Hard ซึ่งยากต่อการค้นหาคำตอบเมื่อขนาดปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น

ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบผลิตภัณฑ์ผสมบนสายการประกอบแบบสองด้านนี้ ได้พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชัน คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรอน้อยที่สุด และนำเสนออัลกอริทึมการบรรจบรวมกับฟัซซี่ลอจิก (Combinatorial Optimization with Fuzzy Logic: COIN-F) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ประยุกต์มาจาก COIN มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยสร้างกฎทางฟัซซี่เพื่อใช้ในการปรับค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษให้เหมาะสมกับสถานการณ์ และทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหา โดยทำการเปรียบเทียบกับอัลกอริทึมที่เป็นที่ยอมรับในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต ได้แก่ NSGA-II, DPSO และ COIN-E

ผลการทดลองแสดงให้เห็นอย่างชัดเจนว่า COIN-F มีสมรรถนะในการแก้ปัญหาที่ดีกว่า ทั้งในดัชนีการลู่เข้าสู่คำตอบที่เหมาะสมที่สุดแบบพาราเรโต ดัชนีการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ดัชนีด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ ดัชนีด้านจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ แต่ดัชนีด้านเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ COIN-E ใช้เวลาในการหาคำตอบที่ดีกว่า DPSO, COIN-F และ NSGA-II ตามลำดับ เนื่องจาก COIN-F มีการเพิ่มกระบวนการทำงานให้กับอัลกอริทึมทำให้ใช้เวลาในกระบวนการค้นหาคำตอบที่นานกว่า

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อนิสิต

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก

ปีการศึกษา 2558

5670375821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORDS: CAR SEQUENCING / TWO-SIDED ASSEMBLY LINE / FUZZY LOGIC

WATCHARAWIT TANONTONG: MULTI-OBJECTIVE CAR SEQUENCING PROBLEM ON MIXED-MODEL TWO-SIDED ASSEMBLY LINES WITH COMBINATORIAL OPTIMIZATION WITH COINCIDENCE WITH FUZZY LOGIC.. ADVISOR: PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 236 pp.

Multi-objective car sequencing problem on mixed-model two-sided assembly lines is known to be a NP-hard problem, a nearly impossible to obtain the optimal solution for large scale practical problems.

In this research, three objective functions are considered including 1) decreasing the number of color changes, 2) minimizing utility work and 3) reducing the number of violation. The Combinatorial Optimization with Coincidence with Fuzzy logic (COIN-F) algorithm is developed from its original version (i.e. COIN). Developing fuzzy logic rule to adjust reward and punishment parameters of COIN and apply the design of experiment to obtain the appropriate levels of factors for each problem. Several well-known algorithms are compared in solving this problem including Non-dominated Sorting Genetic Algorithms (NSGA-II), Discrete Particle Swarm Optimization (DPSO) and Expanded Combinatorial Optimization with Coincidence (COIN-E).

The experimental results indicate that COIN-F has better performances than NSGA-II, DPSO, COIN-E algorithms, in terms of convergence to the Pareto-optimal set, spread of solutions, ratio of non-dominated solution and number of non-dominated but in term of computation time to solution, COIN-E has better performance than DPSO, COIN-F and NSGA-II respectively.

Department: Industrial Engineering Student's Signature

Field of Study: Industrial Engineering Advisor's Signature

Academic Year: 2015

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา ที่เสียสละเวลาให้ความรู้ คำแนะนำ และให้ความช่วยเหลือ ตลอดการจัดทำวิทยานิพนธ์เป็นอย่างดีตลอดมา และขอขอบคุณ คุณปวีศ เอกพิทักษ์ธรรม สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือด้านโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และเพื่อนๆผู้เกี่ยวข้องทุกคน สำหรับคำปรึกษาและกำลังใจที่ดีตลอดมา



สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฅ
สารบัญรูปภาพ.....	น
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย.....	3
1.4 ลักษณะปัญหาของงานวิจัย.....	5
1.5 ขั้นตอนในการวิจัย	6
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย.....	6
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป.....	8
2.1.1. รูปแบบของสายการประกอบเมื่อพิจารณาตามรูปร่างของสายการประกอบ.....	9
2.1.2 รูปแบบของสายงานประกอบพิจารณาตามจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต	11
2.2 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์	12
2.2.1 วิธีการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	12
2.2.2 การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น	14

2.2.3 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์	14
2.2.4 การจัดลำดับการผลิตแบบหลายวัตถุประสงค์ (Objective Function)	15
2.2.4.1 จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด	15
2.2.4.2 ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด	16
2.2.4.3 จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด	17
2.2.5 การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์	17
2.3 การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึม	26
2.3.1 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง	27
2.3.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้	27
2.3.3 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ	28
2.3.3.1 Ratio of non-dominated solutions (self-comparison)	28
2.3.3.2 Ratio of non-dominated solutions (Pareto-optimum comparison)	28
2.3.4 ตัวชี้วัดสมรรถนะของจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ	29
2.3.5 ตัวชี้วัดด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time)	29
2.4 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic)	29
2.4.1 ทฤษฎีฟัซซี่	29
2.4.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก	30
2.4.3 การแปลงค่าผลลัพธ์แบบฟัซซี่กลับเป็นค่าที่แน่นอน	31
2.4.4 การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิก	32
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	33
2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบแบบสองด้าน	33
2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม	34

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์.....	35
2.5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ฟuzzy.....	36
บทที่ 3 อัลกอริทึมที่ใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย	38
3.1 อัลกอริทึมวิธีการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E).....	38
3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของ COIN-E.....	39
3.1.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-E.....	40
3.1.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-E	41
3.2 วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II (NSGA-II).....	42
3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II.....	42
3.2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II	44
3.2.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II.....	45
3.3 อัลกอริทึมวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO).....	47
3.3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO	47
3.3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ DPSO	49
3.3.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ DPSO.....	49
3.4 อัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟuzzyลอจิก (Combinatorial Optimization with Coincidence with Fuzzy Logic: COIN-F)	51
บทที่ 4 ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการบรรจบร่วมกับฟuzzyลอจิก และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการ จัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน	53
4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบร่วมกับฟuzzy ลอจิก.....	53
4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-F	54

4.3	แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-F	56
4.4	รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-F.....	57
4.5	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบร่วมกับพีชชีลอจิกในการแก้ปัญหาการจัดลำดับ การผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน	59
4.5.1	การสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นเริ่มต้น.....	59
4.5.2	การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น	60
4.5.3	การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่น.....	60
4.5.4	กำหนดค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบ	61
4.5.5	การคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่ไม่ดี	61
4.5.6	การปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น	62
4.5.7	เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด.....	63
4.5.8	การประยุกต์ใช้พีชชีลอจิกในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์.....	65
4.5.8.1	การคำนวณค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง	65
4.5.8.2	การคำนวณค่าจำนวนรอบที่คำตอบไม่มีการพัฒนา	66
4.5.8.3	สร้างกราฟทางพีชชีเพื่อกำหนดค่าความเป็นสมาชิก	66
4.5.8.4	สร้างกฎทางพีชชี.....	67
4.5.8.5	การกำหนดระดับของพารามิเตอร์ (k)	67
4.5.8.6	การแปลงค่าผลลัพธ์กลับเป็นค่าที่แน่นอน.....	68
4.6	การทดสอบพารามิเตอร์และการวิเคราะห์ผลการทดลอง	69
4.6.1	ขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	70
4.6.2	แผนผังขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	70
4.6.3	การทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผลการทดลอง	71
4.6.3.1	การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1	83

4.6.3.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2	86
4.6.3.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set2.1.....	90
4.6.3.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set2.2.....	93
4.6.3.5 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1	97
4.6.3.6 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2	101
4.6.3.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1	104
4.6.3.8 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2	108
4.6.3.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1	112
4.6.3.10 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2.....	115
4.7 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	119
บทที่ 5 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึม	122
5.1 วิธีการทดลอง.....	122
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึม.....	123
5.3 ผลการทดลอง	125
5.3.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1.....	125
5.3.1.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1	125
5.3.1.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2	127
5.3.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2.....	128
5.3.2.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1	128
5.3.2.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2	130
5.3.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1.....	131
5.3.3.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1	131
5.3.3.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2	132

5.3.11.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 1.1 เฉลี่ย 2	
รอบ	155
5.3.11.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 1.2 เฉลี่ย 2	
รอบ	155
5.3.11.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 2.1 เฉลี่ย 2	
รอบ	156
5.3.11.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 2.2 เฉลี่ย 2	
รอบ	157
5.3.11.5 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 3.1 เฉลี่ย 2	
รอบ	157
5.3.11.6 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 3.2 เฉลี่ย 2	
รอบ	158
5.3.11.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 4.1 เฉลี่ย 2	
รอบ	159
5.3.11.8 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 4.2 เฉลี่ย 2	
รอบ	159
5.3.11.9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 5.1 เฉลี่ย 2	
รอบ	160
5.3.11.10 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 5.2 เฉลี่ย 2	
รอบ	161
5.4 บทสรุป	161
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ	165
6.1 บทสรุปงานวิจัย	165
6.1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง	165
6.1.2 ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	166

6.1.3 อัลกอริทึมที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย	166
6.1.4 การพัฒนาอัลกอริทึมการบรรจบร่วมกับฟuzzyลอจิก	167
6.1.5 การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ของ COIN-F	168
6.1.6 ผลการนำ COIN-F มาใช้ในการแก้ปัญหา	169
6.2 ข้อเสนอแนะ	169
รายการอ้างอิง	170
ภาคผนวก.....	174
ภาคผนวก ก การประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบแบบขยายในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มี หลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน	175
ภาคผนวก ข การประยุกต์ใช้วิธีเงินเนติกอัลกอริทึม II ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มี หลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน	190
ภาคผนวก ค การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฟuzzyภาคแบบไม่ต่อเนื่องในการ แก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสอง ด้าน.....	202
ภาคผนวก ง รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง	210
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์	236

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย	4
ตารางที่ 2.1 ข้อมูลนำเข้า.....	17
ตารางที่ 2.2 จำนวนสิทธิ์รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น	18
ตารางที่ 2.3 การคำนวณหาค่าจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด.....	18
ตารางที่ 2.4 ชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์ A, B และ C.....	19
ตารางที่ 2.5 เวลาดำเนินงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีงานและความยาวสถานีงาน	20
ตารางที่ 2.6 การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 1 และสถานีงานที่ 2	21
ตารางที่ 2.7 การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 3 และสถานีงานที่ 4	22
ตารางที่ 2.8 ข้อกำหนดตัวเลือกในแต่ละรุ่น	23
ตารางที่ 2.9 จำนวนการละเมิดของแต่ละตัวเลือก (Options).....	24
ตารางที่ 4.1 การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกลำดับงานเริ่มต้น	59
ตารางที่ 4.2 ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้น.....	60
ตารางที่ 4.3 สตริงคำตอบเริ่มต้น.....	60
ตารางที่ 4.4 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบเริ่มต้น	61
ตารางที่ 4.5 การประเมินค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเริ่มต้น	61
ตารางที่ 4.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางวิธีการบรรจวบ	62
ตารางที่ 4.7 ตารางค่าความน่าจะเป็นวิธีการบรรจวบหลังการปรับปรุง	63
ตารางที่ 4.8 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบการทำงานที่ 1	64
ตารางที่ 4.9 ประชากรเริ่มต้นในรอบการทำงานที่ 2	64
ตารางที่ 4.10 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับรอบปัจจุบัน	64
ตารางที่ 4.11 ประชากรในกระบวนการทำงานรอบที่ 5	65

ตารางที่ 4.12	กฎทางพีชชี	67
ตารางที่ 4.13	กฎทางพีชชีและการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก	67
ตารางที่ 4.14	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ COIN ที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้า	69
ตารางที่ 4.15	ค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง	72
ตารางที่ 4.16	ตารางการออกแบบการทดลองเพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดแต่ละตัวชี้วัด	72
ตารางที่ 4.17	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.1	73
ตารางที่ 4.18	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.2	74
ตารางที่ 4.19	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.1	75
ตารางที่ 4.20	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.2	76
ตารางที่ 4.21	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.1	77
ตารางที่ 4.22	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.2	78
ตารางที่ 4.23	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.1	79
ตารางที่ 4.24	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.2	80
ตารางที่ 4.25	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 5.1	81
ตารางที่ 4.26	ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 5.2	82
ตารางที่ 4.27	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1	86
ตารางที่ 4.28	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2	89
ตารางที่ 4.29	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1	93
ตารางที่ 4.30	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2	97
ตารางที่ 4.31	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1	100
ตารางที่ 4.32	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2	104
ตารางที่ 4.33	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1	108
ตารางที่ 4.34	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2	111
ตารางที่ 4.35	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1	115

ตารางที่ 4.36	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2.....	119
ตารางที่ 4.37	ค่า p-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17.....	119
ตารางที่ 4.38	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหาการทดลอง.....	121
ตารางที่ 5.1	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-F.....	123
ตารางที่ 5.2	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-E.....	124
ตารางที่ 5.3	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ NSGA-II.....	125
ตารางที่ 5.4	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ DPSO.....	125
ตารางที่ 5.5	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1.....	126
ตารางที่ 5.6	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2.....	127
ตารางที่ 5.7	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1.....	129
ตารางที่ 5.8	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2.....	130
ตารางที่ 5.9	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1.....	132
ตารางที่ 5.10	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2.....	133
ตารางที่ 5.11	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1.....	135
ตารางที่ 5.12	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2.....	136
ตารางที่ 5.13	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1.....	138
ตารางที่ 5.14	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2.....	139
ตารางที่ 5.15	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1.....	141
ตารางที่ 5.16	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2.....	142
ตารางที่ 5.17	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1.....	144
ตารางที่ 5.18	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2.....	145
ตารางที่ 5.19	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1.....	147
ตารางที่ 5.20	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2.....	148
ตารางที่ 5.21	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1.....	150

ตารางที่ 5.22	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2	151
ตารางที่ 5.23	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1	153
ตารางที่ 5.24	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2	154
ตารางที่ 5.25	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	155
ตารางที่ 5.26	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	155
ตารางที่ 5.27	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	156
ตารางที่ 5.28	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	157
ตารางที่ 5.29	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	157
ตารางที่ 5.30	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	158
ตารางที่ 5.31	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	159
ตารางที่ 5.32	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	159
ตารางที่ 5.33	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	160
ตารางที่ 5.34	ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ.....	161
ตารางที่ 5.35	สรุปผลการเปรียบเทียบตัวชี้วัดของอัลกอริทึม	164
ตารางที่ ก.1	จำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น	177
ตารางที่ ก.2	ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต	177
ตารางที่ ก.3	ชิ้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์ A, B และ C.....	177
ตารางที่ ก.4	ค่าสิทธิของลำดับการผลิตตามจำนวนผลิตภัณฑ์	179
ตารางที่ ก.5	ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้น	180
ตารางที่ ก.6	สตริงคำตอบเริ่มต้น	180
ตารางที่ ก.7	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบเริ่มต้น	181
ตารางที่ ก.8	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรงของสตริงคำตอบเริ่มต้น.....	181
ตารางที่ ก.9	การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางวิธีการบรรจบ.....	182
ตารางที่ ก.10	การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1.....	182

ตารางที่ ก.11 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2.....	182
ตารางที่ ก.12 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3.....	183
ตารางที่ ก.13 ตารางวิธีการบรรจบหลังการปรับปรุง.....	184
ตารางที่ ก.14 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังการปรับปรุง.....	185
ตารางที่ ก.15 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการปรับปรุง.....	186
ตารางที่ ก.16 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 หลังการปรับปรุง.....	188
ตารางที่ ก.17 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการทำงานก่อนหน้า.....	189
ตารางที่ ก.18 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบการทำงานปัจจุบัน.....	189
ตารางที่ ก.19 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับรอบปัจจุบัน.....	189
ตารางที่ ก.20 คำตอบที่ดีที่สุดที่เก็บไว้ใช้ในรอบต่อไป.....	189
ตารางที่ ข.1 การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับ NSGA-II.....	190
ตารางที่ ข.2 ประชากรเบื้องต้นสำหรับกระบวนการ NSGA-II.....	190
ตารางที่ ข.3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์.....	191
ตารางที่ ข.4 ค่าความแข็งแรงที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ.....	191
ตารางที่ ข.5 ค่าความหนาแน่นของแต่ละสตริงคำตอบ.....	192
ตารางที่ ข.6 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง.....	192
ตารางที่ ข.7 การสร้างวงล้อรูเล็ต.....	194
ตารางที่ ข.8 การคัดเลือกด้วยวิธี Binary Tournament Selection.....	195
ตารางที่ ข.9 การจับคู่สตริงคำตอบ.....	196
ตารางที่ ข.10 การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	198
ตารางที่ ข.11 สตริงคำตอบหลังการมิวเตชัน.....	199
ตารางที่ ข.12 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	200
ตารางที่ ข.13 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	200
ตารางที่ ข.14 ค่าความแข็งแรง และความหนาแน่นของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูก.....	201

ตารางที่ ข.15	สตริงคำตอบบรู่นพ่อแม่ในรุ่นถัดไป	201
ตารางที่ ค.1	การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับ DPSO.....	202
ตารางที่ ค.2	ประชากรเบื้องต้นสำหรับกระบวนการ DPSO	202
ตารางที่ ค.3	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับสตริงคำตอบเบื้องต้น.....	203
ตารางที่ ค.4	สตริงคำตอบที่ดีที่สุดใฝู่งที่ 1	204
ตารางที่ ค.5	สตริงคำตอบที่ดีที่สุดใฝู่งที่ 2	204
ตารางที่ ค.6	สตริงคำตอบที่ดีที่สุดใฝู่งในจำนวนประชากรทั้งหมด	205
ตารางที่ ค.7	ค่าสิทธิ์ในการเลือกลำดับการผลิตที่ดีที่สุดใฝู่งในจำนวนประชากรทั้งหมด	205
ตารางที่ ค.8	ตำแหน่งของสตริงคำตอบใฝู่งที่ 1 อนุภาคที่ 2.....	205
ตารางที่ ค.9	ตำแหน่งของสตริงคำตอบใฝู่งที่ 2 อนุภาคที่ 1.....	206
ตารางที่ ค.10	ทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาคใฝู่งที่ 1.....	207
ตารางที่ ค.11	ทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาคใฝู่งที่ 2.....	207
ตารางที่ ค.12	ตำแหน่งของอนุภาคใฝู่งที่ 1	208
ตารางที่ ค.13	ตำแหน่งของอนุภาคใฝู่งที่ 2	208
ตารางที่ ค.14	ตาราง Sigmoid ใฝู่งที่ 1.....	209
ตารางที่ ค.15	ตาราง Sigmoid ใฝู่งที่ 2.....	209
ตารางที่ ง.1	รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย.....	210
ตารางที่ ง.2	สีและลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้า	211
ตารางที่ ง.3	เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 1.1 และ 1.2.....	211
ตารางที่ ง.4	เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 2.1 และ 2.2.....	212
ตารางที่ ง.5	เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 3.1 และ 3.2.....	213
ตารางที่ ง.6	เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2.....	214
ตารางที่ ง.7	เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2.....	217
ตารางที่ ง.8	เงื่อนไขการจัดสรรชิ้นงานสำหรับปัญหา 16 ชิ้นงาน	223

ตารางที่ ง.9	เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 24 ชั้นงาน	224
ตารางที่ ง.10	เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 65 ชั้นงาน	225
ตารางที่ ง.11	เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 70 ชั้นงาน	227
ตารางที่ ง.12	เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 148 ชั้นงาน	228
ตารางที่ ง.13	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.1	230
ตารางที่ ง.14	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.2	230
ตารางที่ ง.15	จำนวนสีของปัญหา Set 1.1 และ Set 1.2	231
ตารางที่ ง.16	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.1	231
ตารางที่ ง.17	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.2	231
ตารางที่ ง.18	จำนวนสีของปัญหา Set 2.1 และ Set 2.2	231
ตารางที่ ง.19	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.1	232
ตารางที่ ง.20	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.2	232
ตารางที่ ง.21	จำนวนสีของปัญหา Set 3.1 และ Set 3.2	232
ตารางที่ ง.22	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 4.1	233
ตารางที่ ง.23	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 4.2	233
ตารางที่ ง.24	จำนวนสีของปัญหา Set 4.1 และ Set 4.2	234
ตารางที่ ง.25	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 5.1	234
ตารางที่ ง.26	จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 5.2	235
ตารางที่ ง.27	จำนวนสีของปัญหา Set 5.1 และ Set 5.2	235

สารบัญรูปภาพ

	หน้า
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมทิศทางการไหลของงานบนสายการประกอบ (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013).....	8
รูปที่ 2.2 สายการประกอบแบบเส้นตรง (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)	9
รูปที่ 2.3 สายการประกอบแบบสองด้าน (Ozcan and Toklu, 2009)	10
รูปที่ 2.4 สายการประกอบแบบสองด้านในอุตสาหกรรมยานยนต์จริง (Betancourt, 2007)	10
รูปที่ 2.5 สายการประกอบแบบขนาน (Betancourt, 2007)	10
รูปที่ 2.6 สายการประกอบแบบตัวยู (Betancourt, 2007).....	10
รูปที่ 2.7 สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด (Betancourt, 2007)	11
รูปที่ 2.8 การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต	12
รูปที่ 2.9 Pareto Optimal Solution (Chutima and Chimklai, 2012)	13
รูปที่ 2.10 ส่วนงานที่เกี่ยวข้องข้องในการผลิตรถยนต์ (Solnon, Cung et al., 2008).....	15
รูปที่ 2.11 แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B และ C.....	19
รูปที่ 2.12 สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีความสมดุล	20
รูปที่ 2.13 ลักษณะเซตธรรมดา (ซ้าย) และลักษณะเซตพีซีซี (ขวา) (Djam, Wajiga et al., 2011).....	30
รูปที่ 2.14 กราฟแสดงลักษณะฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของพีซีซีเซต.....	30
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E	40
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II.....	44
รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO.....	49
รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีการบรรจบร่วมกับพีซีซีลอจิก (COIN-F)	56
รูปที่ 4.2 กราฟข้อมูลนำเข้าของค่า Convergence (ซ้าย) และ Number of NC (ขวา).....	66
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงของค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษ (Output).....	66

รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง	71
รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	83
รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง	83
รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	84
รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	85
รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	85
รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	86
รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง	87
รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	88
รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	88
รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	89
รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	90
รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง	91
รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	91

รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	111
รูปที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัว แปรตอบสนอง	112
รูปที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัว แปรตอบสนอง	113
รูปที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	113
รูปที่ 4.48 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	114
รูปที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	115
รูปที่ 4.50 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัว แปรตอบสนอง	116
รูปที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัว แปรตอบสนอง	116
รูปที่ 4.52 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง	117
รูปที่ 4.53 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง	118
รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง.....	118
รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1.	126
รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2.	127
รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1.	129
รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2.	130

รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1.	131
รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2.	133
รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1.	134
รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2.	136
รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1.	137
รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2.	139
รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1.	140
รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2.	142
รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1.	143
รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2.	145
รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1.	146
รูปที่ 5.16 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2.	148
รูปที่ 5.17 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1.	149
รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2.	151
รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1.	152
รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2.	154
รูปที่ ก.1 แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังรวมของรถยนต์ทุกรุ่น ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ชิ้นงาน (Kim, Kim et al., 2000)	176
รูปที่ ก.2 สายการประกอบที่ผ่านการจัดสมดุลการผลิตแล้ว	178
รูปที่ ข.1 วงล้อรูเล็ต 5 สตริงคำตอบ	194
รูปที่ ข.2 การให้น้ำหนักกับค่าของสตริงที่อยู่ในขอบเขตของการครอสโอเวอร์	197
รูปที่ ข.3 การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักระหว่างสตริงคำตอบ	197

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันอุตสาหกรรมยานยนต์มีแนวโน้มการแข่งขันที่สูงขึ้นอย่างรวดเร็ว มีการพัฒนารูปแบบของรถยนต์ให้ตอบสนองความต้องการของลูกค้าที่มีความหลากหลายและเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา ผู้ผลิตไม่สามารถผลิตเป็นรุ่นการผลิตขนาดใหญ่ได้ จึงทำให้ภาคอุตสาหกรรมยานยนต์มีความจำเป็นที่จะต้องมีการปรับปรุงประสิทธิภาพด้านการผลิต และพัฒนาทางด้านเทคโนโลยี รวมทั้งมีกิจกรรมส่งเสริมการตลาดอยู่ตลอดเวลา ดังนั้นเพื่อรองรับการตอบสนองความต้องการของลูกค้า สายการประกอบจึงต้องมีความยืดหยุ่น สามารถปรับเปลี่ยนประเภทของผลิตภัณฑ์ได้บนสายการผลิตเดียวกัน จึงมีการออกแบบสายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการประกอบพร้อมๆกันและมีความต่อเนื่องตลอดเวลา (Akgunduz and Tunali, 2010) ในอุตสาหกรรมรถยนต์ก็เช่นเดียวกัน เนื่องจากในแต่ละวันจะมีคำสั่งซื้อรถยนต์ที่แตกต่างกัน ทั้งรุ่น และสี โดยที่การประกอบรถยนต์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของโครงรถยนต์ (Body), ส่วนของการพ่นสี (Paint) และส่วนของการประกอบ (Assembly) ซึ่งรถยนต์แต่ละคันมีเอกลักษณ์เฉพาะของตัวเลือก (Option) ที่แตกต่างกัน ดังนั้นการติดตั้งชุดของตัวเลือกจะต้องออกแบบมาเพื่อจัดการไม่ให้จำนวนรถยนต์เกินจำนวนของแต่ละตัวเลือกในลำดับการผลิตย่อยของแต่ละรอบการผลิต (Zinflou, Gagne et al., 2008)

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

ในภาคอุตสาหกรรมการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบสำหรับหลายผลิตภัณฑ์เพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพสูงสุดตามวัตถุประสงค์ที่โรงงานอุตสาหกรรมต้องการ ซึ่งวัตถุประสงค์จะแตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะและความเหมาะสมของอุตสาหกรรมนั้นๆ เช่น ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด เวลาในการปรับตั้งน้อยที่สุด อัตราความผันแปรของการผลิตน้อยที่สุด ความสม่ำเสมอของการใช้ชิ้นส่วนประกอบ ต้นทุน/เวลาในการปรับตั้งเครื่องน้อยที่สุด ความเสี่ยงในการหยุดของสายการประกอบมีค่าน้อยที่สุด ฯลฯ (Akgunduz and Tunali, 2011) ในกรณีที่ไม่มีข้อกำหนดใดๆ มาเกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาในการจัดลำดับการผลิตที่มีวัตถุประสงค์เดียวจะมีความสำคัญ แต่อย่างไรก็ตามในภาคปฏิบัตินั้นการจัดลำดับการผลิตที่มีวัตถุประสงค์เดียวมีความเป็นไปได้้น้อยมาก เนื่องจากมีหลายวัตถุประสงค์ที่จะต้องพิจารณาเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดบนสายการประกอบ ในขณะที่บ่อยครั้งที่วัตถุประสงค์หลายตัวมีความขัดแย้งกันเอง โดยจะต้องพิจารณาไปพร้อมๆ กัน และต้องทำการตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิตปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ (Hyun,

Kim et al., 1998) และ Mansouri (2005) ได้เสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดลำดับสำหรับหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Genetic Algorithm : MOGA) ด้วยวิธี COMSOAL ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว มีวิธีการหรือขั้นตอนในการค้นหาคำตอบที่ไม่ยุ่งยากหรือซับซ้อนมาก และยังสามารถนำไปใช้กับงานจริงได้ง่ายกว่าเมื่อเทียบกับวิธีการอื่นๆ ทำให้คำตอบที่ได้มีโอกาสสูงเข้าสู่คำตอบที่ดีที่สุดมากขึ้นด้วย และ Solnon, Cung et al. (2008) ได้นำเสนอการจัดการแข่งขันปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์เมื่อปี 2005 โดยใช้ข้อมูลจริงจากบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ (RENAULT) ในประเทศฝรั่งเศส โดยในการแข่งขันนั้นมีผู้เข้าร่วมการแข่งขันจะเสนอวิธีการต่างๆในการแก้ปัญหาโดยได้กำหนดวัตถุประสงค์ไว้ 3 วัตถุประสงค์คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยผู้ชนะได้เลือกเอาวิธีการ Local Search มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยผลที่ได้จากการแข่งขันนี้ได้นำไปสู่งานวิจัยต่อไปในการใช้เปรียบเทียบผลที่ได้จากการแข่งขันนี้

ปัญหาการจัดลำดับการผลิตจึงมีความซับซ้อนยุ่งยากมากขึ้น ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบที่ยาวนาน จำนวนคำตอบที่ได้มีจำนวนมาก จึงทำให้มีการนำวิธีฮิวริสติกเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมและยอมรับได้โดยใช้เวลาในการหาคำตอบที่น้อยลง เช่น วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs) ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหาในการจัดลำดับการผลิตที่มีความซับซ้อน โดย GA ช่วยลดเวลาในการหาคำตอบ และให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ Hyun, Kim et al. (1998) ได้พัฒนากระบวนการในการค้นหาคำตอบในการจัดลำดับการผลิตสำหรับหลายวัตถุประสงค์ มีชื่อว่า Pareto Stratum-Niche Cubic (PS-NC) โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตประกอบด้วย 3 วัตถุประสงค์ คือ ผลรวมของปริมาณงานที่ไม่เสร็จมีค่าน้อยที่สุด ความสม่ำเสมอของอัตราการประกอบ และผลรวมค่าใช้จ่ายในการปรับตั้งเครื่องมีค่าน้อยที่สุด

งานวิจัย นพพล คำภิรมย์ (2008) ได้นำอัลกอริทึมวิธีการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยู โดยวัตถุประสงค์ที่ใช้ คือ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรและความผันแปรของภาระงานในระบบการผลิตน้อยที่สุด ผลจากงานวิจัยพบว่า COIN จะมีประสิทธิภาพก็ต่อเมื่อได้มีการใช้ร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม สามารถใช้ได้มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบลักษณะตัวยูสำหรับปัญหาขนาดใหญ่ และยังพบว่า COIN มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็วเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ และ Wattanapornprom, Olanwivitchai et al. (2009) ได้นำเสนอ Combinatorial Optimization with Coincidence Algorithm (COIN) ซึ่งใช้การพิจารณาหาคำตอบที่ดีและไม่ดี เพื่อเพิ่มความเป็นไปได้ให้กับคำตอบที่ดี เพื่อให้คำตอบที่ดีมีโอกาสถูกสุ่มมากขึ้นในรอบต่อไป และสำหรับคำตอบที่

แยะจะทำการลงโทษโดยการลดความน่าจะเป็น เพื่อให้คำตอบที่แย่มมีโอกาสถูกสุ่มน้อยลงในรอบต่อไป ในการจัดสมมูลสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะแบบตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี ภายใต้วัตถุประสงค์ คือ จำนวนสถานีงานน้อยที่สุด ผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และความผันแปรของเวลาภายในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด และทำการเปรียบเทียบกับวิธี NSGA-II พบว่า COIN ให้คำตอบที่มีประสิทธิภาพดีกว่าอัลกอริทึมอื่นๆ

ในปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบยาวนาน ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการค้นหาคำตอบการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ก็คือ ตัวเลือก สี และสายการประกอบ ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจบแบบฟัชซี (Combinatorial Optimization with Fuzzy : COIN-F) โดยที่วิธีการบรรจบเป็นอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว เนื่องจากการจดจำตำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกัน แล้วส่งผลให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่ดีที่สุด และยังตัดทอนการจดจำตำแหน่งของคู่ผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันแล้วส่งผลให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่ไม่ดี เพื่อไม่ให้เกิดขึ้นในรอบถัดไป แต่เนื่องจากวิธีการบรรจบยังมีข้อเสียอยู่ประการหนึ่งคือ คำตอบที่ได้ขาดการกระจายและความหลากหลายของคำตอบ เมื่อเทียบกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA II ดังนั้นผู้วิจัยจึงนำเสนออัลกอริทึมการบรรจบแบบฟัชซี โดยการประยุกต์ใช้ฟัชซีลอจิกร่วมกับ COIN ในการปรับค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษให้เหมาะสมกับสถานการณ์มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน และทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของ COIN-F กับอัลกอริทึมที่ได้รับการยอมรับว่าสามารถแก้ปัญหาประเภทนี้ได้แก่ NSGA-II, DPSO และ COIN-E

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อเปรียบเทียบผลที่ได้จากการนำวิธีการบรรจบร่วมกับฟัชซีลอจิก (COIN - F), NSGA-II, DPSO และ COIN-E เข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบสำหรับปัญหาหลายวัตถุประสงค์ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบผสมบนสายการประกอบแบบสองด้านในระบบผลิต

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ขอบเขตของงานวิจัย มีดังนี้

1. ทำการศึกษาเฉพาะปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีความสมดุล มีรถยนต์เข้าสู่การสายประกอบในแต่ละรอบการผลิตมากกว่า 2 รุ่นขึ้นไป โดยแต่ละรุ่นสามารถเข้าสู่สายการประกอบได้อย่างอิสระ

2. นำวิธีการของ COIN – F เข้ามาประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบ
3. การหาคำตอบของปัญหาการจัดลำดับการผลิตบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมมีวัตถุประสงค์ดังนี้
 - เพื่อหาจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Minimizing The Number of Colour Change)
 - เพื่อหาปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด (Minimizing Utility Work)
 - เพื่อหาจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด (Minimizing The Number of Violations)
4. การเปรียบเทียบประสิทธิภาพระหว่างวิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชีลोजิก (COIN-F), NSGA-II, DPSO และ COIN-E โดยใช้ตัวชี้วัด 6 ตัว คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (Ratio of Non-Dominated Solution I) อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution II) จำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Number of Non-Dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time)
5. งานวิจัยนี้ใช้ปัญหาการทดลองมาตรฐาน (Mansouri, 2005) ในการทดสอบโดยแบ่งปัญหาออกเป็น 3 ประเภท คือ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ โดยปัญหาขนาดเล็กประกอบด้วย Set 1.1-2.2 ปัญหาขนาดกลางประกอบด้วย Set 3.1-4.2 และปัญหาขนาดใหญ่ประกอบด้วย Set 5.1-5.2 ซึ่งมีรายละเอียดดังตารางที่ 1.1

ตารางที่ 1.1 รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย

ปัญหาการทดลอง	จำนวนรุ่นรถยนต์	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS)	ความยาวสตริง	จำนวนสีรถยนต์	จำนวนตัวเลือก
Set 1	1	5	5:3:2:1:1	5:3	2
	2	5	4:4:2:1:1	5:3	2

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย

ปัญหาการทดลอง	จำนวนรุ่น รถยนต์	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS)	ความ ยาว สตริง	จำนวน สี รถยนต์	จำนวน ตัวเลือก	
Set 2	3	5	7:3:2:2:1	15	5:3	4
	4	5	4:3:3:3:2	15	5:3	4
Set 3	5	5	8:7:2:2:1	20	5:3	8
	6	5	5:4:4:4:3	20	5:3	8
Set 4	7	10	7:5:1:1:1:1:1:1:1	20	9:4	10
	8	10	4:4:4:2:1:1:1:1:1	20	9:4	10
Set 5	9	15	20:20:20:15:15:1:1:1:1:1:1:1	100	12:5	12
	10	15	15:15:10:10:10:10:10:10:4:1:1:1:1:1	100	12:5	12

หมายเหตุ : Set ปัญหาการทดลอง (Mansouri, 2005)

1.4 ลักษณะปัญหาของงานวิจัย

ผู้วิจัยได้นำสมมติฐานบางส่วนมาจาก Hyun, Kim et al. (1998) ดังนี้

- เป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน
- สายการประกอบที่นำมาจัดลำดับการผลิตมีความสมดุล
- ผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตมีหลากหลายรุ่น แต่มีคุณสมบัติคล้ายกันจึงสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ และบางผลิตภัณฑ์จะไม่มีการทำงานบางชิ้นงาน
- พิจารณาความต้องการผลิตภัณฑ์จาก Minimum Part Set (MPS)
- สถานีงานเป็นแบบปิด
- ทราบจำนวนสถานีงานในสายการผลิตและเวลาดำเนินงานของชิ้นงานที่อยู่ในสถานีงาน
- ไม่นำระยะทางและเวลาการเดินทางของพนักงานเข้ามาพิจารณา
- รอบเวลาการปล่อยสินค้าเข้าสู่สายพานการผลิตคงที่
- การปรับเปลี่ยนสีขึ้นอยู่กับลำดับงานที่อยู่ก่อนหน้า
- มีการกำหนดตัวเลือก (Option) ไว้ในแต่ละชนิดของผลิตภัณฑ์
- การนับจำนวนการละเมิดจะขึ้นอยู่กับวันก่อนหน้า
- งานทุกงานมีความพร้อมทำตลอดเวลา
- งานต้องถูกทำจนเสร็จตามที่กำหนด จึงจะส่งต่อไปยังเครื่องจักรถัดไปได้

- ณ เวลานั้นเครื่องจักรสามารถทำงานได้เพียงงานเดียวเท่านั้น
- ไม่มีการยกเลิกคำสั่งผลิตและไม่มีการแทรกงาน
- พื้นที่แถวคอยในกระบวนการผลิตมีไม่จำกัด

1.5 ขั้นตอนในการวิจัย

ขั้นตอนในการวิจัยประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ดังนี้

1. ศึกษาทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2. ศึกษาการใช้โปรแกรม C++
3. สร้างอัลกอริทึมโดยใช้โปรแกรม C++
4. ทดสอบและแก้ไขโปรแกรมให้มีความถูกต้อง
5. ประเมินผลการใช้อัลกอริทึมในการแก้ไขปัญหา
6. วิเคราะห์และสรุปผล
7. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับจากงานวิจัย มีดังนี้

1. ทำให้การแก้ปัญหการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ช่วยลดความยุ่งยากและลดระยะเวลาในการแก้ปัญหา
2. เป็นแนวทางในการช่วยตัดสินใจในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองมากขึ้น
3. เป็นแนวทางในการพัฒนาอัลกอริทึม เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหที่เกี่ยวกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน
4. สามารถนำผลงานวิจัยนำไปประยุกต์ใช้กับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในอนาคตได้
5. สามารถนำวิธีการแก้ปัญหามาใช้กับภาคปฏิบัติโดยการประยุกต์ใช้ได้จริง

1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย

งานวิจัยนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน การคำนวณหาค่าที่เหมาะสมสำหรับการจัดลำดับการผลิตแบบหลายวัตถุประสงค์ วิธีการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง การทดสอบ

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในแต่ละเซตปัญหา การเปรียบเทียบสมรรถนะในการค้นหากลุ่มคำตอบในแต่ละอัลกอริทึม ผลสรุปการวิจัย และข้อเสนอแนะจากการทำวิจัย ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

บทที่ 2 อธิบายทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในด้านการจัดลำดับการผลิต ซึ่งประกอบด้วย ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป ปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุดิบ ประสงค์ วิธีการคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์ วิธีการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence: COIN) การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึม วัตถุประสงค์ของการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ จำนวนการจัดลำดับการผลิตทั้งหมด ฟิชชีลอจิก และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

บทที่ 3 อธิบายทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานของแต่ละอัลกอริทึม อัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ อัลกอริทึมวิธีการบรรจบแบบขยาย (COIN-E) อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกครอบงำ II (NSGA-II) อัลกอริทึมวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) และอัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชีลอจิก (COIN-F)

บทที่ 4 อธิบายทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชีลอจิก (COIN-F) รวมถึงการประยุกต์ใช้ COIN-F ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุดิบ บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน การทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN-F

บทที่ 5 อธิบายผลการทดลอง ซึ่งประกอบด้วย พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง และการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึมแยกตามขนาดเซตปัญหา

บทที่ 6 สรุปงานวิจัย ผลการนำเอาอัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชีลอจิก (COIN-F) มาประยุกต์ใช้กับปัญหาในงานวิจัย และข้อเสนอแนะเกี่ยวกับงานวิจัย

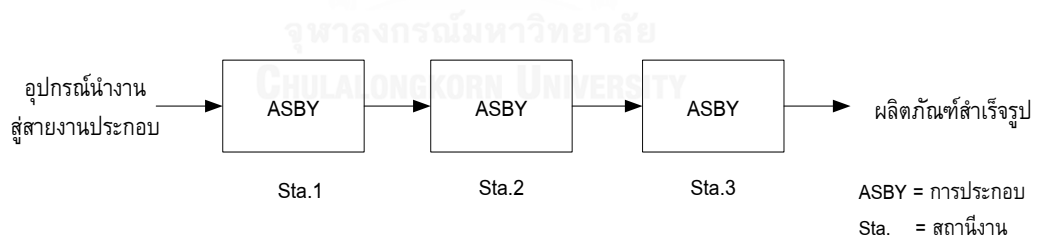
บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยฉบับนี้ประกอบไปด้วยทฤษฎีเกี่ยวกับสายประกอบ ลักษณะและรูปร่างของสายการประกอบประเภทต่างๆ การแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ ที่มีหลายวัตถุประสงค์ การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึมที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ตรรกศาสตร์คลุมเครือ และการประยุกต์ใช้ รวมทั้งทฤษฎีต่างๆที่เกี่ยวข้องในงานวิจัย

2.1 ลักษณะของสายการประกอบทั่วไป

สายงานประกอบ (Assembly Line) เป็นการจัดรูปแบบของผังการประกอบซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่าง ๆ ที่เรียกว่า สถานีงาน (Work Station) ในระบบสายงานการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่าง ๆ เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าวแต่ละหน่วยเข้ามาสู่สถานีงานใด ๆ แล้ว จะเกิดขึ้นงานการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีนั้นตามลำดับ เมื่อหมดขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้ว ชิ้นส่วนนั้นก็จะเคลื่อนไปยังสถานีงานต่อไป ในขณะที่เดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้าแทน (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013) ดังรูปที่ 2.1



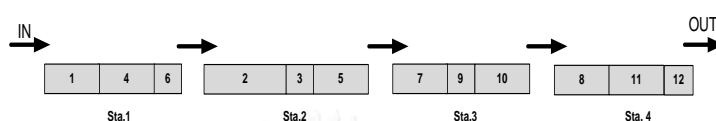
รูปที่ 2.1 ไดอะแกรมทิศทางการไหลของงานบนสายการประกอบ (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)

สายการประกอบสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้หลายรูปแบบ โดยอาจพิจารณาจากจำนวนชนิดผลิตภัณฑ์ที่ผลิต, เวลาที่ใช้ในการประกอบชิ้นงานในแต่ละสถานีงาน หรือรูปร่างของสายการประกอบ (Boysen, Fliedner et al., 2007) ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

2.1.1. รูปแบบของสายการประกอบเมื่อพิจารณาตามรูปร่างของสายการประกอบ

สายการประกอบสามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่าง ๆ ตามรูปร่างของสายการประกอบได้ 6 ประเภท (Betancourt, 2007) ดังนี้

1. **สายการประกอบแบบเส้นตรง (Straight Line)** คือ สายการประกอบที่มีทิศทางทางการไหลของงานเข้าและออกไปในทิศทางเดียวกัน จากสถานีงานแรกจนไปถึงสถานีงานสุดท้าย และไม่มีการย้อนกลับมาทำงานก่อนหน้า ดังรูปที่ 2.2

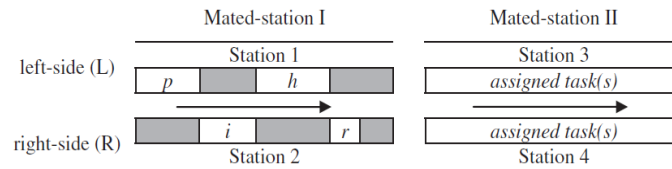


รูปที่ 2.2 สายการประกอบแบบเส้นตรง (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)

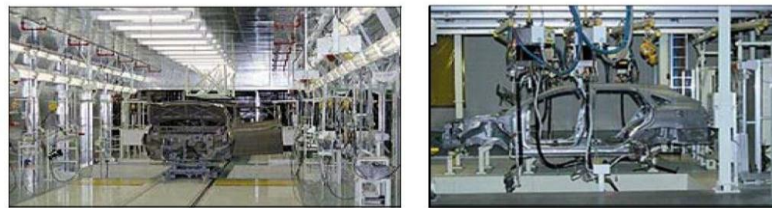
2. **สายการประกอบแบบสองด้าน (Two – sided assembly line)** คือ สายการประกอบที่ถูกออกแบบมาเพื่อจัดการสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีลักษณะใหญ่และในมีจำนวนการผลิตจำนวนมาก เช่น รถยนต์ รถบรรทุก เป็นต้น โดยจะมีสถานีงานอยู่ทั้งสองด้านของสายการประกอบ คือ มีสถานีงานที่อยู่ทางด้านซ้าย (L) และทางด้านขวา (R) ของสายการประกอบ โดยที่สถานีงานที่อยู่คู่กันจะเรียกว่า Mated-Station ดังรูปที่ 2.3 และรูปที่ 2.4 ซึ่งสายการประกอบแบบสองด้านมีประโยชน์ต่อกระบวนการผลิต คือ (Ozcan and Toklu, 2009)
 - ความยาวสายการประกอบจะสั้นกว่าสายการประกอบแบบด้านเดียว
 - ลดความสูญเสียเปล่า เช่น ระยะเวลาเคลื่อนที่ของพนักงานสั้นลง เวลาปรับตั้งเครื่องและเวลาผลิตสั้นลง
 - ลดต้นทุนค่าเครื่องมือและของใช้ประจำตัวของพนักงานที่สามารถใช้ร่วมกันได้ในคู่สถานีงาน

สายการประกอบแบบสองด้านจะแบ่งประเภทชิ้นงานที่จัดสรรลงในสถานีงาน 2 แบบ คือ ชิ้นงานที่สามารถจัดสรรลงในสถานีงานได้เพียงทางด้านเดียวเท่านั้น คือ ทางด้านซ้าย (L-type) และทางด้านขวา (R-type) ของสายการประกอบ และชิ้นงานที่สามารถจัดสรรลงในสถานีงานได้ทั้งสองทางของสายการประกอบ (E-type) ตัวอย่างเช่น ในอุตสาหกรรมผลิตรถยนต์จะแบ่งให้ชิ้นงานประกอบพวงมาลัยรถยนต์ที่ใช้กันทั่วไปในประเทศไทยจะเป็นแบบ R-type

ส่วนชิ้นงานประกอบหม้อกรองอากาศให้จะเป็นแบบ L-type และชิ้นงานประกอบกันชนจะเป็นแบบ E-type เป็นต้น



รูปที่ 2.3 สายการประกอบแบบสองด้าน (Ozcan and Toklu, 2009)



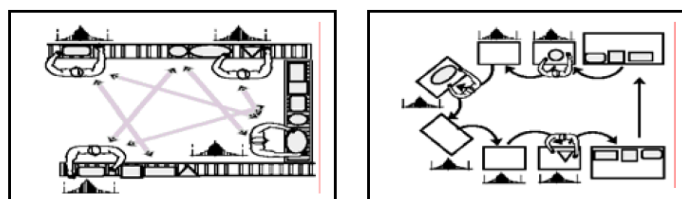
รูปที่ 2.4 สายการประกอบแบบสองด้านในอุตสาหกรรมยานยนต์จริง (Betancourt, 2007)

3. **สายการประกอบแบบขนาน (Parallel Lines)** เป็นสายการประกอบที่เป็นเส้นตรง 2 เส้นขนานกันไป โดยอาจจะมีบางคู่สถานีที่ตรงกันสามารถใช้เครื่องมือและพนักงานร่วมกันได้ ดังรูปที่ 2.5



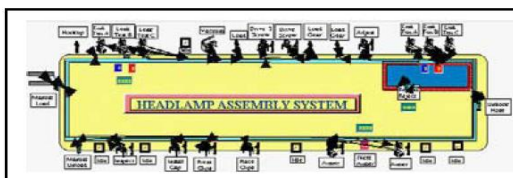
รูปที่ 2.5 สายการประกอบแบบขนาน (Betancourt, 2007)

4. **สายการประกอบแบบตัวยู (U-Shaped Lines)** เป็นสายการประกอบเส้นตรงที่มีการหักงอเป็นรูปตัวยู มีจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดอยู่ใกล้กัน แต่ละสถานีงานอาจประกอบชิ้นงานมากกว่าหนึ่งชิ้นในบริเวณที่แตกต่างกันก็ได้ ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 สายการประกอบแบบตัวยู (Betancourt, 2007)

5. สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด (Circle/Closed Lines) เป็นสายการประกอบที่มีสถานีงานถูกจัดวางรอบระบบสายพานลำเลียงเป็นรูปวงกลมหรือคล้ายคลึง ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 สายการประกอบแบบวงกลม/ปิด (Betancourt, 2007)

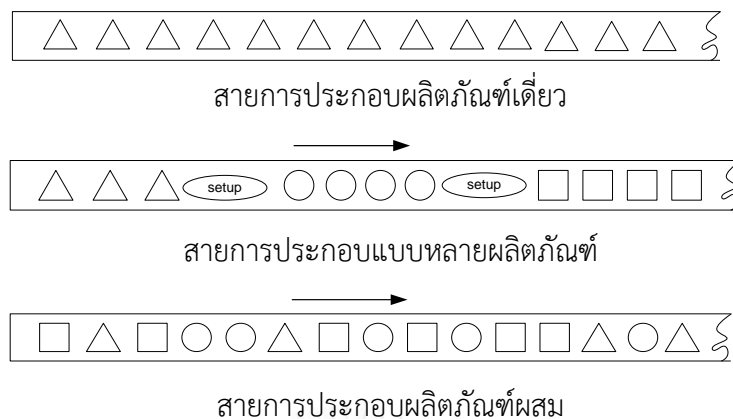
2.1.2 รูปแบบของสายงานประกอบพิจารณาตามจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต

เมื่อพิจารณาแบ่งรูปแบบสายการประกอบตามจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิตจะสามารถแบ่งได้เป็น 3 รูปแบบ ดังรูปที่ 2.8

1. สายงานการประกอบผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ชนิดใดชนิดหนึ่งเพียงชนิดเดียวโดยเฉพาะ และเป็นผลิตภัณฑ์ที่มีรูปแบบเดียว
2. สายงานการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ (Multi Model Assembly Line) เป็นสายงานประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดขึ้นไป ซึ่งผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดจะมีกระบวนการประกอบที่ใกล้เคียงกัน สามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ โดยในการประกอบจะทำทีละชุดผลิตภัณฑ์ (Batch) เมื่อมีการเปลี่ยนชนิดของผลิตภัณฑ์ จะต้องมีการปรับสายการประกอบใหม่ (Set up)
3. สายงานการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม (Mixed Model Assembly Line) เป็นงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์ 2 ชนิดหรือมากกว่าเช่นเดียวกับสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ แต่ต่างกันที่ผลิตภัณฑ์ต่างๆ จะเข้าสู่สายการประกอบได้อย่างอิสระ ไม่มีการกำหนดว่าต้องผลิตผลิตภัณฑ์ใดก่อน โดยระหว่างการผลิตจะไม่มีมีการปรับสายการประกอบ

ในกรณีของสายการประกอบแบบหลายผลิตภัณฑ์ ถ้าหากขนาดของชุดผลิตภัณฑ์ (Batch Size) มีขนาดใหญ่มาก สายการประกอบก็จะคล้ายกับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์เดี่ยว แต่ถ้า

ขนาดของชุดผลิตภัณฑ์มีขนาดเล็กประมาณหนึ่งสายการประกอบก็จะคล้ายกับสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม



รูปที่ 2.8 การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ที่ทำการผลิต

2.2 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์

การพิจารณาแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีไปพร้อมกันเป็นเรื่องที่แทบจะเป็นไปไม่ได้ยาก เนื่องจากแต่ละวัตถุประสงค์นั้นอาจมีความขัดแย้งระหว่างกันในการหาค่าน้อยที่สุดหรือค่าที่มากที่สุดของแต่ละวัตถุประสงค์ จึงยากที่จะบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Konak, Coit et al., 2006)

2.2.1 วิธีการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

การแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับหลายวัตถุประสงค์ จึงมีการนำเทคนิคในการค้นหาเขตของคำตอบที่อยู่ในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด (Feasible Region) ซึ่งเทคนิคในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set) ของปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์มีหลายวิธีเช่น วิธีคำนวณค่าแบบเวกเตอร์ (Vector Evaluation Approach) วิธีการรวมฟังก์ชันโดยอาศัยการให้น้ำหนัก (Weighted Sum Approach) วิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) เป็นต้น

ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) ที่มีการจัดอันดับคำตอบแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) มาใช้ โดยคำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set หรือ Pareto Optimal Front) ซึ่งกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดจะเป็นกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำจากคำตอบอื่น (Non-dominated Solution) หรือไม่สามารถบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีกว่า โดยที่กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีคุณสมบัติดังนี้ (นพพล คำภิรมย์, 2008)

- กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีการลู่เข้ากลุ่มคำตอบที่แท้จริงหรือควรเป็นสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่แท้จริง
- กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีคำตอบที่หลากหลาย และมีการกระจายของกลุ่มคำตอบแบบสม่ำเสมอ (Uniform Distribution)
- กลุ่มคำตอบที่ดีควรมีความสามารถค้นหาคำตอบที่อยู่ปลายสุดของกลุ่มคำตอบในพื้นที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมดได้

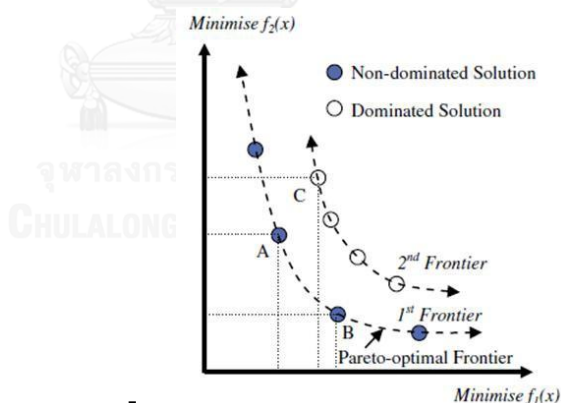
ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาไปพร้อมกันทั้งหมด ดังสมการต่อไปนี้

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

โดย \bar{x} คือ เวกเตอร์ของตัวแปรในการตัดสินใจ

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

ถ้าเวกเตอร์ของตัวแปรตัดสินใจ x ให้คำตอบที่ดีกว่าตัวแปรตัดสินใจ y แล้ว จะได้ว่า $f_i(x) \leq f_i(y)$ สำหรับทุกค่าของ $i \in \{1, 2, \dots, k\}$ และ $f_i(x) < f_i(y)$ อย่างน้อย 1 ค่าของ $i \in \{1, 2, \dots, k\}$



รูปที่ 2.9 Pareto Optimal Solution (Chutima and Chimklai, 2012)

จากรูปที่ 2.9 เป็นการพิจารณาค่าที่เหมาะสมของฟังก์ชันที่มี 2 วัตถุประสงค์ โดยจุดแต่ละจุดจะแทนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ โดยจะเห็นว่าจุด A และ B จะเป็นจุดของกลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Pareto Optimal Frontier) โดยที่ A กับ B จะไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าจุดใดเป็นจุดที่ให้คำตอบได้ดีกว่ากันหรือเรียกว่า Non-dominated set แต่สามารถบ่งบอกได้ว่าจุด A และ B เป็นจุดของคำตอบที่ดีกว่าจุด C

2.2.2 การสร้างความหลากหลายของประชากรคำตอบด้วยวิธีการวัดระยะความหนาแน่น

ในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบหลายวัตถุประสงค์นั้นนอกจากต้องการให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว ยังต้องการให้คำตอบที่ได้มีความหลากหลาย หรือมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอ ไม่เกาะกลุ่มกันอยู่ที่บริเวณใดบริเวณหนึ่ง วิธีการสร้างความหลากหลายให้กับประชากรคำตอบนั้นทำได้โดยการลดทอนความแข็งแรงของคำตอบบน Front เดียวกันที่เกาะกลุ่มกันอยู่ให้น้อยลง เพื่อลดบทบาทของคำตอบเหล่านั้นที่มีต่อกระบวนการแก้ปัญหา เช่น ลดโอกาสที่จะถูกเลือกไปเป็นประชากรคำตอบพ่อแม่ในแต่ละรอบของกระบวนการแก้ปัญหาหรือถูกเลือกไปเป็นดำเนินการอื่นๆ ระหว่างการค้นหาคำตอบ เป็นต้น อย่างไรก็ตาม แม้คำตอบใดๆ ก็ตามจะถูกลดทอนความแข็งแรงให้ต่ำกว่าคำตอบอื่นๆ บน Front เดียวกัน แต่ยังคงถือว่าคำตอบนั้นยังมีความแข็งแรงที่ดีกว่าคำตอบอื่นที่อยู่บน Front ที่แยกว่า

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

2.2.3 ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

คำสั่งซื้อจากลูกค้าจะถูกส่งมายังโรงงานผลิตรถยนต์ในแต่ละวัน ฝ่ายวางแผนจะทำการมอบหมายงานเกี่ยวกับใบคำสั่งซื้อรถยนต์ส่งไปยังส่วนต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการประกอบ ซึ่งสำหรับการผลิตรถยนต์จะแบ่งออกเป็น 3 ส่วน คือ ส่วนของโครงรถยนต์ (Body) ส่วนของการพ่นสี (Paint) และส่วนของการประกอบ (Assembly) (Solnon, Cung et al., 2008) ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ส่วนงานที่เกี่ยวข้องในการผลิตรถยนต์ (Solnon, Cung et al., 2008)

ในการแข่งขันการจัดลำดับรถยนต์ในปี 2005 ของบริษัทผู้ผลิตรถยนต์ในประเทศฝรั่งเศส ได้กำหนดปัญหาการจัดลำดับการผลิตโดยกำหนดเกณฑ์ในการพิจารณา ประการแรกคือ ตัวเลือกของรถยนต์ โดยในรถยนต์แต่ละคันจะมีตัวเลือกที่แตกต่างกัน เช่น กระจกพับอัตโนมัติรถคันหนึ่งจะมีตัวเลือกนี้ แต่อีกคันจะไม่มีตัวเลือกนี้ โดยกำหนดเป็นอัตราส่วน p/q (เมื่อ p คือ ความต้องการตัวเลือก และ q คือ จำนวนลำดับการผลิตย่อย) โดยในการจัดลำดับการผลิตจะต้องพยายามไม่ให้เกินข้อจำกัดนี้หรือเกินน้อยที่สุด เช่น ขั้นตอนการประกอบกระจกพับอัตโนมัติมีอัตราส่วน p/q เท่ากับ 1 ต่อ 4 นั้นหมายความว่า ในการผลิตรถยนต์ทุกๆ 4 คันจะมีรถยนต์ที่ประกอบตัวเลือกนี้ได้ไม่เกิน 1 คัน ถ้าเกินจะนับเป็นการละเมิดเกิดขึ้น พิจารณาไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ประการที่สอง คือ สีของรถยนต์ เนื่องจากลำดับการผลิตมีผลอย่างมากต่อการพ่นสีรถยนต์ เพราะหากมีการเปลี่ยนแปลงสีทุกครั้งจะต้องมีการล้างหัวปืนพ่นสี หรือหากมีการพ่นสีเดียวกันติดต่อกันเกินจำนวนที่กำหนดก็จำเป็นจะต้องล้างหัวปืนพ่นสีเช่นเดียวกัน ดังนั้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดในการผลิต จึงจำเป็นต้องจัดลำดับการผลิตให้มีการละเมิดของตัวเลือกรวมน้อยที่สุด และจำนวนครั้งในการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

2.2.4 การจัดลำดับการผลิตแบบหลายวัตถุประสงค์ (Objective Function)

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 วัตถุประสงค์ โดยให้ค่าน้ำหนักความสำคัญเท่ากันทั้งหมด ดังนี้

2.2.4.1 จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

ลำดับในการผลิตรถยนต์จะมีผลอย่างมากต่อการพ่นสีรถยนต์แต่ละคัน เพราะหากลำดับการผลิตมีสีเดียวกันติดต่อกันก็ไม่มี ความจำเป็นจะต้องทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีและเปลี่ยนน้ำยาในการพ่น ซึ่งเป็นการลดต้นทุนในการผลิต แต่หากมีการพ่นสีเดียวกันติดต่อกันหลายลำดับเกินค่าที่กำหนดนั้นจำเป็นที่จะต้องมีการล้างทำความสะอาดหัวปืนพ่นสี เนื่องจากหากไม่ทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีจะมีการอุดตันและสีที่พ่นออกมาจะไม่มีคุณภาพ สูตรการคำนวณ (Chutima and Olarnvichai, 2016) ดังสมการที่ 2.2

$$f_1(x) = \sum_{k=0}^{nc} \delta_{COL_{k,k+1}} \quad (2.2)$$

- เมื่อ $f_1(x)$ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสี
- $\delta_{COL_{k,k+1}}$ คือ การเปลี่ยนสีพ่นรถยนต์ ณ ตำแหน่ง k และ $k+1$
โดย $\delta_{COL_{k,k+1}} = 1$ เมื่อมีการเปลี่ยนสีพ่นรถยนต์ และ $\delta_{COL_{k,k+1}} = 0$ เมื่อไม่มีการเปลี่ยนสีพ่นรถยนต์
- k คือ ตำแหน่งใดๆในลำดับการผลิต โดยที่ $k \in [1, nc]$ เมื่อพิจารณาลำดับการผลิตในรอบการผลิตปัจจุบัน $k \in [-\infty, 0]$ เมื่อพิจารณาลำดับการผลิตในรอบการผลิตก่อนหน้า และ $k \in [nc + 1, \infty]$ เมื่อพิจารณาลำดับการผลิตในรอบการผลิตถัดไป
- nc คือ ผลรวมสัดส่วนการผลิต

2.2.4.2 ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด

ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิต คือ ผลรวมของปริมาณงานของทุกผลิตภัณฑ์ที่ทำไม่เสร็จในรอบเวลาการทำงานนั้นๆในแต่ละชั้นงานบนสายการประกอบ ยิ่งปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตมีค่าน้อยจะทำให้ประหยัดเวลาที่ใช้ในกระบวนการประกอบ ลดต้นทุนในด้าน Utility Worker และสายการประกอบจะมีความไหลลื่นและมีประสิทธิภาพที่มากยิ่งขึ้น สูตรการคำนวณ (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013) ดังสมการที่ 2.3 สมการที่ 2.4 และสมการที่ 2.5

$$f_2(x) = \sum_{n_m=1}^{N_M} \left(\sum_{i=1}^I U_{i,n_m} + Z_{(i=1),n_m} / v_c \right) \quad (2.3)$$

$$U_{i,n_m} = \left\{ \max \left[0, \frac{(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^M x_{i,m} (t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}) - L_{n_m})}{v_c} \right], \max \left[0, \frac{(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^M x_{i,m} (t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}) - L_{n_m})}{v_c} \right] \right\} \quad (2.4)$$

$$Z_{(i+1),n_m} = \max \left\{ \max \left[0, \min \left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^M X_{i,m} (t_{2n_m-1,m} + Y_{2n_m-1,m}) - \gamma_c, L_{n_m} - \gamma_c \right) \right], \max \left[0, \min \left(Z_{i,n_m} + v_c \sum_{m=1}^M X_{i,m} (t_{2n_m,m} + Y_{2n_m,m}) - \gamma_c, L_{n_m} - \gamma_c \right) \right] \right\} \quad (2.5)$$

- เมื่อ $f_2(x)$ คือ ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิต
- N_M คือ คู่สถานีงาน (Mated Station) โดย $n_m = 1, 2, \dots, N_M$

- U_{i,n_m} คือ ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในลำดับการผลิตที่ i ในคู่สถานีงาน n_m
- $Z_{(i+1),n_m}$ คือ เวลาเริ่มงานในลำดับการผลิตที่ i ในคู่สถานีงาน n_m
- v_c คือ ความเร็วของสายการผลิต
- $t_{2n_m-1,m}$ คือ เวลาดำเนินการทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่สถานีงานด้านซ้ายในคู่สถานีงาน n_m
- $t_{2n_m,m}$ คือ เวลาดำเนินการทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่สถานีงานด้านขวาในคู่สถานีงาน n_m
- $Y_{2n_m-1,m}$ คือ เวลาเดินเปล่าทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่สถานีงานด้านซ้ายในคู่สถานีงาน n_m
- $Y_{2n_m,m}$ คือ เวลาเดินเปล่าทั้งหมดของผลิตภัณฑ์ m ที่สถานีงานด้านขวาในคู่สถานีงาน n_m
- γ คือ ช่วงเวลาการปล่อยผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายการผลิต (Launch Interval)
- L_{n_m} ความยาวของคู่สถานีงาน n_m

2.2.4.3 จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดร่น้อยที่สุด

รถยนต์แต่ละรุ่นจะมีตัวเลือกที่ต่างกัน โดยในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์นั้น จำเป็นต้องพิจารณาตัวเลือกของรถยนต์พยายามไม่ให้ผลิตเกินค่าที่กำหนด โดยพิจารณาจากค่าอัตราส่วน p/q (เมื่อ p คือ ความต้องการตัวเลือก และ q คือ จำนวนลำดับการผลิตย่อย) เช่น อัตราส่วนการประกอบระบบเบรค ABS เท่ากับ 1 ต่อ 3 จะหมายความว่า ในการผลิตรถยนต์ทุกๆ 3 คันจะมีรถยนต์ที่ทำการประกอบตัวเลือกนี้ได้ไม่เกิน 1 คัน ถ้ามีการเกินจะนับจำนวนที่เกินเป็นจำนวนการละเมิดที่เกิดขึ้น สูตรการคำนวณ (Chutima and Olarnviwatchai, 2016) ดังสมการที่ 2.6

$$f_3(x) = \sum_{o \in O} \left\{ NPV_{o; i \in day J} \left\| \bigcup_{i=-q_o+1}^{nc} PV_o(i, \dots, i+q_o-1) \right\| \right\} \quad (2.6)$$

- เมื่อ $f_3(x)$ คือ จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดร่น้อยที่สุด
- o คือ ตัวเลือก (Options) เมื่อ $o = 0, 1, 2, \dots, O$
- $NPV_{o; i \in day J} \left\| \right\|$ คือ เซตของตัวเลือกที่มีการละเมิดเกิดขึ้นจากตำแหน่งที่ i ถึง $i+q_o-1$
- $PV_o(i, \dots, i+q_o-1)$ คือ การนับจำนวนที่มีการละเมิดของตัวเลือก o ในวันที่ J
- \bigcup คือ Union operator

2.2.5 การคำนวณฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ตารางที่ 2.1 ข้อมูลนำเข้า

Stings	Model Sequences
1	C A C B B A C B C

พิจารณาวัตถุประสงค์ที่ 1 จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ในการพิจารณาจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุดจำเป็นต้องมีข้อมูลจำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น ดังตารางที่ 2.2 และลำดับการพ่นสีของวันก่อนหน้า

ตารางที่ 2.2 จำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น

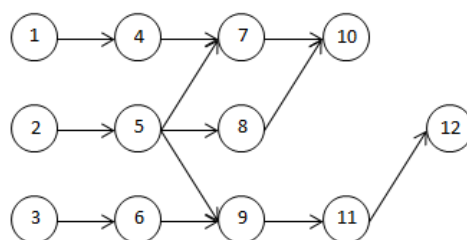
สี	จำนวนรถยนต์สีเดียวกันติดต่อกันได้ ไม่เกิน/คัน	จำนวนสีแต่ละรุ่นรถยนต์		
		A	B	C
1	2	1	1	0
2	2	0	1	1
3	2	0	1	0
4	2	1	1	0
5	2	0	0	1

ยกตัวอย่างลำดับการผลิต คือ CACBBACBC โดยที่จะนำเอาลำดับสุดท้ายของวันที่ผ่านมา มาวางในตำแหน่งที่ -1 เพื่อเป็นการพิจารณาว่าจะต้องมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีก่อนหรือไม่ โดยเมื่อมีการทำความสะอาดหัวปืนพ่นสีจะนับเป็นการเปลี่ยนแปลงสีหนึ่งครั้ง ทำแบบนี้จนครบลำดับการผลิตของวันนั้น

ตารางที่ 2.3 การคำนวณหาค่าจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด

ลำดับ	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9
รถยนต์	B	C	A	C	B	B	A	C	B	C
สี	2	5	1	5	4	4	4	2	2	2
จำนวนครั้งการเปลี่ยนสี	-	1	1	1	1	0	1	1	0	1
ผลรวม										7

พิจารณาวัตถุประสงค์ที่ 2 คือ ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด ในการพิจารณาปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตจำเป็นต้องอาศัยข้อมูลจากการจัดสมดุลการผลิต คือ แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม ดังรูปที่ 2.11 ชิ้นงานและเวลาดำเนินงาน ดังตารางที่ 2.4 และสายการประกอบที่จัดสมดุลแล้ว ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.11 แผนภาพความสัมพันธ์ของผลิตภัณฑ์รวม A, B และ C

จากรูปที่ 2.11 คือแผนภาพความสัมพันธ์ของแต่ละชั้นงานตามลำดับก่อนหลังของผลิตภัณฑ์รวม A B และ C รวมกัน ซึ่งจากรูปจะมีทั้งหมด 12 ชั้นงาน นั้นหมายความว่า มีจำนวนชั้นงานมากที่สุดคือ 12 ชั้นงาน แต่บางผลิตภัณฑ์อาจจะไม่ต้องทำบางชั้นงานก็ได้

ตารางที่ 2.4 ชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์ A, B และ C

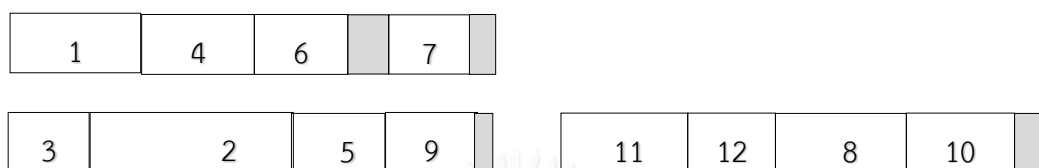
ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน (ต่อ 1 หน่วย)			เวลาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก
	A	B	C	
1	2	3	1	1.88
2	3	3	3	3
3	2	0	1	1.33
4	3	2	1	1.77
5	1	2	3	2.22
6	1	0	2	1.66
7	1	2	1	1.33
8	3	1	2	1.88
9	2	1	0	1.40
10	2	3	1	1.88
11	1	2	3	2.22
12	0	1	2	1.57

หมายเหตุ ชั้นงานที่ 12 เป็นชั้นงานหลังคาเปิด-ปิด มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต $1/3$ ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 3 เป็นชั้นงานกันชนนิรภัย มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต $2/3$ ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 6 เป็นชั้นงานวิทยุ มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต $1/3$ ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 9 เป็นชั้นงานระบบ ABS มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย จากตารางที่ 2.4 แสดงชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรุ่นรถยนต์ A B และ C ก่อนทำการจัดลำดับการผลิต จะสังเกตรถยนต์ทั้งสามรุ่นจะมีบางชั้นงานที่เหมือนกัน แต่รถยนต์บางรุ่นจะไม่มี การทำชั้นงานบางชั้นงานที่เป็นชั้นงานเกี่ยวข้องตัวเลือก (Options) โดยในตัวอย่างนี้กำหนดสัดส่วนการผลิตของรถยนต์แต่ละรุ่น คือ 2:3:4 ตามลำดับ เมื่อทำการจัดสมดุลการประกอบแล้วจะได้สายการประกอบที่สมดุลแล้วดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่มีความสมดุล

ตารางที่ 2.5 เวลาดำเนินงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีงานและความยาวสถานีงาน

สถานีงาน	Model Sequence									ความยาวสถานีงาน
	C	A	C	B	B	A	C	B	C	
1	8	7	8	7	7	7	8	7	8	8
2	7	8	7	6	6	8	7	6	7	8
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	8
4	8	6	8	7	7	6	8	7	8	8

จากตารางที่ 2.5 เป็นการคำนวณเวลาที่แต่ละผลิตภัณฑ์ในแต่ละสถานีงาน เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณค่าปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุดต่อไป

เมื่อได้เวลาในการประกอบในการจัดลำดับการผลิตแบบ C A C B B A C B C ของแต่ละสถานีงานมาแล้ว ในการจัดสมดุลการผลิตนี้จะกำหนดให้รอบเวลาการผลิตทั้งหมดของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Cycle time) เท่ากับ 8 ซึ่งจะเท่ากับความยาวสถานีงาน จากนั้นจะทำการคำนวณค่าดังนี้ ค่า I คือ จำนวนหน่วยทั้งหมดของทุกผลิตภัณฑ์ หรือความต้องการในการผลิตทั้งหมดในทุก

$$\text{ผลิตภัณฑ์ มาจาก } d_1 = 2, d_2 = 3, d_3 = 4 \therefore I = \sum_{m=1}^3 d_m = 2 + 3 + 4 = 9$$

ค่า T คือ เวลาดำเนินการทั้งหมดของการผลิตหนึ่งรอบเวลาการผลิต ซึ่งก็คือผลรวมของค่าที่มากที่สุดของเวลาดำเนินการที่รวมกันของแต่ละคู่สถานีงาน

$$T = \sum_{n_m=1}^{N_M} \max \left[\sum_{m=1}^M (t_{2n_{m-1},m} d_m + Y_{2n_{m-1},m}), \sum_{m=1}^M (t_{2n_{m,m}} d_m + Y_{2n_{m,m}}) \right] \quad (2.7)$$

$$T = \max(8 + 8 + \dots + 9, 7 + 7 + \dots + 8) + \max(0 + 0 + \dots + 0, 8 + 8 + \dots + 8)$$

$$T = \max(67, 62) + \max(0, 65)$$

$$T = 67 + 65 = 132$$

ค่า γ คือ ช่วงเวลาการปล่อย (Launch Interval) ผลิตภัณฑ์เข้าสู่สายพานการผลิต

$$\gamma = \frac{T}{I * N_m} = \frac{132}{9 * 2} = 7.33$$

ค่า w คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ย้อนกลับของพนักงานเพื่อเริ่มต้นผลิตผลิตภัณฑ์ถัดไป

$$w = \gamma * v_c = 7.33 * 1 = 7.33$$

โดยจะเริ่มจากคู่สถานีงานที่ 1 สถานีงานซ้ายคือสถานีงานที่ 1 และสถานีงานขวาคือสถานีงานที่ 2 สามารถคำนวณหาค่า Utility Work ของคู่สถานีงาน ได้ผลดังนี้

ตารางที่ 2.6 การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 1 และสถานีงานที่ 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	$Z_{21} = \max(0, \min(0+8-7.33, 8-7.33), \min(0+7-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{11} = \max(0, (0+8-8)) + \max(0, (0+7-8)) = 0$
2	$Z_{31} = \max(0, \min(0.67+7-7.33, 8-7.33), \min(0.67+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{21} = \max(0, (0.67+7-8)) + \max(0, (0.67+8-8)) = 0.67$
3	$Z_{41} = \max(0, \min(0.67+8-7.33, 8-7.33), \min(0.67+7-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{31} = \max(0, (0.67+8-8)) + \max(0, (0.67+7-8)) = 0.67$
4	$Z_{51} = \max(0, \min(0.67+7-7.33, 8-7.33), \min(0.67+6-7.33, 8-7.33)) = 0.34$	$U_{41} = \max(0, (0.67+7-8)) + \max(0, (0.67+6-8)) = 0$

ตารางที่ 2.6 (ต่อ) การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 1 และสถานีงานที่ 2

i	$Z_{(i+1)j} = \max[0, \min[Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - w, L_j - w]]$	$U_{ij} = \max[0, (Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - L_j) / v_c]$
5	$Z_{61} = \max(0, \min(0.34+7-7.33, 8-7.33), \min(0.34+6-7.33, 8-7.33)) = 0.01$	$U_{51} = \max(0, (0.34+7-8)) + \max(0, (0.34+6-8)) = 0$
6	$Z_{71} = \max(0, \min(0.01+7-7.33, 8-7.33), \min(0.01+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{61} = \max(0, (0.01+7-8)) + \max(0, (0.01+8-8)) = 0.01$
7	$Z_{81} = \max(0, \min(0.67+8-7.33, 8-7.33), \min(0.67+7-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{71} = \max(0, (0.67+8-8)) + \max(0, (0.67+7-8)) = 0.67$
8	$Z_{91} = \max(0, \min(0.67+7-7.33, 8-7.33), \min(0.67+6-7.33, 8-7.33)) = 0.34$	$U_{81} = \max(0, (0.67+7-8)) + \max(0, (0.67+6-8)) = 0$
9	$Z_{101} = \max(0, \min(0.34+8-7.33, 8-7.33), \min(0.34+7-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{91} = \max(0, (0.34+8-8)) + \max(0, (0.34+7-8)) = 0.34$
$\therefore \sum_{i=1}^6 U_{i,1} + Z_{7,1} / v_c = (0 + 0.67 + \dots + 0.34) + 0.67 = 3.03$		

ตารางที่ 2.7 การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 3 และสถานีงานที่ 4

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	$Z_{22} = \max(0, \min(0+0-7.33, 8-7.33), \min(0+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{12} = \max(0, (0+0-8)) + \max(0, (0+8-8)) = 0$
2	$Z_{32} = \max(0, \min(0.67+0-7.33, 8-7.33), \min(0.67+6-7.33, 8-7.33)) = 0$	$U_{22} = \max(0, (0.67+0-8)) + \max(0, (0.67+6-8)) = 0$
3	$Z_{42} = \max(0, \min(0+0-7.33, 8-7.33), \min(0+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{32} = \max(0, (0+0-8)) + \max(0, (0+8-8)) = 0$
4	$Z_{52} = \max(0, \min(0.67+0-7.33, 8-7.33), \min(0.67+7-7.33, 8-7.33)) = 0.34$	$U_{42} = \max(0, (0.67+0-8)) + \max(0, (0.67+7-8)) = 0$

ตารางที่ 2.7 (ต่อ) การคำนวณหาค่า Utility Work สถานีงานที่ 3 และสถานีงานที่ 4

i	$Z_{(i+1)j} = \max[0, \min[Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - w, L_j - w]]$	$U_{ij} = \max[0, (Z_{ij} + v_c \sum_{m=1}^M X_{im} t_{jm} - L_j) / v_c]$
5	$Z_{62} = \max(0, \min(0.34+0-7.33, 8-7.33), \min(0.34+7-7.33, 8-7.33)) = 0.01$	$U_{52} = \max(0, (0.34+0-8))+ \max(0, (0.34+7-8)) = 0$
6	$Z_{72} = \max(0, \min(0.01+0-7.33, 8-7.33), \min(0.01+6-7.33, 8-7.33)) = 0$	$U_{62} = \max(0, (0.01+0-8))+ \max(0, (0.01+6-8)) = 0$
7	$Z_{82} = \max(0, \min(0+0-7.33, 8-7.33), \min(0+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{72} = \max(0, (0+0-8))+ \max(0, (0+8-8)) = 0$
8	$Z_{92} = \max(0, \min(0.67+0-7.33, 8-7.33), \min(0.67+7-7.33, 8-7.33)) = 0.34$	$U_{68} = \max(0, (0.67+0-8))+ \max(0, (0.67+7-8)) = 0$
9	$Z_{102} = \max(0, \min(0.34+0-7.33, 8-7.33), \min(0.34+8-7.33, 8-7.33)) = 0.67$	$U_{92} = \max(0, (0.34+0-8))+ \max(0, (0.34+8-8)) = 0.34$
$\therefore \sum_{i=1}^6 U_{i,2} + Z_{7,2} / v_c = (0 + 0 + \dots + 0.34) + 0.67 = 1.01$		

ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของปริมาณงานที่ไม่สำเร็จในการผลิตน้อยที่สุดรวมทั้งสองคู่สถานีงาน มีค่าเท่ากับ $3.03 + 1.01 = 4.04$

พิจารณาวัตถุประสงค์ที่ 3 คือ จำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด ในการพิจารณาจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดนั้นต้องอาศัยข้อมูลข้อกำหนดตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่น ดังตารางที่ 2.8 โดยที่ลำดับการผลิต คือ CACBBACBC

ตารางที่ 2.8 ข้อกำหนดตัวเลือกในแต่ละรุ่น

ตัวเลือก	อัตราส่วนข้อกำหนด (p/q)	รุ่นของรถยนต์		
		A	B	C
หลังคาเปิด-ปิด	1/3	0	1	1
กันชนนิรภัย	2/3	1	1	0
วิทยุ	1/3	0	1	0
ระบบเบรก ABS	1/3	1	0	1

ตารางที่ 2.9 จำนวนการละเมิดของแต่ละตัวเลือก (Options)

ลำดับ การผลิต รถยนต์	-3	-2	-1	1	2	3	4	5	6	7	8	9	9+1	9+2	9+3	จำนวน การ ละเมิด
	C	C	B	C	A	C	B	B	A	C	B	C	A	C	B	
1/3	1	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	1	0	1	1	7
2/3	0	0	1	0	1	0	1	1	1	0	1	0	1	0	1	1
1/3	0	0	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1	1
1/3	1	1	0	1	1	1	0	0	1	1	0	1	1	1	0	5
ผลรวม																14

จากตารางที่ 2.9 คือผลการคำนวณการละเมิดรวมของลำดับการผลิต CACBBACBC โดยมีวิธีการคำนวณและนับการละเมิด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 พิจารณาตัวเลือกของหลังคาเปิด-ปิด ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิตคือ CACBBACBC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับการผลิตย่อย ซึ่งจะนับจำนวนการละเมิดก็ต่อเมื่อในลำดับย่อยมีจำนวนตัวเลือกที่เกินจำนวนที่ต้องการ แต่ถ้าลำดับของตัวเลือกนั้นได้ถูกนับการละเมิดไปแล้วในลำดับย่อยที่ผ่านมาแล้วนั้นจะไม่นับเป็นการละเมิด เนื่องจากจะเกิดปัญหาของการนับซ้ำ ซึ่งการนับแบบนี้จะป้องกันปัญหาการนับซ้ำที่เกิดในแต่ละรอบของการนับจำนวนการละเมิดในแต่ละลำดับย่อย ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้น ซึ่งเท่ากับ 3 ($q=3$) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C B และ C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ B และ C ต้องทำการประกอบตัวเลือกของหลังคาเปิด-ปิด นี้จึงทำให้ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับที่ 1 ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงนับเป็น 1 การละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 1 ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ B C และ A ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่าเฉพาะรถยนต์ A ที่ไม่ต้องทำการประกอบตัวเลือกหลังคาเปิด-ปิดนี้ ทำให้ผลิตเกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 แต่ไม่นับเป็น 1 การละเมิด เนื่องจากที่ลำดับการผลิตที่ 1 ได้ถูกนับไปแล้วในลำดับการผลิตก่อนหน้า จากนั้นพิจารณาที่ลำดับการผลิตที่ 1 จนถึงลำดับที่ 3 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C A และ C ตามลำดับ ซึ่งมีเฉพาะรถยนต์ C ที่ทำการประกอบตัวเลือกหลังคาเปิด-ปิดนี้ ซึ่งทำให้เกินข้อกำหนดอัตราส่วน 1 ต่อ 3 จึงนับเป็น 1 การ

ละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 3 ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆ ไปจนครบลำดับการผลิตทั้งหมด จะพบว่าจะมีจำนวนการละเมิดรวมของตัวเลือกหลังคาเปิด-ปิด ทั้งหมด 7 การละเมิด

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาตัวเลือกกันชนนิรภัยที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต $2/3$ ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิต คือ CACBBACBC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับ ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้นซึ่งเท่ากับ 3 ($q=3$) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C B และ C ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C ไม่มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้ไม่เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ B C และ A ตามลำดับ ซึ่งรถยนต์ A และ B ต้องทำการประกอบตัวเลือกนี้ แต่ยังไม่เกินอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ 1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 3 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C A และ C ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C ไม่มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้ไม่เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ซึ่งจะพบว่าจะมีจำนวนการละเมิดรวมของตัวเลือกของระบบกันชนนิรภัยมีทั้งหมด 1 การละเมิด

ขั้นตอนที่ 3 พิจารณาตัวเลือกของวิทยุ ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต $1/3$ ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิต คือ CACBBACBC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับ ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้นซึ่งเท่ากับ 3 ($q=3$) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C B และ C ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C ไม่มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้ไม่เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ B C และ A ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C และ A ไม่มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้ไม่เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ 1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 3 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C A และ C ซึ่งจะเห็นว่าทั้งรถยนต์ A และ C ไม่มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้ไม่เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2 ต่อ 3 จึงไม่นับเป็นการละเมิด พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ซึ่งจะพบว่ามีจำนวนการละเมิดตัวเลือกของวิทยุนี้ทั้งหมด 1 การละเมิด

ขั้นตอนที่ 4 พิจารณาตัวเลือกของระบบเบรก ABS ที่มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

จากลำดับการผลิต คือ CACBBACBC โดยจะนับจำนวนการละเมิดทุกๆ 3 ลำดับ ตัวอย่างการนับการละเมิด เริ่มที่ลำดับการผลิตที่ -2 จนถึงลำดับการผลิตที่ 1 เนื่องจากการนับจำนวนการละเมิดจะต้องพิจารณาวันก่อนหน้านี้โดยจะพิจารณาลำดับย่อยนั้นจะขึ้นอยู่กับจำนวนย่อยตัวเลือกนั้นซึ่งเท่ากับ 3 ($q=3$) โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C B และ C ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงนับเป็นการละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 1 ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ -1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 2 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ B C และ A ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ C และ A มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงนับเป็น 1 การละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 2 ต่อไปพิจารณาลำดับการผลิตที่ 1 จนถึงลำดับการผลิตที่ 3 โดยมีรถยนต์ที่ต้องผลิตคือ C A และ C ซึ่งจะเห็นว่ารถยนต์ A และ C มีการประกอบตัวเลือกนี้ ทำให้การประกอบตัวเลือกนี้เกินข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1 ต่อ 3 จึงนับเป็นการละเมิดที่ลำดับการผลิตที่ 3 พิจารณาแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบลำดับการผลิต ซึ่งจะพบว่าจำนวนการละเมิดตัวเลือกของระบบเบรก ABS ทั้งหมด 5 การละเมิด

2.3 การวัดสมรรถนะของอัลกอริทึม

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของอัลกอริทึม จะพิจารณาจากกลุ่มคำตอบที่แต่ละอัลกอริทึมหาได้มาหากกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเรียกว่า กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Frontier) จากนั้นนำกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมแต่ละอัลกอริทึมหาได้มาเปรียบเทียบสมรรถนะระหว่างกัน เพื่อหาว่าอัลกอริทึมใดที่มีสมรรถนะในการแก้ปัญหาได้ดีกว่า

กลุ่มคำตอบที่ความเหมาะสมที่สุดควรจะเป็นกลุ่มคำตอบที่มีจำนวนคำตอบที่มากเพียงพอ มีความหลากหลาย และมีความใกล้เคียงกับคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง งานวิจัยนี้อาศัยตัวชี้วัดเชิงปริมาณเพื่อประเมินและเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมต่างๆ ด้วย 6 ตัวชี้วัด โดยที่งานวิจัยที่ผ่านมา Kumar and Singh (2007) ได้นำเสนอไว้ 3 ตัวชี้วัด คือ การลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต การกระจายตัว และอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ แต่ในงานวิจัยนี้ได้เพิ่มตัวชี้วัดด้านจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด และ เวลาในการค้นหาคำตอบ

2.3.1 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-optimal Set) เป็นการเปรียบเทียบระยะทางระหว่างกลุ่มคำตอบที่ได้ (Obtained Pareto Optimal Solution) กับกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดหรือกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (True-Pareto Optimal Solution) โดยมีการสูตรคำนวณดังสมการที่ 2.8

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

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

S_j คือ เซตคำตอบในการเปรียบเทียบ

S^* คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$|S^*|$ คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

d_{xy} คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่หาได้ x กับ y คำตอบที่แท้จริง

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

$f_i(x)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่หาได้

$f_i(y)$ คือ ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ i ของคำตอบที่แท้จริง

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง นั่นคือ อัลกอริทึมนั้นเป็นอัลกอริทึมที่ดีกว่า

2.3.2 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการวัดการกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) เป็นการวัดระยะห่างระหว่างสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน โดยมีการสูตรคำนวณดังสมการที่ 2.9

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

กำหนดให้ d_f & d_l คือระยะห่างระหว่างคำตอบปลายสุดทั้งสองด้าน

\bar{d} คือ ค่าเฉลี่ยของระยะทาง d_i

d_i คือ ระยะห่างระหว่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันในเซตคำตอบที่ดีที่สุด

เมื่อ $i = 1, 2, \dots, N - 1$

N คือ จำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้

ถ้าตัววัดชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 0 แสดงว่ากลุ่มคำตอบของอัลกอริทึมที่ได้นั้นมีการกระจายตัวดี

2.3.3 ตัวชี้วัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ

การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านอัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Ratio of Non-Dominated Solution) นี้ไว้ใช้แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่หามาได้โดยอัลกอริทึมที่พิจารณานั้นมีจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำจากคำตอบที่อัลกอริทึมอื่น ๆ หามาได้ทั้งหมดคิดเป็นอัตราส่วนเท่าใด โดยแบ่งค่าชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนเป็น 2 ค่าชี้วัดสมรรถนะดังต่อไปนี้

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

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุด (First Pareto frontier solution) ที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Approximated True Pareto optimum) ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่ดีในตัวเอง (Own first Pareto frontier solutions) โดยมีสมการการคำนวณดังสมการที่ 2.10

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

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

เป็นการเปรียบเทียบระหว่างจำนวนของคำตอบที่ได้ในเส้นขอบเขตที่ดีที่สุดที่อยู่ในจำนวนคำตอบที่แท้จริง ว่ามีอัตราส่วนเป็นเท่าไรเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง โดยมีสมการการคำนวณดังสมการที่ 2.11

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

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

A คือ เซตที่รวมเอาเซตคำตอบที่เหมาะสมที่สุดหามาได้ของทุกอัลกอริทึมเข้าไว้ด้วยกัน

ซึ่ง $A = A_1 \cup A_2 \dots \cup A_j$

x คือ คำตอบที่หาได้

y คือ เซตคำตอบที่แท้จริง

$y < x$ คือ คำตอบ x เด่นกว่าคำตอบ y

ถ้าตัวชี้วัดสมรรถนะนี้มีค่าเข้าใกล้ 1 แสดงว่ากลุ่มคำตอบที่ได้นั้นมีคำตอบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง

2.3.4 ตัวชี้วัดสมรรถนะของจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ

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

2.3.5 ตัวชี้วัดด้านเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time)

เวลาในการค้นหาคำตอบ คือ การพิจารณาเวลาในการค้นหากลุ่มคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม โดยอัลกอริทึมที่ดีควรใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุด

2.4 ตรรกศาสตร์คลุมเครือ (Fuzzy Logic)

ปัญหาที่เกิดขึ้นในความเป็นจริง ส่วนใหญ่มักจะเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนและยุ่งยาก เนื่องจากข้อมูลที่มีความไม่ชัดเจน หรือไม่มีค่าที่แน่นอน ดังนั้นในการแก้ปัญหาลักษณะเช่นนี้จึงจำเป็นต้องมีการพัฒนาเครื่องมือให้เหมาะสมกับความซับซ้อนและยุ่งยากของปัญหา ซึ่งวิธีการที่มีความเหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนน้อย คือ Mathematical Equation สำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนปานกลางเครื่องมือที่มีความเหมาะสม คือ Model Free Method เช่น Artificial Neural Networks และสำหรับปัญหาที่มีความซับซ้อนมากๆ วิธีการที่เหมาะสม คือ Fuzzy System (Ross, 2010)

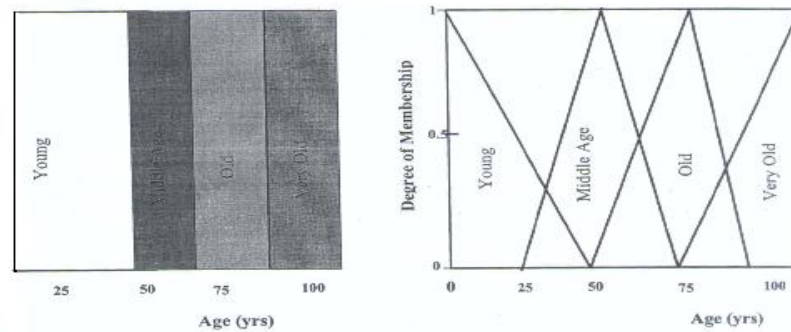
2.4.1 ทฤษฎีฟัซซี่

แนวคิดเรื่องฟัซซี่ เป็นเครื่องมือพื้นฐานทางคณิตศาสตร์ที่ตั้งอยู่บนพื้นฐานของเหตุผลง่ายๆ คือ “ถ้า X และ Y ดังนั้น Z” เป็นเครื่องมือทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยแก้ไขความไม่ชัดเจน คลุมเครือของข้อมูล และแก้ไขปัญหาในลักษณะที่มีความไม่แน่นอนทางภาษา ซึ่งเป็นลักษณะของปัญหาที่พบโดยทั่วไปในความเป็นจริง โดยแนวคิดเรื่องฟัซซี่เริ่มต้นขึ้นโดย Prof.Lotfi A. Zadeh แห่ง University of California at Berkeley ในช่วงปี ค.ศ.1960 ในบทความเกี่ยวกับการสร้างแบบจำลองของความไม่แน่นอนของภาษาธรรมชาติ ซึ่งพบว่าฟัซซี่สามารถช่วยแก้ปัญหาดังกล่าวได้ง่ายขึ้นได้เป็นอย่างมาก

ฟัซซี่เซต คือ เซตที่มีขอบเขตของเซตคลุมเครือ สมาชิกในฟัซซี่เซตไม่จำเป็นต้องมีค่าความเป็นสมาชิก (Membership, μ) เป็นเพียงค่า “เป็นสมาชิก” หรือ “ไม่เป็นสมาชิก” หรือเป็น “1” หรือ “0” เท่านั้น ซึ่งต่างกับเซตธรรมดา (Crisp set) ที่มีค่าความเป็นสมาชิกเป็น “1” หรือ “0” เท่านั้น ดังนั้นฟัซซี่เซตสามารถช่วยจัดปัญหาความคลุมเครือ ความไม่แน่นอนของระดับความเป็นสมาชิกได้ โดยระดับความเป็นสมาชิกสามารถระบุเป็นมีความเป็นสมาชิกมาก หรือมีค่าความเป็นสมาชิกน้อยได้ โดยฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของเซตธรรมดาและฟัซซี่เซต ดังสมการที่ 2.12 และสมการที่ 2.13

$$\text{เซตธรรมดา } X_A(x) = \begin{cases} 1, & x \in A \\ 0, & x \notin A \end{cases} \quad (2.12)$$

$$\text{เซตฟัซซี } \mu_A(x) \in [0,1] \quad (2.13)$$

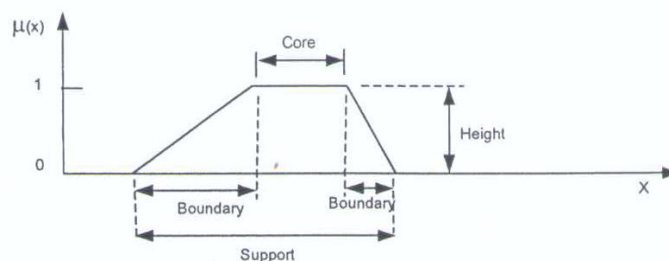


รูปที่ 2.13 ลักษณะเซตธรรมดา (ซ้าย) และลักษณะเซตฟัซซี (ขวา) (Djam, Wajiga et al., 2011)

จากรูปที่ 2.13 สามารถอธิบายได้ว่า เซตธรรมดามีการแบ่งช่วงอายุเป็น Young , Middle age, Old และ Very old ซึ่งแบ่งด้วยช่วงอายุที่แน่นอน แต่หากพิจารณาผู้ที่มีอายุ 49 ปี ซึ่งจะจัดอยู่ในช่วงอายุ Young แต่หากพิจารณาจะพบว่าผู้ที่มีอายุดังกล่าวอยู่ในช่วงอายุใกล้เคียงกับช่วง Middle age มากกว่า ในขณะที่ฟัซซีเซตจัดให้ผู้ที่มีอายุ 49 ปี อยู่ในช่วง Middle age ด้วยค่าความเป็นสมาชิกใกล้เคียง 1 และจัดอยู่ในช่วง Young ด้วยค่าความเป็นสมาชิกใกล้เคียง 0 หรือกล่าวได้ว่าผู้ที่มีอายุ 49 ปี ควรจัดอยู่ในช่วงอายุ Middle age มากกว่า Young

2.4.2 ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก

ฟังก์ชันการเป็นสมาชิก (Membership Function) ของฟัซซีเซตใดๆ สามารถอธิบายได้ในรูปแบบของกราฟ โดยมีส่วนประกอบต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 15



รูปที่ 2.14 กราฟแสดงลักษณะฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟัซซีเซต

1. แกน (Core) คือ ขอบเขตของฟัซซีเซตที่ทุกๆค่า $x \in X$ มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเท่ากับ 1 ($\mu_A(x) = 1$)

2. ซัพพอร์ต (Support) คือ ขอบเขตฟัซซีเซตที่ทุกๆค่า $x \in X$ มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากกว่า 0 ($\mu_A(x) > 0$)

3. เบนต์รี (Boundary) คือ ขอบเขตของฟัซซีเซตที่ทุกๆค่า $x \in X$ มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมากกว่า 0 แต่น้อยกว่า 1 ($0 < \mu_A(x) < 1$)

4. ความสูง (Height) คือ ความสูงของฟัซซีเซตเป็นค่าสูงสุดของค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิก ($\mu_A(x)$) ใน X

2.4.3 การแปลงค่าผลลัพธ์แบบฟัซซีกลับเป็นค่าที่แน่นอน

การนำฟัซซีมาใช้แก้ปัญหาที่มีความคลุมเครือ ไม่แน่นอน หรือใช้แทนค่าของตัวแปรทางภาษา ซึ่งตัวแปรที่มีค่าเป็นภาษามนุษย์ อาจจะมีค่าว่า มาก น้อย ปานกลาง ซึ่งคำตอบที่ออกมาจะอยู่ในรูปฟัซซี ซึ่งจะไม่สามารถนำไปใช้งานได้จริงในการทำงาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องแปลงค่าทางฟัซซีให้เป็นค่าคำตอบที่แน่นอน (Fuzzy to Crisp Conversion) ซึ่งเรียกวิธีการแปลงค่านี้ว่า Fuzzification โดยวิธีการแปลงค่าผลลัพธ์แบบฟัซซีกลับเป็นค่าที่แน่นอนที่มีการใช้อยู่อย่างแพร่หลาย มี 7 วิธี (Hellendoorn and Thomas, 1993) ดังนี้

1. Max – membership principle หรือ Height Method คือ เลือกจุดที่มีค่าฟังก์ชันการเป็นสมาชิกสูงสุด

2. Centroid Method หรือ Center of Area หรือ Center of gravity ซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายมากที่สุด ดังสมการที่ 2.14

$$Z^* = \frac{\int \mu_c(Z) \cdot Z dZ}{\int \mu_c(Z) dZ} \quad (2.14)$$

3. Weighted Average Method คือวิธีที่ใช้ในกรณีที่ฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีความสมมาตร และมีมากกว่า 1 รูป โดยนำค่าความเป็นสมาชิกคูณกับจุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดของกราฟแต่ละรูป แล้วนำมาคำนวณหาค่าเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.15

$$Z^* = \frac{\sum \mu_c(Z) \cdot Z dZ}{\sum \mu_c(Z)} \quad (2.15)$$

4. Mean – Max Membership หรือ Middle of maxima ซึ่งเป็นวิธีการที่มีความคล้ายคลึงกับ Max – membership principle แต่วิธีการนี้จะใช้ในกรณีที่ค่าการเป็นสมาชิกสูงสุดเท่ากันหลายจุด จึงต้องทำการหาเฉลี่ย ดังสมการที่ 2.16

$$Z^* = \frac{a+b}{2} \quad (2.16)$$

5. Center of Sum วิธีนี้จะทำให้ได้คำตอบที่รวดเร็วกว่าวิธีการอื่นๆ โดยจะคล้ายคลึงกับวิธี Weighted Average แต่วิธีนี้จะทำการหาจุดศูนย์กลางของพื้นที่หลังทำการรวมพื้นที่ภายใต้กราฟที่แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกหลายๆอันเข้าด้วยกันโดยการยูเนียน ซึ่งจะมีข้อเสียคืออาจมีการรวมพื้นที่ส่วนที่มีการอินเตอร์เซกชันกันซ้ำซ้อนทำให้พื้นที่หลังการรวมมีขนาดใหญ่กว่าความเป็นจริง สมการการหา Center of Sum ดังสมการที่ 2.17

$$Z^* = \frac{\int_Z Z \sum_{k=1}^n \mu_{Ck}(Z) dZ}{\int_Z \sum_{k=1}^n \mu_{Ck}(Z) dZ} \quad (2.17)$$

6. Center of Large Area ใช้ในกรณีที่ผลลัพธ์มีลักษณะที่ประกอบด้วยเซตของฟังก์ชันอย่างน้อย 2 เซต ทำให้กราฟมีลักษณะที่เป็นแบบนอนคอนเวค คือมีการเพิ่มขึ้นและลดลงของเส้นกราฟมากกว่า 1 ครั้ง ดังนั้นการหาคำตอบทำได้โดยหาจุดศูนย์กลางของเซตที่มีรูปกราฟแสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกที่มีพื้นที่ขนาดใหญ่กว่า ซึ่งวิธีนี้จะคล้ายคลึงกับวิธี Centroid Method แตกต่างกันว่าวิธี Centroid Method ใช้กับกรณีที่มีเซตของฟังก์ชันเพียงเซตเดียว สมการการหา Center of Large Area ดังสมการที่ 2.18

$$Z^* = \frac{\int \mu_{cm}(Z) \cdot Z dZ}{\int \mu_{cm}(Z) dZ} \quad (2.18)$$

7. First (or Last) of Maxima เป็นวิธีหาคำตอบโดยรวมพื้นที่ใต้กราฟที่แสดงฟังก์ชันการเป็นสมาชิกของฟังก์ชันเซตแต่ละเซตโดยการยูเนียนแล้วหาค่าการเป็นสมาชิกสูงสุด ดังสมการที่ 2.19

$$hgt(C_k) = \sup \mu_c \quad (2.19)$$

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เลือกใช้วิธี Weighted Average Method ในการแปลค่าทางฟuzzy กลับเป็นค่าที่แน่นอน

2.4.4 การประยุกต์ใช้ฟuzzy ลอจิก

ในปัจจุบันมีการนำอัลกอริทึมวิธีการบรรจบ (COIN) เข้ามาช่วยในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต ซึ่งจะได้ใช้กับการแก้ปัญหาโดยตรง แต่ COIN ก็ยังมีสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบไม่ค่อยดีนัก และเพื่อให้ได้คำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ยอมรับได้และความหลากหลายของคำตอบ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้มีการประยุกต์ใช้หลักการฟuzzy ร่วมกับอัลกอริทึมบรรจบ เรียกว่า อัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟuzzy ลอจิก (Combinatorial Optimization)

with Coincidence with Fuzzy Logic Algorithms) สำหรับการแก้ปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ เข้าสู่สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน เพื่อใช้ในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ k (ค่าในการให้รางวัลและลงโทษ) ให้มีความเหมาะสมกับสถานการณ์ที่แตกต่างกันไป เพื่อให้เกิดความเหมาะสมของคำตอบ ช่วยให้คำตอบเข้าใกล้คำตอบที่แท้จริงดีขึ้น คำตอบมีความหลากหลาย ช่วยให้คำตอบหลุดพ้นจากคำตอบเฉพาะที่ และมีค่าการกระจายตัวที่ดีขึ้น

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องในงานวิจัยฉบับนี้ได้แบ่งออกเป็น 4 ด้าน คือ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบแบบสองด้าน งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ฟัซซี่

2.5.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบแบบสองด้าน

Lee, Kim et al. (2001) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้าน มีการนำวิธีการจัดกลุ่มมาใช้ในกระบวนการจัดสรรชิ้นงานแต่ละชิ้นงานลงในสถานีงาน วัตถุประสงค์นั้นก็เพื่อให้ได้ Work Relatedness และ Work Slackness ที่มีค่าน้อยที่สุด โดยอาศัยความสัมพันธ์ของแต่ละชิ้นงานเป็นตัวกำหนด ซึ่งผลการทดลองพบว่าเวลาของรอบการทำงาน และสถานีงานลดน้อยลง

Ozcan and Toklu (2009) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้าน โดยได้นำเสนอ Mathematical Model, Pre-Emptive Goal Programming Model และ Fuzzy Goal Programming Model เพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์ก็คือเพื่อให้จำนวนคู่ของสถานีงาน และจำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด

Kim, Song et al. (2009) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลในสายการประกอบแบบสองด้าน โดยได้นำเสนอ Mathematical Model และเจเนติกอัลกอริทึมเข้ามาแก้ปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์คือเพื่อให้รอบเวลาการทำงานมีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนดค่าจำนวนของคู่สถานีงาน (Mated-Stations)

Ozcan and Toklu (2009) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน โดยได้นำเสนอ Mathematical Model และอัลกอริทึม Simulated Annealing มาใช้ โดยกำหนดวัตถุประสงค์คือเพื่อให้จำนวนคู่สถานีงาน (Mated-Stations) และจำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด โดยกำหนดค่าของรอบเวลาการทำงาน

Ozcan and Toklu (2010) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบแบบสองด้านโดยที่เวลาของการปรับตั้งเครื่องขึ้นอยู่กับลำดับของผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่ก่อนหน้า โดยได้นำเสนอวิธี Mixed Integer Program (MIP) และวิธี 2-COMSOAL/S มาใช้ โดยกำหนดวัตถุประสงค์คือเพื่อให้ค่าจำนวนของคู่สถานีงาน (Mated-Stations) และจำนวนสถานีงานมีค่าน้อยที่สุด ผลของการแก้ปัญหาที่ได้รับคือทั้งสองวิธีมีประสิทธิภาพที่ดีในการแก้ปัญหา

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม

McMullen and Frazier (200) ได้ศึกษาลักษณะการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตของระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) โดยได้นำเสนอวิธีเจเนติกอัลกอริทึม วิธี Simulated Annealing และวิธี Tabu Search มาใช้ โดยกำหนดวัตถุประสงค์ก็เพื่อให้ระบบการผลิตมีความยืดหยุ่นมากที่สุด และการปรับตั้งเครื่องมีค่าน้อยที่สุด แล้วทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพ ผลสรุปของงานวิจัยพบว่าวิธีทั้ง 3 วิธีมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาได้ใกล้เคียงกัน สำหรับปัญหาที่มีขนาดเล็ก และวิธีเจเนติกอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่าวิธี Simulated Annealing และวิธี Tabu Search

Kotani, Ito et al. (2004) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับการผลิตสำหรับผลิตภัณฑ์แบบผสมบนสายการประกอบของระบบการผลิตในบริษัทโตโยต้า ซึ่งคือระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยมีวัตถุประสงค์ก็เพื่อให้เกิดการหยุดของสายการผลิตน้อยที่สุด โดยจัดพนักงานเข้าไปช่วยและทำให้เกิดความสม่ำเสมอของการใช้ชิ้นส่วนประกอบ โดยใช้ Approximation Algorithm ในการช่วยค้นหาคำตอบที่เหมาะสม

Mansouri (2005) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมบนสายการประกอบในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just-In-Time) มาใช้ในการแก้ปัญหาโดยมีวัตถุประสงค์อัตราความผันแปรของการผลิตและจำนวนครั้งในการปรับตั้งน้อยที่สุด วัตถุประสงค์สองตัวนี้มีความแปรผันกันโดยตรง โดยนำวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ (Multi-Objective Genetic Algorithms: MOGAs) เข้ามาใช้แก้ปัญหา ผลการวิจัยได้ผลว่า MOGAs มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต

Konak, Coit et al. (2006) ได้ศึกษาการหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์โดยใช้เจเนติกอัลกอริทึมเข้ามาช่วยในการแก้ปัญหา ผลการวิจัยได้ผลว่าเจเนติกอัลกอริทึมให้ผลที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบของปัญหาที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยเจเนติกอัลกอริทึมได้มีการนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหามากมาย 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

นพพล คำภิรมย์ (2008) ได้ศึกษาลักษณะของปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณท์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณท์ผสมแบบตัวยูในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี โดยวัตถุประสงค์ก็การแก้ปัญหานี้ก็คือเพื่อให้เวลาการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุดและความผันแปรของภาระงานมีค่าน้อยที่สุด ในงานวิจัยนี้มีการใช้ตัววัดสมรรถนะกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดในการเปรียบเทียบ อัลกอริทึม 3 ตัว คือ ตัววัดสมรรถนะในด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence Measurement) การกระจายของกลุ่มคำตอบที่ได้ (Spread Measurement) และอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution)

กรรณ จิตเมตตา (2011) ได้ศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณท์ผสมแบบสองด้าน โดยมีการพิจารณาวัตถุประสงค์งานวิจัย 2 วัตถุประสงค์ไปพร้อมๆกัน ได้แก่ ค่าใช้จ่ายการปรับตั้งเครื่องจักรน้อยที่สุด และปริมาณงานที่ไม่เสร็จน้อยที่สุด และนำอัลกอริทึมได้แก่ NSGA-II, COMSOAL, DPSO, BBO และ PSONK แต่ละตัวมาเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาโดยผลการวิจัยพบว่าวิธี PSONK มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธีการอื่นๆ

วันวิสา นฤมิตวงศ์ (2012) ได้ศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณท์ผสมแบบสองด้าน โดยพิจารณาถึงผลกระทบจากการเรียนรู้เข้ามาเกี่ยวข้องด้วย มีการพิจารณาวัตถุประสงค์ของงานวิจัยทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์โดยไปพร้อมๆกัน ได้แก่ ความแปรผันของการผลิตน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จน้อยที่สุด และเวลาการปรับตั้งเครื่องน้อยที่สุด โดยนำอัลกอริทึมได้แก่ BBO, NSGA-II, DPSO, PSONK และ BBO Adaptive มาใช้ในการแก้ปัญหา โดยผลการวิจัยพบว่าวิธี BBO Adaptive มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธีการอื่นๆ

2.5.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

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

Zinflou, Gagne et al. (2008) ศึกษาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณท์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม PMS^{MO} (Pareto Memetic Strategy for multiple objective) มา

เปรียบเทียบกับ NSGAI มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับในอุตสาหกรรมรถยนต์สำหรับหลายวัตถุประสงค์ โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด สรุปว่าอัลกอริทึม PMS^{MO} เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหามากกว่าวิธี NSGAI

Zinflou, Gagne et al. (2012) ได้ศึกษาการจัดลำดับการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ โดยนำอัลกอริทึม GISMOO มาเปรียบเทียบกับ NSGAI กับ PMS^{MO} โดยศึกษา 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนการเปลี่ยนแปลงสี จำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญสูง และจำนวนการละเมิดตัวเลือกความสำคัญต่ำที่มีค่าน้อยที่สุด โดยวิธีการ GISMOO เป็นลูกผสมระหว่างวิธีทางพันธุกรรม (Genetic Algorithms: GA) และระบบภูมิคุ้มกันเทียม มาใช้ในการแก้ปัญหา สรุปว่าอัลกอริทึม GISMOO เป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา เนื่องจากวิธีการนี้แก้ปัญหาช่องว่างระหว่างทฤษฎีกับแนวทางการปฏิบัติในปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในอุตสาหกรรมรถยนต์

2.5.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้ฟัชชี

Hong and Wang (1999) เสนองานวิจัยการจัดลำดับงานเข้าสู่สายการประกอบแบบ Flexible Flow Shop ที่มีเวลาการทำงานแบบฟัชชี ซึ่งมีความแตกต่างกับสายการผลิตแบบ Flow Shop โดยทั่วไป คือ โดยทั่วไปใน 1 ศูนย์เครื่องจักรจะมีเครื่องจักรเพียงเครื่องเดียว แต่งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาการจัดลำดับงานในกรณีมีเครื่องจักรหลายๆเครื่องใน 1 ศูนย์เครื่องจักร และมีการประยุกต์ใช้หลักการฟัชชีร่วมกับวิธีฮิวริสติกของ Palmer ในการจัดลำดับงานเพื่อเข้าทำการผลิตบนเครื่องจักร โดยแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ ใช้หลักการ Fuzzy LPT ในการจัดกลุ่มงาน และจากนั้นใช้หลักการ Fuzzy Palmer ในการจัดลำดับงาน

Ishibuchi, Murata et al. (1996) ได้เสนองานวิจัยเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการจัดงานเข้าสู่สายการผลิตแบบลีนไพลที่มีเวลาการทำงานแบบฟัชชี การรวมเวลาการทำงานจะรวมตามหลักการของฟัชชี คือ Addition Operator และ Maximum Operator และประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบ ผลการวิจัยพบว่ากรณีปัญหาขนาดเล็กมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เวลาการทำงานเสร็จสิ้นน้อยที่สุด จะไม่มีคำตอบใดที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว ผู้ทำการตัดสินใจต้องทำการเลือกคำตอบ แต่สำหรับกรณีปัญหาขนาดใหญ่ควรใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์ คือเพื่อให้เวลาการทำงานเสร็จสิ้นน้อยที่สุด ใ้งานที่ล่าช้าที่สุดและจำนวนงานที่ล่าช้ารวมมีค่าน้อยที่สุด เพื่อป้องกันการเกิดกรณีที่ไม่มีคำตอบใดที่ดีที่สุดเพียงคำตอบเดียว

Lam and Cai (1999) เสนอการจัดลำดับงานสำหรับเครื่องจักรเดียว (Single Machine) ที่มีเวลากำหนดส่งเป็นแบบฟัชชี โดยมีลักษณะฟังก์ชันการเป็นสมาชิกเป็นรูปสามเหลี่ยม ซึ่งเป็นลักษณะที่มักใช้แสดงความเป็นฟัชชีของข้อมูลในหลายๆปัญหา สำหรับปัญหานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีงานที่

เสร็จก่อนกำหนดและล่าช้ากว่ากำหนดมีค่าน้อยที่สุด เพื่อตอบสนองการผลิตแบบ Just In Time ในการหาค่าวัตถุประสงค์ทำโดยหาความแตกต่างของเวลาการทำงานเสร็จสิ้นและเวลากำหนดส่ง และประยุกต์ใช้เงินเนติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหา ผลการหาค่าตอบได้ว่าการใช้วิธีการทางฟuzzy กับปัญหาที่มีเวลากำหนดส่งเป็นฟuzzy จะให้คำตอบที่ดีกว่าการคิดโดยใช้ค่าเฉลี่ยของเวลากำหนด

ภัททิศา สุวรรณรุจิ (1997) เสนองงานวิจัยเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ฟuzzy ที่ล่อจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยได้เสนอกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีพื้นฐานมาจากวิธีวิเคราะห์ลำดับชั้นแบบฟuzzy 3 กฎ คือ Fuzzy AHP Fuzzy AHP-NF และ Fuzzy AHP-WINQ และทำการเปรียบเทียบกับวิธีการแบบดั้งเดิมคือ WINQ NINQ SPT และ RAN พบว่า การจัดเส้นทางเดินของงานแบบ Fuzzy AHP-WINQ เป็นกฎที่มีประสิทธิภาพที่ดีที่สุดเมื่อเทียบกับกฎอื่นๆ



บทที่ 3

อัลกอริทึมที่ใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย

ในบทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีและขั้นตอนการทำงานของแต่ละอัลกอริทึมที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัยนี้ ซึ่งอัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ วิธีการบรรจบแบบขยาย (COIN-E) วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II (NSGA-II) วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) และ วิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชี่ลอจิก (COIN-F) โดยในแต่ละอัลกอริทึมจะแสดงขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมแผนผังแสดงขั้นตอนการทำงาน รวมทั้งรหัสเทียม หรือ ซูโดโค้ด (Pseudo Code) ซึ่งคำสั่งที่จำลองความคิดเป็นลำดับขั้นตอนโดยใช้ประโยคภาษาอังกฤษ ไม่ใช่ภาษาโปรแกรมทางคอมพิวเตอร์ทั้งหมด จึงไม่สามารถนำไปประมวลผลได้ เป็นเพียงการเขียนจำลองคำสั่งจริงแบบย่อๆ ตามหลักการทำงานของอัลกอริทึม

3.1 อัลกอริทึมวิธีการบรรจบแบบขยาย (Combinatorial Optimization with Coincidence Expand: COIN-E)

วิธีการบรรจบแบบขยายได้พัฒนามาจากแนวคิดหลักของ COIN คือ การค้นหาคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (Not Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกันเพื่อใช้เป็นตัวกำหนดทิศทางของคำตอบสุดท้าย และทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นตลอดทุกๆรอบการทำงาน เพื่อให้รางวัลแก่คำตอบที่ดีทำให้โอกาสที่คู่อันดับในสตริงคำตอบที่ดีนั้นจะมีโอกาสถูกสุ่มเจอในรอบต่อไปมากยิ่งขึ้น และทำการลงโทษแก่สตริงคำตอบที่ไม่ดีทำให้คู่อันดับที่อยู่ในสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีโอกาสถูกสุ่มเจอน้อยลงไปในรอบการทำงานต่อไป โดยที่ COIN-E จะเพิ่มตารางความน่าจะเป็นร่วมอีก 3 ตารางจากแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ เพื่อช่วยปรับปรุงตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบให้ดียิ่งขึ้น (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)

การทำงานของ COIN-E จะคัดเลือกคำตอบดีและไม่ดีจากทั้ง 4 ตาราง และทำการปรับปรุงโดยตารางที่ 1 ซึ่งเป็นตารางวิธีการ COIN สตริงคำตอบที่ดีจะมีค่าความแข็งแรง (Fitness) น้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด ส่วนตารางที่ 2, 3 และ 4 จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น โดยคำตอบที่ดีคือคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีคือสตริงคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์ ซึ่งตารางทั้ง 4 ตาราง จะใช้ในการสุ่มประชากรในรอบ

ถัดไป โดยสุ่มจากตาราง COIN ร้อยละ 70 ที่เหลือสุ่มจากตารางวัตถุประสงค์อีกร้อยละ 30 ซึ่ง COIN-E มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ ดังรูปที่ 3.1

3.1.1 ขั้นตอนการทำงานของ COIN-E

ขั้นตอนการทำงานของ COIN-E ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน มีดังนี้

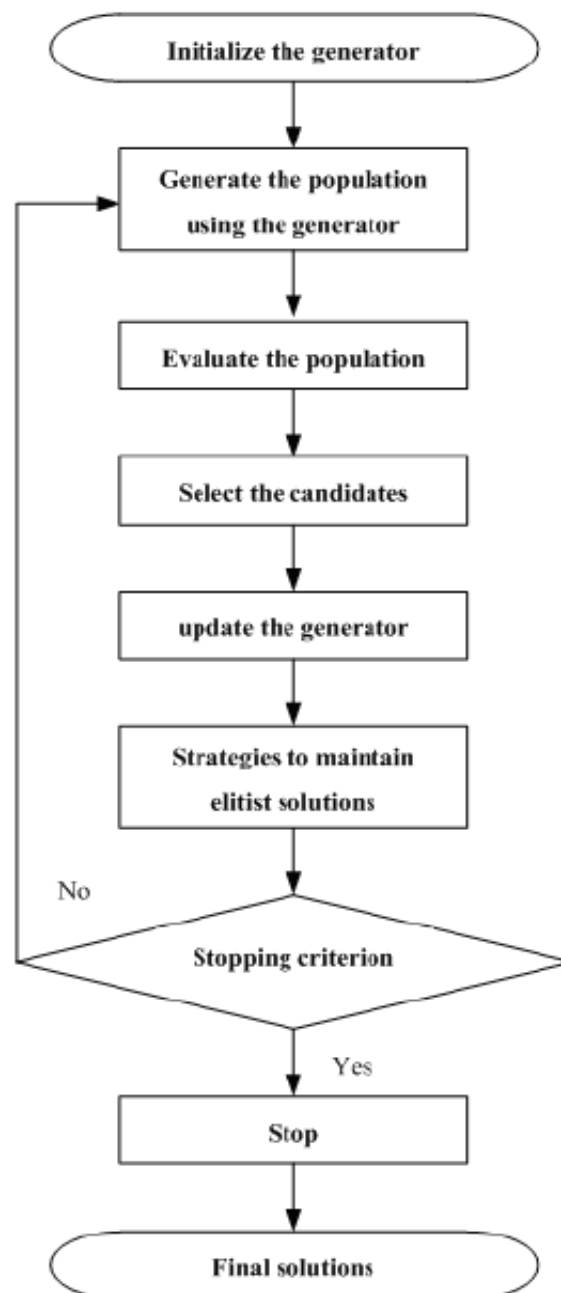
1. Initialize the generator สร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้นขนาด $n \times n$ โดยที่ n คือความยาวของผลรวม MPS ของแต่ละปัญหา
2. Generate the population using the generator สุ่มประชากรเริ่มต้นจากตารางความน่าจะเป็นร่วมจำนวนเท่ากับประชากร (Population Size) เริ่มต้นที่กำหนดไว้
3. Evaluation the population ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละสตริงคำตอบ โดยที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด และกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับแต่ละสตริงคำตอบด้วยเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Non-dominated Sorting) โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg เพื่อหาสตริงคำตอบที่ดีที่สุดและไม่ดี
4. Select the candidates คัดเลือกคำตอบดีและไม่ดี โดยในตารางที่ 1 ซึ่งเป็นตารางวิธีการ COIN สตริงคำตอบที่ดีจะมีค่าความแข็งแรง (Fitness) น้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด ส่วนตารางที่ 2 3 และ 4 จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของแต่ละวัตถุประสงค์ในการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็น โดยคำตอบที่ดีที่สุดคือคำตอบที่มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีคือสตริงคำตอบที่ให้ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุดในแต่ละวัตถุประสงค์
5. Update the generator ทำการปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัล (Reward) แก่สตริงคำตอบที่ดีโดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น และลงโทษ (Punish) สตริงคำตอบที่ไม่ดีโดยการลดความน่าจะเป็น เพื่อจะนำไปใช้ในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป โดยที่การสุ่มประชากรในรอบถัดไปจะสุ่มจากตาราง COIN มาร้อยละ 70 ของประชากรทั้งหมด และจากตารางของแต่ละวัตถุประสงค์ ร้อยละ 10 ของประชากรทั้งหมด
6. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน แล้วทำการคัดเลือกสตริง

คำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting เพื่อทำการเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดไว้

7. Repeat Step 2 กลับไปทำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งครบตามจำนวนรอบที่กำหนด

3.1.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-E

ขั้นตอนการทำงานของ COIN-E สามารถเขียนอธิบายเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-E

3.1.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-E

รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-E มีขั้นตอนดังนี้

COIN-E

Input: The population size N ,
 String of population size n ,
 The reward – punishment value k ,
 Amount of objective function O

Output: Set of populations Q

$Q := \emptyset$

$T_C :=$ Coin probability table n-to-n compute from $1/n-1$

$T_1, T_2, \dots, T_O :=$ Objective value probability table n-to-n compute from $1/n-1$

while not Stopping_Criteria() do

$P :=$ Random_Population_By_Table($T_C, T_1, T_2, \dots, T_O$)

 Evaluation_Object_Value(P)

 Evaluation_Fitness(P)

$reward_C :=$ get the best population in P by using fitness value

$punishment_C :=$ get the worse population in P by using fitness value

$T_C :=$ Update_Table($T_C, k, reward_C, punishment_C$)

 for $i := 1$ to O do

$reward_i =$ get the best population in P by using objective value i

$punishment_i :=$ get the worse population in P by using objective value i

$T_i :=$ Update_Table($T_i, k, reward_i, punishment_i$)

 end for

$Q := Q \cup reward_C$

 Evaluation_Fitness(Q)

 keep the best population in Q by using Fitness value and remove other

end while

3.2 วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II (NSGA-II)

วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II หรืออัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกรอบงำ II (Non-dominated Sorting Genetic Algorithm II: NSGA-II) เป็นอัลกอริทึมที่เกิดจากแนวความคิดเรื่องพันธุกรรมของมนุษย์ โดยอาศัยหลักที่ว่าพ่อแม่จะถ่ายทอดพันธุกรรมไปสู่รุ่นลูก โดยการคัดเลือกโครโมโซม (Chromosome) หรือสตริงคำตอบ (String) ออกมาด้วยวิธีการสุ่มอย่างอิสระ ซึ่งในแต่ละสตริงคำตอบจะประกอบไปด้วยยีน (Gene) หรือคุณลักษณะ (Character) ที่มีความแตกต่างกัน หลังจากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการครอสโอเวอร์ (Crossover) เพื่อทำการแลกเปลี่ยนคุณลักษณะระหว่างสตริงคำตอบ เพื่อให้สตริงคำตอบรุ่นลูกเกิดการเปลี่ยนแปลงคุณลักษณะ หลังจากนั้นจะทำการสุ่มสตริงคำตอบรุ่นลูกบางส่วนเข้าสู่กระบวนการมิวเตชัน (Mutation) เพื่อทำการแลกเปลี่ยนคุณสมบัติภายในสตริงคำตอบนั้นๆ เพื่อให้เกิดความหลากหลายของสตริงคำตอบ และเป็นการหลีกเลี่ยงไม่ให้ประชากรในสตริงคำตอบติดอยู่ในกลุ่มของคำตอบเฉพาะที่ โดยวิธีการทางฮิวริสติกนี้ถือเป็นวิธีการที่นำมาใช้สำหรับการค้นหาคำตอบ เนื่องจากจะได้คำตอบที่มีความเหมาะสมที่สุด หรือมีความใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด ทำให้ NSGA-II เป็นอีกหนึ่งอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิต มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ ดังรูปที่ 3.2

3.2.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II

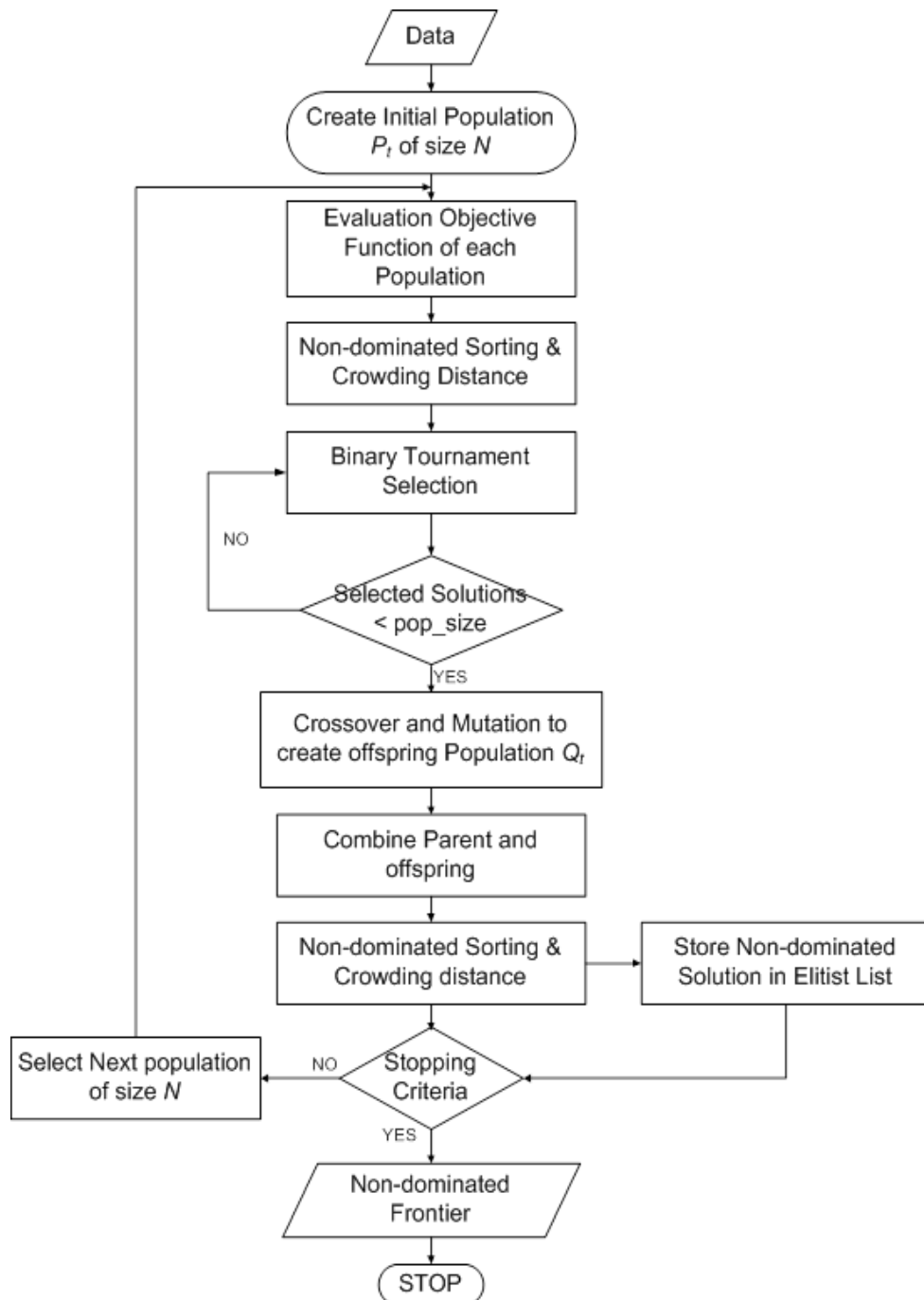
ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน มีดังนี้

1. Data Input การนำเข้าสู่ข้อมูลที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิต ได้แก่ สัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละรุ่น ตัวเลือกรถยนต์ในแต่ละรุ่น ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้า สีสุดท้ายที่ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า เวลาการทำงานแต่ละชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน และสถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว
2. Representation & Initialization นำข้อมูลจากการนำเข้าสู่ขั้นตอนที่ 1 มาสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเลือกอย่างอิสระมาจำนวน N ตัว
3. Evaluation ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละสตริงคำตอบ โดยที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด

4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting
5. Density Information กำหนดค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowding Distance
6. Selection นำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดเข้าสู่ 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 ทำการนำสตริงคำตอบที่ผ่านกระบวนการออกมาเป็นรุ่นลูก มารวมกับสตริงคำตอบเริ่มแรกที่เป็นของพ่อแม่
10. Selection Next Population คัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากกระบวนการขั้นตอนที่ 9 เพื่อนำไปใช้เป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในแต่ละรอบต่อไป
11. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันแล้วทำการคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting แล้วเก็บคำตอบที่ดีที่สุดไว้และนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดไปสร้างเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบต่อไป
12. Stopping Criteria ทำการวนซ้ำกระบวนการจนคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนเจนเนอเรชันสูงสุดที่กำหนดไว้
13. Stop หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ แล้วเก็บคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 12 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

3.2.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II

ขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II สามารถเขียนอธิบายเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ NSGA-II

3.2.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II

รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ NSGA-II มีขั้นตอนดังนี้

NSGA-II

Input: The population size N ,
Crossover probability P_C ,
Mutation probability P_M

Output: Set of populations P

$P := \text{Random_Population}()$

$\text{Evaluation_Fitness}(P)$

while not $\text{Stopping_Criteria}()$ do

//roulette

for $i := 1$ to N do

$rand_1 := \text{rand}()$ // random value between 0-1

$rand_2 := \text{rand}()$

$T_1 := \text{Roulette_wheel}(P, rand_1)$ //string ที่ได้จากวงล้อรูเล็ต

$T_2 := \text{Roulette_wheel}(P, rand_2)$

if $T_1.Fitness < T_2.Fitness$ then

add T_1 to $Pool$

else

add T_2 to $Pool$

end if

end for

//Crossover

for $i := 0$ to N do

$rand := \text{rand}()$

if $rand < P_C$

move $Pool_i$ to $PoolC$

end if


```

end for
if size of PoolC is odd then
    if size of PoolC = 1 then
        random element in Pool and move to PoolC
    else
        rand := round(rand())
        if rand = 0 then
            remove last element in PoolC
        else
            random of element in Pool and move to PoolC
        end if
    end if
end if
for i := 1 to size of PoolC / 2 do
    crossover(PoolC2i-1 , PoolC2i)
end for
Pool := Pool U PoolC
//mutation
for i := 0 to N do
    rand := rand()
    if rand < PM
        Mutation(Pooli)
    end if
end for
//combine parent and child
P := P U Pool
Evaluation_Fitness(P)
Sort P by using Fitness value

```

remove same element in P

Keep first N population in P and remove other

end while

3.3 อัลกอริทึมวิธีของการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคชนิดไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO)

วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง เป็นอัลกอริทึมที่ได้รับการพัฒนามาจากวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค (Particle Swarm Optimization: PSO) ซึ่งคิดค้นโดย Kennedy and Eberhart โดยเป็นอัลกอริทึมที่เกิดจากแนวความคิดเรื่องพฤติกรรมในการหาอาหารของนก โดยอาศัยการจดจำเส้นทางที่นกแต่ละฝูงใช้ในการออกบินเพื่อหาอาหารแล้วพบเจออาหารไว้ โดยที่นกในแต่ละฝูงจะจดจำเส้นทางที่ดีที่สุดไว้เพื่อที่จะสามารถบินมาหาอาหารได้ใหม่ในครั้งต่อไป โดยวิธีนี้จะทำให้สามารถค้นพบคำตอบได้อย่างรวดเร็วเนื่องจากการจดจำเส้นทางที่ดีที่สุดที่จะนำไปสู่คำตอบที่ดี จากนั้นได้มีการพัฒนาวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Particle Swarm Optimization: DPSO) เพื่อให้เหมาะสมกับปัญหาการจัดตารางระบบผลิต มีขั้นตอนในการทำงานดังนี้ ดังรูปที่ 3.3

3.3.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO

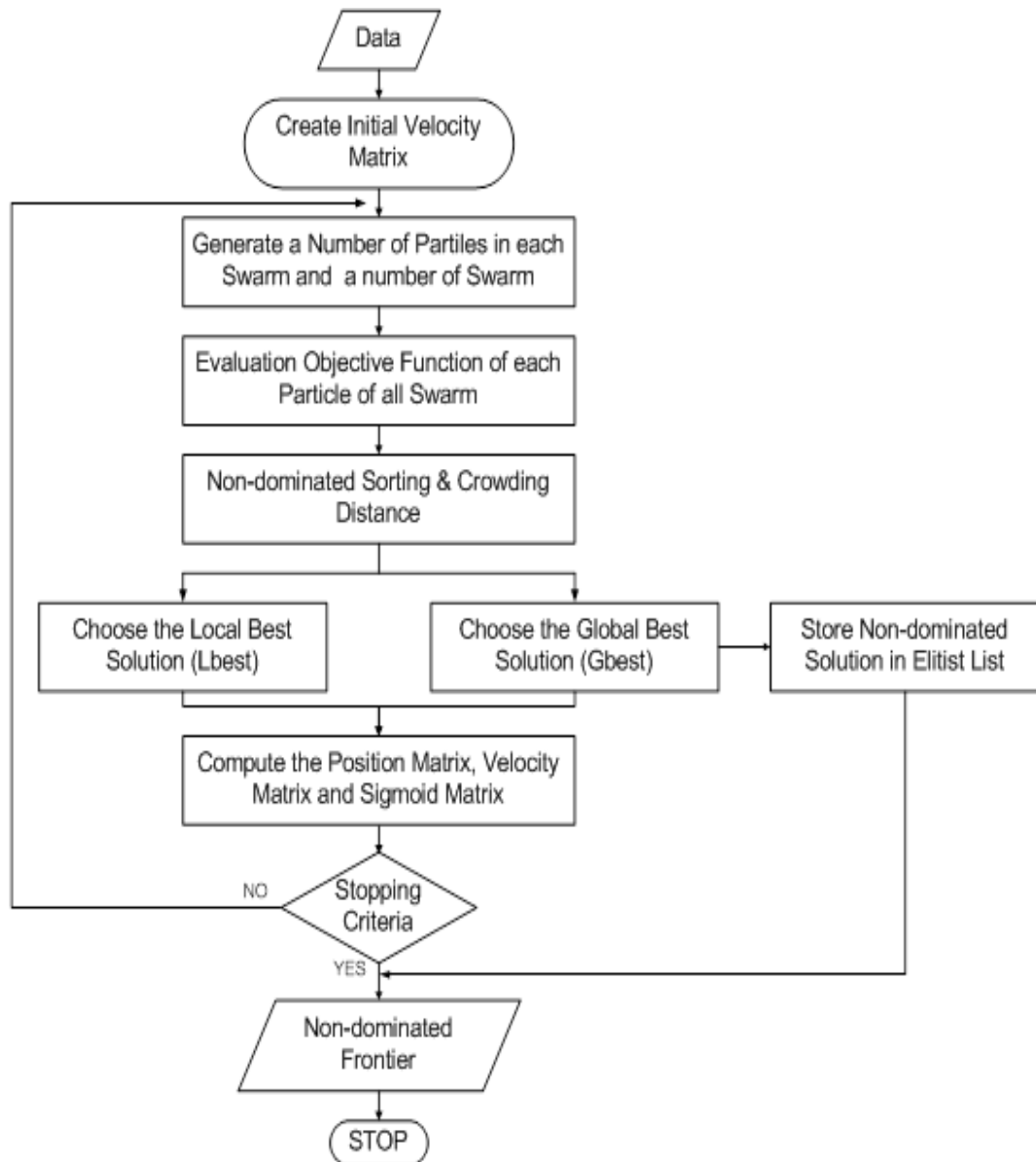
ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน มีดังนี้

1. Data Input การนำเข้าข้อมูลที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิต ได้แก่ สัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด จำนวนชนิดของรถยนต์ สีของรถยนต์ในแต่ละรุ่น ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่น ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้า สีสุดท้ายที่ทำการพ่นจากวันก่อนหน้า เวลาการทำงานแต่ละชิ้นงาน รอบเวลาการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อนและหลังของชิ้นงาน และสถานีงานที่ได้จากการจัดสมดุลแล้ว
2. Representation & Initialization นำข้อมูลจากการนำเข้าในขั้นตอนที่ 1 มาสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นโดยวิธีการสุ่มเลือกอย่างอิสระมาจำนวน N ตัว
3. Evaluation ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละสตริงคำตอบ โดยที่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด

4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรงให้กับแต่ละสตริงคำตอบที่สร้างขึ้น ด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting
5. Density Information กำหนดค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowding Distance
6. Selection เก็บค่าคำตอบจากสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูง (Lbest) และเก็บคำตอบที่ดีที่สุดจากสตริงคำตอบของประชากรทั้งหมด (Gbest) และนำมาคัดเลือกโดยวิธี Non-dominated Sorting
7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population นำคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการเก็บจากรอบก่อนหน้า แล้วมารวมกับคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการเก็บในรอบปัจจุบัน แล้วนำมาคัดเลือกหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยวิธี Non-dominated Sorting
8. Update Matrix ทำการอัปเดตตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) และอัปเดตตารางตำแหน่งอนุภาค (Position Matrix) โดยที่ได้จากคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละฝูง (Lbest) และจากคำตอบที่ดีที่สุดของสตริงคำตอบทั้งหมด (Gbest)
9. Compute Sigmoid Matrix นำตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคมาสร้างเป็นค่าความน่าจะเป็นที่เรียกว่าตาราง Sigmoid Function โดยใช้ตารางนี้ในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป
10. Stopping Criteria ทำการวนซ้ำกระบวนการจนคำตอบที่ได้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบจำนวนรอบที่กำหนด
11. Stop หยุดกระบวนการค้นหาคำตอบ แล้วเก็บคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 10 มาเป็นกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

3.3.2 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ DPSO

ขั้นตอนการทำงานของ DPSO สามารถเขียนอธิบายเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานของ DPSO

3.3.3 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ DPSO

รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ DPSO มีขั้นตอนดังนี้

DPSO

Input: The population size for each swarm N ,
String of population size n ,
Amount of swarm S ,
Constant weight of past velocity w ,
Accelerate composite factor c_1 ,
Accelerate composite factor c_2

Output: Set of populations Q

$Q := \emptyset$

$R := 1$

set Velocity table n-to-n $V_{(0,1)}, V_{(0,2)}, \dots, V_{(0,S)}$ to zero

for $i := 1$ to S do

$P_i := \text{Random_Population}()$

end for

while not Stopping_Criteria() do

for $i := 1$ to S do

Evaluation_Fitness(P_i)

$Candidate_L := \emptyset$

for $j := 1$ to N do

if $P_{(i,j)}\text{Fitness} = 1$ then

add $P_{(i,j)}$ to $Candidate_L$

end if

end for

random population in $Candidate_L$ and add to L_i

Evaluation_Position_Table(L_i)

end for

for $i := 1$ to S do

if $L_i\text{Fitness} = 1$ then

add L_i to $Candidate_G$

```

    end if
  end for
  random local best element in Candidate_G and add to G
  if  $R = 1$  then
    set Position table n-to-n  $X_{(0,1)}, X_{(0,2)}, \dots, X_{(0,S)}$  to  $L_1, L_2, \dots, L_S$ 
  end if
  for  $i := 1$  to  $S$  do
     $r_1 := \text{rand}()$ 
     $r_2 := \text{rand}()$ 

$$V_{(R,i)} = wV_{(R-1,i)} + c_1r_1(L_i.\text{Position\_Table} - X_{(R-1,i)}) + c_2r_2(G.\text{Position\_Table} - X_{(R-1,i)})$$


$$X_{(R,i)} = X_{(R-1,i)} + V_{(R,i)}$$


$$\text{Sigmoid}_i = 1 / (1 + \exp(-V_{(R,i)}))$$

  end for
   $Q := Q \cup L_1 \cup L_2 \cup \dots \cup L_S$ 
  Evaluation_Fitness( $Q$ )
  keep the best population in  $Q$  by using Fitness value and remove other
  for  $i := 1$  to  $S$  do

$$P_i := \text{Random\_Population\_By\_Table}(\text{Sigmoid}_i)$$

  end for
end while

```

3.4 อัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (Combinatorial Optimization with Coincidence with Fuzzy Logic: COIN-F)

วิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (COIN-F) เป็นวิธีการประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกร่วมกับ COIN ในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษ ให้เหมาะสมกับสถานการณ์ เพราะการใช้ค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษคงที่ตลอดการทำงานอาจทำให้คำตอบที่ได้ติดอยู่ในกลุ่มคำตอบเฉพาะที่ ทำให้กลุ่มคำตอบที่ได้ขาดความหลากหลายและขาดกระจายตัวที่ดี ดังนั้นการปรับ

ค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษให้เหมาะสมกับสถานการณ์จะสามารถแก้ปัญหาในส่วนนี้ได้
ซึ่งจะกล่าวถึงรายละเอียดและขั้นตอนการทำงานของ COIN-F ในบทถัดไป



บทที่ 4

ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

บทนี้จะกล่าวถึงทฤษฎีเบื้องต้นของวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (Combinatorial Optimization with Coincidence with Fuzzy Logic) และการนำวิธี COIN-F มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ตัวอย่างการคำนวณ รวมถึงการทดสอบและกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมใช้ในการทดลอง

4.1 ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก

วิธีการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence : COIN) มีแนวคิดหลักคือการค้นหาคำตอบที่ดี (Good) และคำตอบที่ไม่ดี (No Good) ที่เกิดขึ้นในเวลาเดียวกัน เพื่อนำมาใช้ในการกำหนดทิศทางในการหาคำตอบสุดท้าย โดยที่คำตอบที่ดีจะทำการให้รางวัล (Reward) โดยการเพิ่มความน่าจะเป็น และคำตอบที่ไม่ดีก็จะถูกลงโทษ (Punish) โดยการลดความน่าจะเป็น เพื่อที่จะปรับปรุงคำตอบทั้งดีและคำตอบไม่ดี ซึ่งคำตอบที่ดีก็จะมีเพิ่มความน่าจะเป็นเพิ่มขึ้น ทำให้โอกาสที่จะถูกสุ่มเจอในรอบถัดไปมีค่ามากขึ้น ในขณะที่คำตอบที่ไม่ดีซึ่งจะถูกลดความน่าจะเป็นก็จะมีโอกาสที่จะถูกสุ่มเจอในรอบถัดไปลดลง

ในปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ ซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนยุ่งยาก ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบยาวนาน ซึ่งมีปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ก็คือตัวเลือก สี และสายการประกอบ โดยที่วิธีการบรรจบเป็นอัลกอริทึมมีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบที่รวดเร็ว เนื่องจากการจดจำตำแหน่งของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันแล้วส่งผลให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่ดีที่สุด และยังตัดทอนการจดจำตำแหน่งของกลุ่มผลิตภัณฑ์ที่อยู่ติดกันแล้วส่งผลให้สตริงคำตอบมีคำตอบที่ไม่ดี แต่วิธีการบรรจบยังมีข้อเสียด้านการกระจายตัวของคำตอบที่ไม่ดีและความหลากหลายของคำตอบน้อยเมื่อเทียบกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA II ซึ่งผู้วิจัยได้นำเสนออัลกอริทึมการบรรจบแบบฟัซซี่ (Combinatorial Optimization with Fuzzy : COIN-F) โดยการประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกร่วมกับ COIN ในการปรับค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษ (k) ให้เหมาะสมกับสถานการณ์มาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บน

สายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน เพื่อช่วยให้คำตอบเข้าใกล้คำตอบที่แท้จริงดีขึ้น คำตอบมีความหลากหลาย ช่วยให้คำตอบหลุดพ้นจากกลุ่มคำตอบเฉพาะที่ และมีค่าการกระจายตัวที่ดีขึ้น

4.2 ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-F

ขั้นตอนการดำเนินงานของ COIN-F ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน มีดังนี้

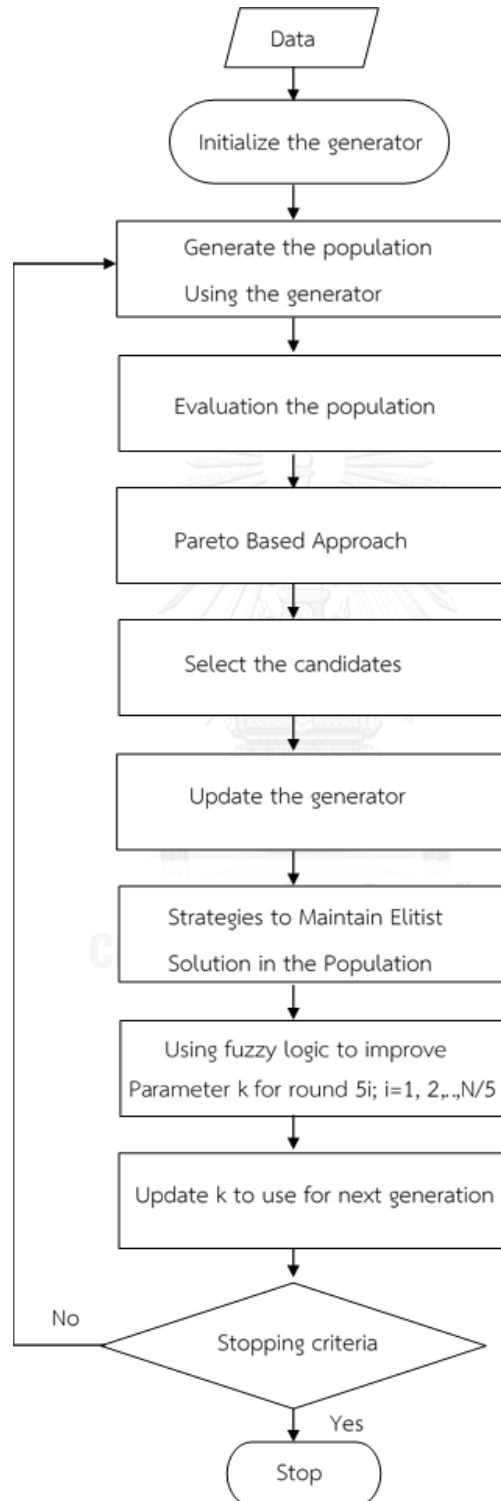
1. Initialize the generator ทำการสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นเริ่มต้นโดยพิจารณาจากสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ (MPS) เท่ากับขนาด $n \times n$ โดยที่ n นั้นจะเท่ากับผลรวมของ MPS ในแต่ละเซตปัญหา
2. Generate the population using the generator ทำการเลือกลำดับของการผลิตจากการสุ่มจากตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดของประชากร (Population Size) ที่กำหนด ซึ่งรอบแรกนั้นจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น
3. Evaluation the population ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากแต่ละสตริงคำตอบข้างต้น โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดร่น้อยที่สุด
4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับแต่ละสตริงคำตอบด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Non-dominated Sorting) โดยการจัดอันดับแบบ **Goldberg** เพื่อหาคำตอบที่ดีและไม่ดี
5. Select the candidates คัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดี โดยที่สตริงคำตอบที่ดีจะมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด โดยการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางความน่าจะเป็นเริ่มต้น
6. Update the generator ทำการปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัล (Reward) แก่สตริงคำตอบที่ดีโดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น และ ลงโทษ (Punish) สตริงคำตอบที่ไม่ดีโดยการลดค่าความน่าจะเป็น เพื่อจะนำไปใช้ในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป
7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population ทำการนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน แล้วนำมาทำการคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting เพื่อทำการเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดในจำนวนของคำตอบที่ต้องการ

8. Using fuzzy logic to improve parameter k ใช้ฟัซซี่ลอจิกเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษทุกๆรอบการทำงานของฟัซซี่ที่กำหนดไว้ สำหรับรอบอื่นให้กลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 2
 1. ทำการคำนวณค่าการลู่เข้าคำตอบที่ดีที่สุด (Progressive Convergence)
 2. หาจำนวนรอบที่คำตอบไม่มีการพัฒนา (The number of generation that the elite solutions remains unchanged : NC)
9. Update parameter k to use for next generation ค่าความค่าพารามิเตอร์ k เพื่อใช้ในการให้รางวัลและลงโทษในรอบต่อไป
10. Repeat Step 2 กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 โดยสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไปจากตารางที่ผ่านการปรับปรุงค่าความนำจะเป็นแล้ว จนกระทั่งครบจำนวนรอบที่กำหนด



4.3 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-F

ขั้นตอนการทำงานของ COIN-E สามารถเขียนอธิบายเป็นแผนผังขั้นตอนการทำงาน ได้ดังนี้



รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการดำเนินงานของวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซีลอจิก (COIN-F)

4.4 รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-F

รหัสเทียม (Pseudo Code) แสดงขั้นตอนการทำงานของ COIN-F มีขั้นตอนดังนี้

Coin-f

Input: The population size N ,
 String of population size n ,
 The reward – punishment value k ,
 Active fuzzy round r ,
 Convergent interval c

Output: Set of populations Q

$T :=$ Probability table n -to- n compute from $1 / (n - 1)$

$i := 1$

$nc := 0$

while not Stopping_Criteria() do

$P_i :=$ Random_Population_By_Table(T)

 Evaluation_Object_Value(P_i)

 Evaluation_Fitness(P_i)

$reward :=$ get the best population in P by using fitness value

$punishment :=$ get the worse population in P by using fitness value

$T :=$ Update_Table($T, k, reward, punishment$)

$Q := Q \cup reward$

 Evaluation_Fitness(Q)

 keep the best population in Q by using Fitness value and remove other

$nc := nc +$ Evaluation_NC($P_{i-1}.Fitness, P_i.Fitness$)

 if $i \bmod r = 0$ then

$convergent :=$ Evaluation_Convergent($O_{i \bmod r = 0}, O_{i \bmod r = 1}$)

 set $con_{low}, con_{mid}, con_{high}$ to 0

 set $nc_{low}, nc_{mid}, nc_{high}$ to 0

if *convergent* < (0.2 × *c*) then

$$con_{low} := 1$$

else if *convergent* < (0.6 × *c*) then

$$con_{low} := (-2.5 \times convergent / c) + 1.5$$

$$con_{mid} := (2.5 \times convergent / c) - 0.5$$

else if *convergent* < *c* then

$$con_{mid} := (-2.5 \times convergent / c) + 2.5$$

$$con_{high} := (2.5 \times convergent / c) - 1.5$$

else

$$con_{high} := 1$$

end if

if *nc* < (*r* - 1) / 2 then

$$nc_{low} := (-2 \times nc / (r - 1)) + 1$$

$$nc_{mid} := (2 \times nc / (r - 1))$$

else

$$nc_{mid} := (-2 \times nc / (r - 1)) + 2$$

$$nc_{high} := (2 \times nc / (r - 1)) - 1$$

end if

$$k_{low} := \text{sqrt}(\min(con_{high}, nc_{low})^2 + \min(con_{high}, nc_{mid})^2)$$

$$k_{mid} := \text{sqrt}(\min(con_{low}, nc_{low})^2 + \min(con_{mid}, nc_{low})^2 + \min(con_{mid}, nc_{mid})^2 + \min(con_{mid}, nc_{high})^2 + \min(con_{high}, nc_{high})^2)$$

$$k_{high} := \text{sqrt}(\min(con_{low}, nc_{mid})^2 + \min(con_{low}, nc_{high})^2)$$

$$k := (0.1 \times k_{low} + 0.2 \times k_{mid} + 0.3 \times k_{high}) / (k_{low} + k_{mid} + k_{high})$$

$$nc := 0$$

end if

$$i := i + 1$$

end while

4.5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิกในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

การจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านจะมีการนำเข้าข้อมูลที่เป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา ประกอบด้วยจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของชิ้นงาน ชิ้นงานและเวลาดำเนินงานในแต่ละชิ้นงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ รอบเวลาดำเนินการผลิต จำนวนตัวเลือกและอัตราส่วนข้อกำหนด สีของผลิตภัณฑ์แต่ละรุ่น สีและรุ่นรถยนต์ที่ผลิตในรอบการผลิตก่อนหน้า ลักษณะสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านที่ได้รับการจัดสมดุลแล้ว

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบร่วมกับฟัซซี่ลอจิก (COIN-F)

จำนวนประชากรเริ่มต้น 5 ตัว

ค่าการให้รางวัล (Reward) และค่าการลงโทษ (Punish) มีค่าเท่ากับ 0.1

ช่วงค่าการเข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริง (Convergence) มีค่าเท่ากับ 0 - 0.7

จำนวนรอบที่ใช้ในการทำฟัซซี่ลอจิก (Fuzzy round) มีค่าเท่ากับ 5

4.5.1 การสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นเริ่มต้น

การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกงานเริ่มต้นพิจารณาจากจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 รุ่น ได้แก่ A, B และ C คือ 2 : 3 : 4 แสดงว่าในการจัดลำดับการผลิตครั้งนี้จะต้องมีผลิตภัณฑ์ A จำนวนเท่ากับ 2 ผลิตภัณฑ์ B จำนวนเท่ากับ 3 และผลิตภัณฑ์ C จำนวนเท่ากับ 4 เข้าไปในสายการประกอบ จากนั้นทำการกำหนดค่าสิทธิ์ให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการจัดลำดับการผลิต ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกลำดับงานเริ่มต้น

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

หลังจากนั้นจึงทำการสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้น โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เนื่องจากสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์รวม (MPS) มีขนาด 9 ตารางเมตริกซ์นี้จึงมีขนาดเท่ากับ 9×9 โดยค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกจะมีค่าเท่ากับ $\frac{1}{n} = \frac{1}{9} = 0.125$ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้น

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
2	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
3	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
4	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
5	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125
6	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125
7	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125
8	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125
9	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000

4.5.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น

เมื่อได้ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้นแล้ว จะทำการสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นจากการสุ่มจากตารางที่ 4.2 จำนวนเท่ากับประชากรเริ่มต้นที่กำหนดไว้ ซึ่งในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 5 ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 สตริงคำตอบเริ่มต้น

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

4.5.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่น

เมื่อได้ลำดับการผลิตของกลุ่มประชากรเริ่มต้นแล้ว จะนำเข้าสู่สายการประกอบที่ผ่านการจัดสมดุลที่รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 8 เพื่อทำการประเมินค่าจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ทำไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรนวน้อยที่สุด ซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบเริ่มต้น

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
1	8	5.1111	18
2	7	4.2222	18
3	9	5.5556	17
4	7	4.2222	18
5	7	3.7778	18

4.5.4 กำหนดค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบ

เมื่อทำการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้ว และกำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting และกำหนดค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowding Distance ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 การประเมินค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบเริ่มต้น

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Crowding Distance
1	8	5.1111	18	3	Infinity
2	7	4.2222	18	2	Infinity
3	9	5.5556	17	1	Infinity
4	7	4.2222	18	2	Infinity
5	7	3.7778	18	1	Infinity

4.5.5 การคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่ไม่ดี

การคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดีเพื่อจะนำไปปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็น โดยจะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) ถ้าเป็นคำตอบที่ดี ค่า Fitness จะมีค่าน้อยที่สุด แต่ถ้าเป็นคำตอบที่ไม่ดี ค่า Fitness จะมีค่ามากที่สุด ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางวิธีการบรรจบ

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Selected
1	8	5.1111	18	3	Bad Solution
2	7	4.2222	18	2	-
3	9	5.5556	17	1	Good Solution
4	7	4.2222	18	2	-
5	7	3.7778	18	1	Good Solution

4.5.6 การปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น

ทำการปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นรวมทั้งหมด 4 ตาราง ได้แก่ ตารางความน่าจะเป็นร่วมของตารางวิธีการบรรจบ ตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อนำมาสร้างผลสตริงคำตอบในรอบการทำงานต่อไป โดยกำหนดให้ k คือค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัล/ลงโทษ ดังสมการที่ 4.1 และ 4.2 ตามลำดับ (กำหนดให้ $k = 0.1$)

$$x = \frac{k}{n-1} \quad (4.1)$$

$$x = \frac{k}{(n-1)^2} \quad (4.2)$$

เริ่มทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางวิธีการบรรจบ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.6 จะพบว่ามีคำตอบที่ดีอยู่ 2 ค่าคือ สตริงคำตอบที่ 3 [5 3 7 9 4 6 2 8 1] และสตริงคำตอบที่ 5 [6 5 1 7 3 9 4 8 2] โดยจะทำการพิจารณาปรับปรุงไปที่ละสตริงคำตอบ เริ่มต้นที่สตริงคำตอบที่ 3 ทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่อันดับ (5,3) โดยเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ

(5,3)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (3,7) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 3 จากนั้นทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลสตริงคำตอบที่ 5 โดยเริ่มที่คู่อันดับ (6,5) จะ

เพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด

(รวมทั้งคู่ลำดับ (6,5)) ภายในแถวเดียวกันคือ (6,1), (6,2), ..., (6,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (5,1) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 5

กรณีคำตอบที่ไม่ดี เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 4.6 จะพบว่าคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1 [5 7 8 6 9 4 1 3 2] การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษ โดยเริ่มที่คู่อันดับ (5,7)

โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับ

ทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,7)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็น

เท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางความ

น่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (7,8) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 1 จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดีดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ตารางค่าความน่าจะเป็นวิธีการบรรจบหลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.125	0.1125	0.125	0.125	0.125	0.1375	0.125	0.125
2	0.1234	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234
3	0.1234	0.1109	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1359
4	0.1109	0.1234	0.1234	0	0.1234	0.1359	0.1234	0.1359	0.1234
5	0.1359	0.1234	0.1359	0.1234	0	0.1234	0.1109	0.1234	0.1234
6	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1359	0	0.1234	0.1234	0.1109
7	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0	0.1109	0.1359
8	0.1359	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0.1109	0.1234	0	0.1234
9	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0

4.5.7 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยการนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับรอบปัจจุบัน แล้วนำมาเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อเก็บค่าสตริงที่ให้ค่าความแข็งแกร่งเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในรอบการทำงานนั้นๆ ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบการทำงานที่ 1

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
3	9	5.5556	17	1
5	7	3.7778	18	1

จากนั้นทำการสุ่มประชากรเริ่มต้นในรอบการทำงานที่ 2 จากตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ทำการให้รางวัลและลงโทษแล้วจากตารางที่ 4.7 และทำการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และกำหนดค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นให้ให้กับสตริงคำตอบ ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ประชากรเริ่มต้นในรอบการทำงานที่ 2

String	Priority	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Crowding Distance
1	8 2 5 1 9 3 7 6 4	6	4.2222	18	1	Infinity
2	1 3 7 9 4 6 2 8 5	9	4.2222	18	2	Infinity
3	8 2 5 3 1 4 7 6 9	6	5.5556	19	3	Infinity
4	8 1 2 5 9 3 7 6 4	6	4.6667	18	2	Infinity
5	6 5 1 3 9 7 4 8 2	7	4.2222	17	1	Infinity

วิธีการเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบที่ 2 โดยการนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้า (รอบที่ 1) มารวมกับรอบปัจจุบัน แล้วมาเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อเก็บค่าสตริงที่ให้ค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเมื่อจบการทำงานรอบที่ 2 ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับรอบปัจจุบัน

String	Model sequence	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
รอบก่อนหน้า	5 3 7 9 4 6 2 8 1	9	5.5556	17	2
	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18	1
รอบปัจจุบัน	8 2 5 1 9 3 7 6 4	6	4.2222	18	1
	6 5 1 3 9 7 4 8 2	7	4.2222	17	1

จากตารางที่ 4.10 พบว่าคำตอบในรอบปัจจุบัน (รอบที่ 2) สามารถเอาชนะคำตอบในรอบก่อนหน้า (รอบที่ 1) ได้ นั่นแสดงให้เห็นว่าคำตอบมีการพัฒนาที่ดีขึ้น จึงไม่นับเป็น The number of generation that the elite solutions remains unchanged : NC (NC=0) ซึ่งหากคำตอบในรอบปัจจุบันอย่างน้อย 1 คำตอบสามารถเอาชนะคำตอบในรอบก่อนหน้าได้ จะถือว่าคำตอบในรอบนั้นมีการพัฒนาของคำตอบไปในทางที่ดีขึ้น

กลับไปทำขั้นที่ 4.3.2 เพื่อเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบรอบถัดไป และวนซ้ำจนครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้ และสำหรับรอบการทำงานของการฟิชชีลอลจิกให้ดำเนินการตามหัวข้อ 4.3.8 ต่อไป

4.5.8 การประยุกต์ใช้ฟิชชีลอลจิกในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์

ในงานตัวอย่างนี้ได้กำหนดให้มีการใช้ฟิชชีลอลจิกในการปรับค่าพารามิเตอร์ทุกๆ 5 รอบการทำงาน ฟิชชีลอลจิกในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ (k) ในทุกๆรอบการทำงานที่ 5 ของการทำงาน เพื่อใช้ในการให้รางวัลและลงโทษในรอบต่อไป โดยกำหนดช่วง Convergence = 0 - 0.7 และจำนวนรอบในการใช้ฟิชชีลอลจิก $R = 5$ (จากการทดสอบพารามิเตอร์)

ตารางที่ 4.11 ประชากรในกระบวนการทำงานรอบที่ 5

String	Priority	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Crowding Distance
1	1 2 6 7 3 4 9 8 5	7	5.1111	17	1	Infinity
2	1 6 7 4 3 2 9 8 5	8	4.6667	18	2	2
3	8 1 2 5 9 3 7 6 4	6	4.6667	18	1	Infinity
4	5 9 7 1 6 3 4 8 2	9	5.5556	17	2	Infinity
5	8 2 5 3 1 4 7 6 9	6	5.5556	19	3	Infinity

4.5.8.1 การคำนวณค่าการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง

คำนวณค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (The Progressive Convergence : PC) (สถาพร โอบารวิวัฒน์ชัย, 2013) จากสมการที่ 4.3 ระหว่างคำตอบจากรอบการทำงานที่ 1 ถึงรอบการทำงานที่ 5 โดยที่จากตัวอย่างข้างต้นมีค่า Convergence = 0.33685

$$Convergence = \frac{1}{|s^*|} \sum_{y \in s^*} \min \{d_{xy} | x \in S_j\} \quad (4.3)$$

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

เมื่อ S_j คือ กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดจากกลุ่มที่ j เมื่อ $j = 1, 2, \dots, J$

d_{xy} คือ ระยะทางระหว่างคำตอบที่ได้ x กับคำตอบที่แท้จริง y

4.5.8.2 การคำนวณค่าจำนวนรอบที่คำตอบไม่มีการพัฒนา

คำนวณจำนวนรอบที่คำตอบไม่มีการพัฒนา (The number of generation that the elite solutions remains unchanged : NC) จากสมการที่ 4.4 โดยจากตัวอย่างข้างต้นกำหนดค่า Number of NC = 0 นั่นคือในทุกๆคำตอบมีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้น

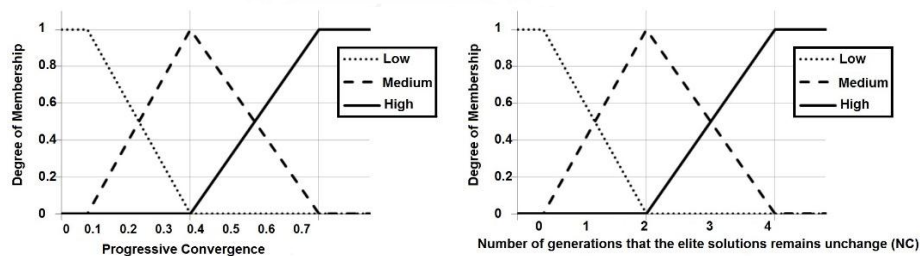
$$\text{Number of NC} = \sum_{i=1}^r R_i^* \quad (4.4)$$

เมื่อ R_i^* คือ รอบการทำงานใดๆที่คำตอบไม่มีการพัฒนา

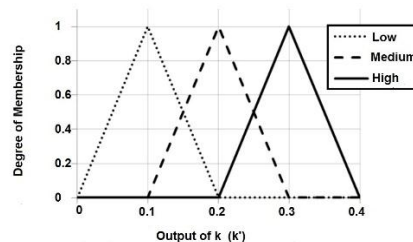
r คือ จำนวนรอบการทำงานซ้ำของฟิชชี่ลอลจิก

4.5.8.3 สร้างกราฟทางฟิชชี่เพื่อกำหนดค่าความเป็นสมาชิก

สร้างกราฟของข้อมูลนำเข้าแต่ละตัว พร้อมทั้งกำหนดระดับความเป็นสมาชิก (μ) ดังรูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3



รูปที่ 4.2 กราฟข้อมูลนำเข้าของค่า Convergence (ซ้าย) และ Number of NC (ขวา)



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงช่วงของค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษ (Output)

4.5.8.4 สร้างกฎทางฟuzzy

ทำการสร้างกฎทางฟuzzy 9 ข้อ เพื่อใช้ในการกำหนดระดับของพารามิเตอร์ (k) ดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 กฎทางฟuzzy

Rule	Antecedent		Consequent
	Convergence	The number of NC	Parameter : (k)
1	Low	Low	Medium
2	Low	Medium	High
3	Low	High	High
4	Medium	Low	Medium
5	Medium	Medium	Medium
6	Medium	High	Medium
7	High	Low	Low
8	High	Medium	Low
9	High	High	Medium

4.5.8.5 การกำหนดระดับของพารามิเตอร์ (k)

ใช้กฎทางฟuzzy ในการกำหนดระดับของค่าพารามิเตอร์ (k) โดยที่การกำหนดค่าพารามิเตอร์ k พิจารณาจากสมการที่ 4.5 ได้ดังตารางที่ 4.13

$$k = \min(\mu_{con}, \mu_{NC}) \quad (4.5)$$

ตารางที่ 4.13 กฎทางฟuzzy และการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก

Rule	Antecedent		Consequent
	Convergence	The number of NC	Parameter : (k)
1	Low	Low	Medium
	0.2105	1	0.2105
2	Low	Medium	High
	0.2105	0	0
3	Low	High	High
	0.2105	0	0

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) กฎทางฟuzzyและการกำหนดค่าระดับความเป็นสมาชิก

Rule	Antecedent		Consequent
	Convergence	The number of NC	Parameter : (k)
4	Medium	Low	Medium
	0.7895	1	0.7895
5	Medium	Medium	Medium
	0.7895	0	0
6	Medium	High	Medium
	0.7895	0	0
7	High	Low	Low
	0	1	0
8	High	Medium	Low
	0	0	0
9	High	High	Medium
	0	0	0

4.5.8.6 การแปลงค่าผลลัพธ์กลับเป็นค่าที่แน่นอน

การแปลงค่าผลลัพธ์แบบฟuzzyกลับเป็นค่าที่แน่นอน (Defuzzyfication) โดยใช้วิธี Weighted Average Method เนื่องจากฟังก์ชันการเป็นสมาชิกมีความสมมาตรและมีมากกว่า 1 รูป โดยนำค่าความเป็นสมาชิกคูณกับจุดที่มีค่าความเป็นสมาชิกสูงสุดของกราฟแต่ละรูป แล้วคำนวณหาค่าเฉลี่ย (Hellendoorn and Thomas 1993)

$$Low = \sqrt{R_7^2 + R_8^2} \quad (4.6)$$

$$Medium = \sqrt{R_1^2 + R_4^2 + R_5^2 + R_6^2 + R_9^2} \quad (4.7)$$

$$High = \sqrt{R_2^2 + R_3^2} \quad (4.8)$$

$$k' = \frac{(Low * CL) + (Medium * CM) + (High * CH)}{Low + Medium + High} \quad (4.9)$$

เมื่อ CL คือ ค่ากลางของค่า Low

CM คือ ค่ากลางของค่า Medium

CH คือ ค่ากลางของค่า High

ดังนั้น

$$Low = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0$$

$$Medium = \sqrt{0.2105^2 + 0.7895^2 + 0^2 + 0^2 + 0^2} = 0.8171$$

$$High = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0$$

$$k' = \frac{(0 * 0.1) + (0.8171 * 0.2) + (0 * 0.3)}{0.7895 + 0.2105 + 0}$$

$$k' = 0.1634$$

จากตัวอย่างข้างต้นจะเห็นค่าพารามิเตอร์ k' มีการการเปลี่ยนจากเดิม $k' = 0.1000$ เป็นค่า $k' = 0.1634$ นั่นคือค่าในการให้รางวัลและลงโทษสำหรับรอบต่อไป

จากนั้นจึงวนกลับไปเริ่มกระบวนการค้นหาค่าตอบรอบถัดไป โดยใช้ค่า k' ที่ปรับแล้วในการให้รางวัลและลงโทษแก่สตริงที่ดีและไม่ดีเพื่อสร้างประชากรในรอบถัดไปอีกครั้ง และวนซ้ำเช่นนี้จนครบจำนวนรอบที่กำหนดไว้

4.6 การทดสอบพารามิเตอร์และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ Full factorial design เนื่องจาก COIN-F มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องพิจารณาทั้งหมด 4 พารามิเตอร์ คือ ค่าในการให้รางวัลและลงโทษ (k) จำนวนประชากรเบื้องต้น (N) จำนวนรอบในการใช้ฟิชชีลลจิก (NC) และช่วงการลู่เข้ากลุ่มคำตอบ (Convergence Interval) แต่เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ใช้เซตปัญหาที่ผ่านการทดสอบค่าพารามิเตอร์ของ COIN มาแล้วในงานวิจัยก่อนหน้า ดังตารางที่ 4.14 (สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013) งานวิจัยนี้จึงพิจารณาค่าพารามิเตอร์เฉพาะในส่วนของพารามิเตอร์ที่เป็นการประยุกต์ใช้ฟิชชีลลจิกเท่านั้น คือ จำนวนรอบในการใช้ฟิชชีลลจิก (NC) และช่วงการลู่เข้ากลุ่มคำตอบ (Convergence Interval) โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของ COIN-F ทั้ง 6 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนอง และทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 17. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหา

ตารางที่ 4.14 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ COIN ที่ได้จากงานวิจัยก่อนหน้า

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนประชากร	100	(สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)
ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล	0.1	
ค่าความน่าจะเป็นในการลงโทษ	0.1	

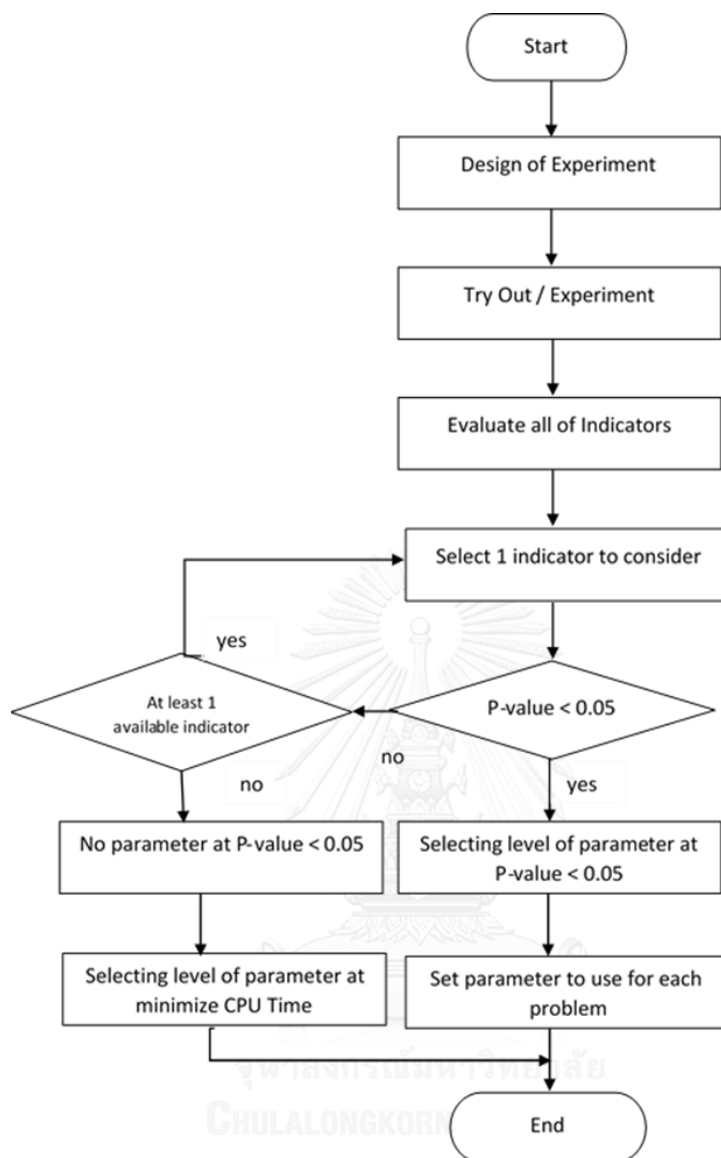
4.6.1 ขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีขั้นตอนดังนี้

1. ออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design
2. ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ
3. คำนวณค่าตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 6 ตัวชี้วัดเพื่อใช้เป็นค่าตัวแปรตอบสนอง
4. เลือกตัวชี้วัดที่ละ 1 ตัวเพื่อใช้เป็นตัวแปรตอบสนองในการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17.
5. สรุปผลจากขั้นตอนที่ 4 โดยมีขั้นตอนการพิจารณา คือ
 - หากตัวชี้วัดนั้นๆ ให้ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ จะตัดสินใจยอมรับว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง และทำการเลือกกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าตัวแปรตอบสนองนั้นน้อยที่สุดเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหานั้น
 - หากค่า p-value มีค่ามากกว่า $\alpha = 0.05$ จะตัดสินใจปฏิเสธว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองและทำการพิจารณาตัวชี้วัดตัวต่อไปเป็นตัวแปรตอบสนอง ทำแบบนี้ไปเรื่อยๆจนครบทุกตัวชี้วัด
 - หากค่าตัวชี้วัดทุกตัวที่ใช้เป็นตัวแปรตอบสนองให้ค่า p-value มากกว่า $\alpha = 0.05$ ทั้งหมดจะใช้เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time) เป็นตัวกำหนดระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยหากที่ระดับค่าพารามิเตอร์ใดใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุดจะกำหนดให้ระดับพารามิเตอร์นั้นเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหานั้นๆ
6. กำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

4.6.2 แผนผังขั้นตอนการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลองเพื่อหาระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม มีขั้นตอนดังนี้



รูปที่ 4.4 ขั้นตอนการออกแบบและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.6.3 การทดสอบพารามิเตอร์และวิเคราะห์ผลการทดลอง

งานวิจัยฉบับนี้ได้ออกแบบการทดลองแบบ Full Factorial Design เพื่อใช้ในการเลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม คือ จำนวนรอบในการใช้ฟิชซีลอจิก และช่วงการลู่เข้ากลุ่มคำตอบ โดยกำหนดระดับของค่าจำนวนรอบในการใช้ฟิชซีลอจิกออกเป็น 3 ระดับ คือ 5 รอบ 15 รอบ และ 25 รอบ สำหรับค่าพารามิเตอร์ช่วงการลู่เข้ากลุ่มคำตอบกำหนดออกเป็น 4 ระดับ คือ ช่วงระหว่าง 0 – 0.3, 0 – 0.5, 0 – 0.7 และ 0 – 1.0 ดังตารางที่ 4.15 โดยทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อนำไปพิจารณาค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของ COIN-F ทั้ง 6 ตัวชี้วัด ดังตารางการออกแบบการทดลอง

ตารางที่ 4.16 และผลการทดลองดังตารางที่ 4.17 ถึงตารางที่ 4.26 จากนั้นทำการวิเคราะห์ด้วยโปรแกรม Minitab 17. เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหา โดยที่สมมติฐานการทดลอง คือ

H_0 : ไม่มีการกระทำร่วมกันระหว่าง Fuzzy round กับ Convergence interval

H_1 : มีการกระทำร่วมกันระหว่าง Fuzzy round กับ Convergence interval

$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_k$

$H_1 : \text{not } H_0$

กำหนดระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$

เกณฑ์การตัดสินใจ หาก $p\text{-value} < \alpha$ จะปฏิเสธ H_0

$p\text{-value} \geq \alpha$ จะไม่ปฏิเสธ H_0

ตารางที่ 4.15 ค่าพารามิเตอร์และระดับปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

Parameter	Fuzzy round (NC)	5
		15
		25
	Convergence interval	0 - 0.3
		0 - 0.5
		0 - 0.7
		0 - 1.0

ตารางที่ 4.16 ตารางการออกแบบการทดลองเพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดแต่ละตัวชี้วัด

Convergence interval	Fuzzy round (NC)		
	5	15	25
0 - 0.3			
0 - 0.5			
0 - 0.7			
0 - 1.0			

ตารางที่ 4.17 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.1

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.1294	0.4689	0.2727	0.3000	11	20.1766
0.3	5	0.1826	0.4689	0.2727	0.2308	11	18.3479
0.3	15	0.0000	0.4215	1.0000	1.0000	11	15.4326
0.3	15	0.0000	0.4769	1.0000	1.0000	14	16.4900
0.3	25	0.1829	0.4893	0.3000	0.2727	10	22.1566
0.3	25	0.0000	0.5054	1.0000	1.0000	10	21.1877
0.5	5	0.0000	0.4717	1.0000	1.0000	13	18.3326
0.5	5	0.0212	0.4839	1.0000	0.9167	11	19.3788
0.5	15	0.0211	0.4355	1.0000	0.9167	11	20.0190
0.5	15	0.0295	0.5222	0.5556	0.5882	18	19.6969
0.5	25	0.1375	0.4119	0.4000	0.4000	10	18.4532
0.5	25	0.0636	0.5319	0.6364	0.5833	11	16.4274
0.7	5	0.1315	0.5697	0.2727	0.3000	11	19.5142
0.7	5	0.1221	0.5244	0.4615	0.5000	13	19.6878
0.7	15	0.0000	0.5411	1.0000	1.0000	12	22.6567
0.7	15	0.0065	0.5102	0.7647	0.7647	17	19.6311
0.7	25	0.0016	0.4746	0.8571	0.9231	14	22.0001
0.7	25	0.1827	0.5630	0.2500	0.2308	12	21.8773
1	5	0.0175	0.5244	0.8750	0.8750	16	18.4371
1	5	0.1872	0.5452	0.1765	0.2308	17	19.5506
1	15	0.1378	0.4937	0.2500	0.4000	16	16.7283
1	15	0.1220	0.4503	0.4167	0.4167	12	19.9234
1	25	0.0523	0.5634	0.3571	0.5000	14	18.3590
1	25	0.1617	0.5226	0.2500	0.2308	11	20.1076

จากตารางที่ 4.17 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 1.1 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 6 13.7738 และ 2 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.18 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 1.2

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0000	0.4026	1.0000	1.0000	9	19.4404
0.3	5	0.0895	0.3223	0.6154	0.5000	13	16.1678
0.3	15	0.1085	0.2103	0.1538	0.1818	10	14.4976
0.3	15	0.0577	0.1772	1.0000	0.8571	12	15.5549
0.3	25	0.1747	0.2996	0.4286	0.3750	7	15.3240
0.3	25	0.1462	0.3306	0.6667	0.5455	9	20.1877
0.5	5	0.0457	0.3388	1.0000	0.8333	13	16.7899
0.5	5	0.0594	0.3367	0.9167	0.8462	12	19.3654
0.5	15	0.0000	0.3893	1.0000	1.0000	12	21.1289
0.5	15	0.0819	0.4215	0.9167	0.7857	12	22.6618
0.5	25	0.0664	0.3342	0.6364	0.5833	11	20.7007
0.5	25	0.1037	0.3127	0.5833	0.5385	12	19.0918
0.7	5	0.0604	0.3737	0.5000	0.5000	10	18.6285
0.7	5	0.0375	0.3605	0.7500	0.7500	16	20.3050
0.7	15	0.0367	0.3489	0.8889	0.8889	9	17.3777
0.7	15	0.0479	0.3947	1.0000	1.0000	8	16.9998
0.7	25	0.2272	0.3596	0.0833	0.0909	12	24.1677
0.7	25	0.0765	0.2231	0.9000	0.8182	10	21.8989
1	5	0.0000	0.2952	1.0000	1.0000	7	22.0001
1	5	0.0781	0.4106	0.9000	0.8182	10	17.6354
1	15	0.0000	0.3621	1.0000	1.0000	12	19.3200
1	15	0.1379	0.3055	1.0000	0.7778	7	23.7613
1	25	0.1359	0.3309	0.4444	0.4444	9	22.6587
1	25	0.0661	0.4362	0.6000	0.6000	15	21.2202

จากตารางที่ 4.18 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 1.2 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 6 12.4881 และ 2 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.19 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.1

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0574	0.8128	0.3696	0.3953	38	25.6588
0.3	5	0.0599	0.7089	0.3571	0.3947	43	25.3265
0.3	15	0.0034	0.6764	1.0000	0.9737	37	24.3457
0.3	15	0.0263	0.5823	0.9615	0.8621	26	23.2789
0.3	25	0.0000	0.7721	1.0000	1.0000	37	23.3571
0.3	25	0.0290	0.6562	0.8929	0.8333	28	26.7000
0.5	5	0.0043	0.6946	0.9706	0.9706	33	28.9365
0.5	5	0.0583	0.6564	0.7273	0.6857	33	26.3167
0.5	15	0.0000	0.6624	0.9667	1.0000	30	26.2284
0.5	15	0.0666	0.7539	0.4615	0.4865	39	27.1140
0.5	25	0.0561	0.7505	0.3750	0.4091	46	30.6121
0.5	25	0.0600	0.6829	0.4615	0.4286	39	28.3616
0.7	5	0.0073	0.7506	0.9143	0.9412	34	29.3093
0.7	5	0.0568	0.6722	0.5455	0.5581	44	24.3977
0.7	15	0.0802	0.7473	0.3393	0.3800	55	26.3425
0.7	15	0.0330	0.6663	0.6970	0.7188	33	29.1900
0.7	25	0.0471	0.7067	0.5200	0.5200	50	23.1479
0.7	25	0.0607	0.6497	0.3409	0.3659	44	26.2300
1	5	0.0000	0.7428	0.9545	1.0000	44	25.4413
1	5	0.0587	0.7151	0.4565	0.5122	46	24.5056
1	15	0.0022	0.7056	1.0000	0.9783	45	28.2690
1	15	0.0205	0.6532	0.7750	0.7750	40	27.1133
1	25	0.0000	0.6879	0.9697	1.0000	33	24.9997
1	25	0.0171	0.6717	0.7273	0.7111	44	25.2605

จากตารางที่ 4.19 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 2.1 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 8 15.7259 และ 12 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.20 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 2.2

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0231	0.7091	0.8333	0.7813	31	24.3451
0.3	5	0.0782	0.7049	0.4063	0.3714	32	24.0010
0.3	15	0.0114	0.6467	0.9286	0.9286	28	23.5387
0.3	15	0.0482	0.5946	0.9412	0.8000	17	22.3428
0.3	25	0.0203	0.5481	0.8889	0.8571	27	26.5519
0.3	25	0.0508	0.6802	0.6429	0.5806	28	24.2908
0.5	5	0.0354	0.6821	0.7000	0.6774	30	27.7712
0.5	5	0.0477	0.6282	0.6296	0.5862	27	28.1976
0.5	15	0.0390	0.5848	0.9444	0.7727	18	26.3099
0.5	15	0.0985	0.6414	0.5714	0.4800	21	25.5185
0.5	25	0.0304	0.6863	0.5128	0.5263	39	24.9999
0.5	25	0.0769	0.6581	0.7826	0.6667	23	28.5662
0.7	5	0.0721	0.5597	0.5833	0.4828	24	26.3591
0.7	5	0.0484	0.7325	0.7500	0.7000	28	26.5656
0.7	15	0.0089	0.5726	0.9231	0.8889	26	28.1011
0.7	15	0.0517	0.8405	0.7500	0.6563	28	27.3498
0.7	25	0.0684	0.7401	0.4000	0.3871	30	29.1190
0.7	25	0.0233	0.7994	0.8571	0.8000	28	30.1000
1	5	0.0387	0.5943	0.8929	0.7576	28	28.3316
1	5	0.1304	0.6144	0.2800	0.2188	25	26.1822
1	15	0.0255	0.5425	0.9200	0.8519	25	27.0050
1	15	0.0931	0.6013	0.2414	0.2258	29	26.5643
1	25	0.0174	0.5450	0.7407	0.8000	27	29.0355
1	25	0.0763	0.5662	0.9000	0.7500	20	27.4119

จากตารางที่ 4.20 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 2.2 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 7 22.1629 และ 10 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.21 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.1

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.1019	0.6728	0.1613	0.2174	31	29.1099
0.3	5	0.1064	0.6158	0.8333	0.5357	18	28.2010
0.3	15	0.0430	0.7200	0.7407	0.6897	27	26.2910
0.3	15	0.0647	0.5474	0.6800	0.5152	25	25.2566
0.3	25	0.1088	0.6622	0.1071	0.1250	28	27.3190
0.3	25	0.0458	0.6613	0.5862	0.6071	29	26.2356
0.5	5	0.0611	0.5364	0.4783	0.3793	23	26.5155
0.5	5	0.0396	0.6399	0.5862	0.6071	29	28.3140
0.5	15	0.0922	0.5224	0.3704	0.3448	27	26.9889
0.5	15	0.0520	0.6643	0.7083	0.6538	24	22.5645
0.5	25	0.1081	0.5071	0.3684	0.3182	19	25.1090
0.5	25	0.0149	0.6775	0.9167	0.8800	24	29.1479
0.7	5	0.0676	0.5573	0.5000	0.4643	26	27.1700
0.7	5	0.0657	0.5665	0.7083	0.6800	24	28.5620
0.7	15	0.0202	0.6876	0.6765	0.6970	34	24.2666
0.7	15	0.0636	0.4838	0.8182	0.6667	22	25.9076
0.7	25	0.0824	0.5891	0.1786	0.2083	28	26.1487
0.7	25	0.0602	0.7415	0.2778	0.3571	36	26.9999
1	5	0.0661	0.6577	0.4286	0.5000	28	28.1991
1	5	0.0427	0.6806	0.6667	0.5714	24	25.5155
1	15	0.0458	0.5532	0.8421	0.7273	19	27.3650
1	15	0.0533	0.6462	0.4242	0.5000	33	25.3476
1	25	0.0462	0.5359	0.4815	0.5000	27	27.3669
1	25	0.0847	0.6079	0.4074	0.4231	27	27.3333

จากตารางที่ 4.21 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแทนตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 3.1 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 8 87.8429 และ 19 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.22 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 3.2

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0177	0.7349	0.8537	0.8750	41	26.5688
0.3	5	0.0220	0.5899	0.8438	0.7297	32	26.8181
0.3	15	0.0121	0.6871	0.9167	0.9167	36	25.1700
0.3	15	0.0205	0.7327	0.7674	0.7333	43	29.3115
0.3	25	0.0224	0.7238	0.7619	0.7111	44	28.3101
0.3	25	0.0267	0.8151	0.7949	0.6739	41	24.9812
0.5	5	0.0152	0.6681	0.9667	0.8788	34	27.3255
0.5	5	0.0429	1.0522	0.5714	0.5882	35	26.1909
0.5	15	0.0065	0.7768	0.8974	0.8974	41	28.8976
0.5	15	0.0000	0.7756	1.0000	1.0000	49	26.2620
0.5	25	0.0147	0.7060	0.9535	0.8367	45	28.5670
0.5	25	0.0099	0.8657	0.9750	0.9070	40	23.8923
0.7	5	0.0113	0.7444	0.8511	0.8333	49	29.3101
0.7	5	0.0067	0.8047	0.8913	0.8913	46	28.3044
0.7	15	0.0142	0.5621	1.0000	0.9167	22	25.0809
0.7	15	0.0234	0.7514	0.8372	0.7347	45	24.3545
0.7	25	0.0153	0.8177	0.9535	0.8913	47	29.1029
0.7	25	0.0234	0.7840	0.8293	0.7727	42	26.9453
1	5	0.0217	0.7382	0.8200	0.7193	55	27.0112
1	5	0.0262	0.7226	0.8889	0.8205	38	26.8643
1	15	0.0117	0.7679	1.0000	0.9000	47	29.0006
1	15	0.0530	0.5611	0.6552	0.5588	29	26.1917
1	25	0.0097	0.7674	1.0000	0.9070	40	27.3244
1	25	0.0354	0.7142	0.8500	0.7907	40	25.9916

จากตารางที่ 4.22 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 3.2 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 7 155.3750 และ 25 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.23 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.1

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0236	0.8221	0.8000	0.7805	40	30.0050
0.3	5	0.0982	0.6598	0.4400	0.3793	25	29.3199
0.3	15	0.1078	0.6988	0.2128	0.2564	47	28.8721
0.3	15	0.0455	0.7704	0.5405	0.6250	37	29.4044
0.3	25	0.0534	0.6423	0.5429	0.5135	35	31.5698
0.3	25	0.0726	0.5960	0.4375	0.4000	32	30.5911
0.5	5	0.0546	0.6740	0.5143	0.5625	35	28.3049
0.5	5	0.0571	0.6947	0.4146	0.5000	41	29.0222
0.5	15	0.0581	0.7304	0.4390	0.4737	41	29.6656
0.5	15	0.1118	0.5793	0.3214	0.2727	28	32.4839
0.5	25	0.0504	0.5954	0.7778	0.6774	27	29.1645
0.5	25	0.0693	0.7030	0.3333	0.3636	36	32.5837
0.7	5	0.0708	0.6343	0.3696	0.4146	46	27.4046
0.7	5	0.0570	0.5990	0.5676	0.6000	37	28.3129
0.7	15	0.0472	0.6407	0.5128	0.5263	39	25.5144
0.7	15	0.0611	0.5622	0.4750	0.5000	40	26.3998
0.7	25	0.0601	0.7702	0.5263	0.4878	38	31.5640
0.7	25	0.1544	0.5845	0.1081	0.1600	37	31.9812
1	5	0.0689	0.6549	0.4571	0.4444	35	30.4876
1	5	0.0841	0.6742	0.2128	0.3226	47	28.9098
1	15	0.0404	0.6358	0.6667	0.7027	39	31.1476
1	15	0.0837	0.6510	0.2667	0.3429	45	33.6715
1	25	0.0432	0.5318	0.8621	0.7143	29	29.5611
1	25	0.0753	0.5862	0.3243	0.3750	37	29.4040

จากตารางที่ 4.23 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 4.1 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 9 146.2750 และ 15 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.24 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 4.2

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.1003	0.5936	0.4242	0.3415	33	31.6777
0.3	5	0.0644	0.4662	0.7000	0.5385	30	33.3010
0.3	15	0.0969	0.6455	0.2609	0.2500	46	29.6782
0.3	15	0.0374	0.5923	0.8108	0.6818	37	26.2099
0.3	25	0.1319	0.6659	0.1190	0.1136	42	28.1479
0.3	25	0.0595	0.6970	0.6061	0.5000	33	29.3455
0.5	5	0.0782	0.7599	0.4242	0.3333	33	31.7483
0.5	5	0.0567	0.5667	0.6129	0.5000	31	29.3333
0.5	15	0.0862	0.7271	0.3659	0.3000	41	29.0980
0.5	15	0.0888	0.6295	0.1702	0.1818	47	29.2734
0.5	25	0.1237	0.5794	0.2593	0.1591	27	31.4104
0.5	25	0.0844	0.5549	0.3939	0.2889	33	28.5710
0.7	5	0.0894	0.6688	0.6000	0.4186	30	28.0010
0.7	5	0.0984	0.6449	0.2439	0.2174	41	31.5693
0.7	15	0.0455	0.5106	0.6765	0.5610	34	27.0974
0.7	15	0.0567	0.6289	1.0000	0.7222	26	28.1957
0.7	25	0.0739	0.6992	0.5938	0.4222	32	28.8743
0.7	25	0.0482	0.6280	0.9286	0.6842	28	28.9898
1	5	0.0545	0.6472	0.4130	0.3878	46	33.0102
1	5	0.0928	0.4944	0.4839	0.3191	31	31.6575
1	15	0.0880	0.6740	0.2979	0.2745	47	30.9876
1	15	0.0807	0.8742	0.2500	0.2553	48	29.3333
1	25	0.1113	0.6709	0.1892	0.1628	37	30.1100
1	25	0.0526	0.6543	0.4375	0.4375	48	28.6434

จากตารางที่ 4.24 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 4.2 โดยที่ตัวคูณประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 10 191.5000 และ 10 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.25 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 5.1

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0592	0.5793	0.6250	0.5455	48	198.5502
0.3	5	0.0524	0.5624	0.5581	0.5455	43	190.6531
0.3	15	0.0661	0.5472	0.3019	0.3404	53	202.7666
0.3	15	0.0667	0.4600	0.4737	0.3750	38	210.7654
0.3	25	0.0386	0.5696	0.6200	0.6078	50	196.5555
0.3	25	0.0417	0.5704	0.5000	0.5094	54	201.9210
0.5	5	0.0719	0.6049	0.5263	0.4167	38	201.1012
0.5	5	0.0487	0.4584	0.5106	0.4898	47	202.3765
0.5	15	0.0702	0.5722	0.3818	0.3962	55	196.2754
0.5	15	0.0554	0.5637	0.4773	0.4468	44	198.3786
0.5	25	0.0553	0.6895	0.7750	0.6200	40	199.4544
0.5	25	0.0447	0.5255	0.4583	0.4889	48	195.3500
0.7	5	0.0632	0.4664	0.5676	0.5250	37	203.5014
0.7	5	0.0289	0.4984	0.8049	0.6600	41	201.4334
0.7	15	0.0264	0.5168	0.7097	0.6667	62	205.5029
0.7	15	0.0518	0.4870	0.4310	0.4386	58	201.5933
0.7	25	0.0563	0.5215	0.5909	0.5098	44	207.4111
0.7	25	0.0498	0.5756	0.4211	0.4706	57	202.5467
1	5	0.0835	0.4877	0.7027	0.5200	37	189.4069
1	5	0.0603	0.5298	0.6452	0.4545	31	191.6598
1	15	0.0567	0.4695	0.5333	0.4706	45	201.9991
1	15	0.0417	0.5727	0.6809	0.5926	47	200.5679
1	25	0.0741	0.5982	0.4898	0.4898	49	192.5551
1	25	0.0477	0.5452	0.4545	0.4808	55	189.3600

จากตารางที่ 4.25 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตอบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 5.1 โดยที่วัตถุประสงค์ที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 19 246.6758 และ 56 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

ตารางที่ 4.26 ค่าตัวชี้วัดตามระดับค่าพารามิเตอร์ของเซตปัญหาที่ 5.2

CONVERGENCE INTERVAL	FUZZY ROUND	CONVERGENCE	SPREAD	RNDS1	RNDS2	NNDS	CPU TIME
0.3	5	0.0549	0.6798	0.4259	0.3898	54	256.3400
0.3	5	0.0388	0.6904	0.4000	0.5660	75	244.3787
0.3	15	0.0631	0.5998	0.3279	0.3030	61	260.4311
0.3	15	0.0468	0.6715	0.3500	0.4828	80	255.9043
0.3	25	0.0367	0.5764	0.6129	0.5352	62	252.1226
0.3	25	0.0658	0.6527	0.3509	0.3448	57	249.6712
0.5	5	0.0637	0.7333	0.3016	0.2969	63	245.8767
0.5	5	0.0453	0.8263	0.4167	0.4808	60	254.2233
0.5	15	0.0545	0.6365	0.3750	0.3429	64	245.6789
0.5	15	0.0479	0.6018	0.5172	0.5769	58	260.3411
0.5	25	0.0566	0.4982	0.6389	0.4259	36	248.3760
0.5	25	0.0488	0.6007	0.4384	0.5246	73	252.3040
0.7	5	0.0570	0.5669	0.4203	0.4203	69	261.7655
0.7	5	0.0521	0.6658	0.3284	0.4151	67	249.3872
0.7	15	0.0424	0.6765	0.5405	0.5405	74	250.5663
0.7	15	0.0459	0.8192	0.3924	0.5536	79	261.5050
0.7	25	0.0315	0.6592	0.7800	0.5909	50	258.7994
0.7	25	0.0498	0.6750	0.4247	0.5082	73	248.3600
1	5	0.0461	0.5788	0.5745	0.4655	47	253.5453
1	5	0.0301	0.9269	0.5132	0.6500	76	242.6676
1	15	0.0615	0.5461	0.4364	0.3636	55	245.9898
1	15	0.0496	0.5946	0.4576	0.5000	59	252.1230
1	25	0.0324	0.7588	0.6032	0.5758	68	244.7321
1	25	0.0433	0.6885	0.4902	0.4630	51	241.7642

จากตารางที่ 4.26 คือค่าที่ได้จากการทดลองทุกช่วงระดับของค่าพารามิเตอร์ทั้ง 2 พารามิเตอร์ โดยทำการทดลองซ้ำ 2 รอบ เพื่อเก็บค่าตัวชี้วัดทั้ง 6 ตัวชี้วัด เพื่อใช้เป็นตัวแปลตบสนองสำหรับการทดสอบความแปรปรวนและกำหนดระดับของพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเซตปัญหาที่ 5.2 โดยที่วัตถุดิบที่ 1 2 และ 3 จะมีค่ามากที่สุดลบน้อยสุดเท่ากับ 19 267.2154 และ 60 ตามลำดับ ในทุกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่เปลี่ยนไป เพื่อคำนวณค่า Convergence

4.6.3.1 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01842	0.009212	1.90	0.191
CON	3	0.01394	0.004646	0.96	0.443
NC*CON	6	0.03258	0.005430	1.12	0.406
Error	12	0.05808	0.004840		
Total	23	0.12303			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0695725	52.79%	9.51%	0.00%

รูปที่ 4.5 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.5 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.406 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.003604	0.001802	1.08	0.372
CON	3	0.015371	0.005124	3.06	0.070
NC*CON	6	0.005689	0.000948	0.57	0.750
Error	12	0.020104	0.001675		
Total	23	0.044769			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0409308	55.09%	13.93%	0.00%

รูปที่ 4.6 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.6 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.750 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.2737	0.13686	1.90	0.192
CON	3	0.4448	0.14827	2.06	0.160
NC*CON	6	0.8184	0.13641	1.89	0.163
Error	12	0.8651	0.07209		
Total	23	2.4021			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.268502	63.98%	30.97%	0.00%

รูปที่ 4.7 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.7 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.163 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.2848	0.14238	1.96	0.184
CON	3	0.2653	0.08842	1.22	0.346
NC*CON	6	0.7505	0.12508	1.72	0.199
Error	12	0.8723	0.07269		
Total	23	2.1728			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.269613	59.85%	23.05%	0.00%

รูปที่ 4.8 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.8 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.199 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	20.33	10.167	2.09	0.167
CON	3	35.46	11.819	2.42	0.116
NC*CON	6	21.67	3.611	0.74	0.627
Error	12	58.50	4.875		
Total	23	135.96			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.20794	56.97%	17.53%	0.00%

รูปที่ 4.9 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.9 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.627 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 1.1 ดังตารางที่ 4.27

ตารางที่ 4.27 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.3

4.6.3.2 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, PC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.028300	0.014150	4.65	0.032
PC	3	0.004446	0.001482	0.49	0.698
NC*PC	6	0.006626	0.001104	0.36	0.889
Error	12	0.036515	0.003043		
Total	23	0.075887			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0551629	51.88%	7.77%	0.00%

รูปที่ 4.10 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.10 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.889 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, PC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.008253	0.004127	1.69	0.225
PC	3	0.007808	0.002603	1.07	0.399
NC*PC	6	0.050233	0.008372	3.43	0.033
Error	12	0.029253	0.002438		
Total	23	0.095547			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0493732	69.38%	41.32%	0.00%

รูปที่ 4.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.11 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.033 ซึ่งน้อยกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมมีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ดังนั้นจะเลือกค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจากระดับของค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบมีค่าเข้าใกล้ 0 มากกว่าสุด ดังนั้นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2 คือ NC = 15 และ Convergence interval = 0 - 0.3

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01610	0.008050	0.11	0.894
CON	3	0.03298	0.010995	0.15	0.925
NC*CON	6	0.86145	0.143575	2.01	0.143
Error	12	0.85671	0.071392		
Total	23	1.76724			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.267193	51.52%	7.09%	0.00%

รูปที่ 4.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 1.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.143 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.05163	0.02581	0.41	0.670
CON	3	0.04693	0.01564	0.25	0.859
NC*CON	6	0.71185	0.11864	1.91	0.161
Error	12	0.74682	0.06224		
Total	23	1.55723			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.249470	52.04%	8.08%	0.00%

รูปที่ 4.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.13 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.161 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	4.083	2.042	0.36	0.707
CON	3	5.458	1.819	0.32	0.812
NC*CON	6	52.917	8.819	1.55	0.245
Error	12	68.500	5.708		
Total	23	130.958			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
2.38921	47.69%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.14 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.245 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำ จึงต้องวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

เนื่องจากเซตปัญหา 1.2 มีค่า p-value < 0.05 ที่ตัวชี้วัดด้าน SPEARD จึงเลือกกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า SPEARD ต่ำที่สุดเป็นระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหาที่ 1.2 ดังตารางที่ 4.28

ตารางที่ 4.28 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 1.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.3

4.6.3.3 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set2.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, PC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000135	0.000067	0.08	0.927
PC	3	0.004279	0.001426	1.61	0.238
NC*PC	6	0.002357	0.000393	0.44	0.835
Error	12	0.010605	0.000884		
Total	23	0.017376			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0297283	38.97%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มค่าตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.15 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.835 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่ค่าตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มค่าตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, PC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000082	0.000041	0.01	0.989
PC	3	0.003599	0.001200	0.34	0.797
NC*PC	6	0.011139	0.001857	0.53	0.779
Error	12	0.042384	0.003532		
Total	23	0.057205			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0594307	25.91%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.16 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.779 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, PC

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.05905	0.02952	0.51	0.613
PC	3	0.33332	0.11111	1.92	0.180
NC*PC	6	0.40773	0.06796	1.17	0.381
Error	12	0.69414	0.05784		
Total	23	1.49423			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.240510	53.55%	10.96%	0.00%

รูปที่ 4.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.17 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.381 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.05711	0.02855	0.66	0.533
CON	3	0.20478	0.06826	1.59	0.244
NC*CON	6	0.60678	0.10113	2.35	0.098
Error	12	0.51671	0.04306		
Total	23	1.38538			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.207507	62.70%	28.51%	0.00%

รูปที่ 4.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.18 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.098 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	16.33	8.167	0.17	0.842
CON	3	302.46	100.819	2.15	0.148
NC*CON	6	293.67	48.944	1.04	0.446
Error	12	563.50	46.958		
Total	23	1175.96			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6.85262	52.08%	8.16%	0.00%

รูปที่ 4.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.446 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.1 ดังตารางที่ 4.29

ตารางที่ 4.29 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.3

4.6.3.4 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set2.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000914	0.000457	0.34	0.717
CON	3	0.002117	0.000706	0.53	0.671
NC*CON	6	0.002671	0.000445	0.33	0.906
Error	12	0.016026	0.001335		
Total	23	0.021727			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0365440	26.24%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.906 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA : SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.003335	0.001668	0.29	0.751
CON	3	0.050972	0.016991	2.99	0.074
NC*CON	6	0.028881	0.004813	0.85	0.559
Error	12	0.068262	0.005688		
Total	23	0.151450			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0754220	54.93%	13.61%	0.00%

รูปที่ 4.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.559 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.08239	0.04120	0.62	0.553
CON	3	0.04009	0.01336	0.20	0.893
NC*CON	6	0.15498	0.02583	0.39	0.871
Error	12	0.79408	0.06617		
Total	23	1.07155			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.257242	25.89%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.871 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.07259	0.03629	0.65	0.537
CON	3	0.04985	0.01662	0.30	0.825
NC*CON	6	0.14878	0.02480	0.45	0.834
Error	12	0.66561	0.05547		
Total	23	0.93682			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.235515	28.95%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
 ครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ
 Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.834 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพล
 ต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึม
 หาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้องครอบงำ
 เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	83.25	41.625	2.02	0.176
CON	3	10.79	3.597	0.17	0.912
NC*CON	6	168.08	28.014	1.36	0.306
Error	12	247.50	20.625		
Total	23	509.63			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
4.54148	51.43%	6.92%	0.00%

รูปที่ 4.24 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 2.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
 ครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากภาพที่ 4.24 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.306 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบง่า จึงต้องนำไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 2.2 ดังตารางที่ 4.30

ตารางที่ 4.30 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 2.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.3

4.6.3.5 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.001126	0.000563	0.69	0.522
CON	3	0.001732	0.000577	0.70	0.568
NC*CON	6	0.003141	0.000523	0.64	0.698
Error	12	0.009838	0.000820		
Total	23	0.015837			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0286327	37.88%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.25 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.001595	0.000798	0.11	0.896
CON	3	0.010035	0.003345	0.47	0.711
NC*CON	6	0.021005	0.003501	0.49	0.805
Error	12	0.086068	0.007172		
Total	23	0.118704			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0846898	27.49%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.805 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.23486	0.117429	1.98	0.180
CON	3	0.00988	0.003292	0.06	0.982
NC*CON	6	0.23727	0.039545	0.67	0.678
Error	12	0.71070	0.059225		
Total	23	1.19270			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.243361	40.41%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้อง
 เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ
 Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.678 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพล
 ต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกต้องเปรียบเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่
 อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก
 เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.12016	0.060081	1.50	0.262
CON	3	0.02952	0.009841	0.25	0.862
NC*CON	6	0.15845	0.026409	0.66	0.683
Error	12	0.47977	0.039981		
Total	23	0.78791			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.199953	39.11%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูก
 เปรียบเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.28 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.683 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	14.08	7.042	0.25	0.781
CON	3	48.00	16.000	0.57	0.642
NC*CON	6	77.25	12.875	0.46	0.823
Error	12	334.00	27.833		
Total	23	473.33			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.27573	29.44%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.29 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.29 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.823 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 3.1 ดังตารางที่ 4.31

ตารางที่ 4.31 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.7

4.6.3.6 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000034	0.000017	0.12	0.891
CON	3	0.000494	0.000165	1.13	0.376
NC*CON	6	0.000968	0.000161	1.11	0.412
Error	12	0.001748	0.000146		
Total	23	0.003244			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0120682	46.13%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.30 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.412 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.02286	0.011428	0.94	0.417
CON	3	0.03573	0.011911	0.98	0.433
NC*CON	6	0.02750	0.004583	0.38	0.879
Error	12	0.14548	0.012123		
Total	23	0.23156			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.110105	37.18%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.31 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.879 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RND51 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01408	0.007038	0.44	0.652
CON	3	0.02007	0.006689	0.42	0.741
NC*CON	6	0.05143	0.008571	0.54	0.768
Error	12	0.19018	0.015848		
Total	23	0.27574			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.125889	31.03%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.32 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.32 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.768 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.006460	0.003230	0.22	0.803
CON	3	0.028135	0.009378	0.65	0.598
NC*CON	6	0.077491	0.012915	0.89	0.529
Error	12	0.173337	0.014445		
Total	23	0.285424			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.120186	39.27%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.33 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.529 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	47.25	23.625	0.40	0.677
CON	3	19.46	6.486	0.11	0.952
NC*CON	6	405.42	67.569	1.15	0.390
Error	12	702.50	58.542		
Total	23	1174.63			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
7.65125	40.19%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.34 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 3.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.34 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.390 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนองที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 3.2 ดังตารางที่ 4.32

ตารางที่ 4.32 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 3.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.7

4.6.3.7 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000266	0.000133	0.13	0.883
CON	3	0.000332	0.000111	0.10	0.956
NC*CON	6	0.004567	0.000761	0.72	0.643
Error	12	0.012734	0.001061		
Total	23	0.017898			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0325750	28.86%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.35 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.35 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.643 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01046	0.005229	1.10	0.364
CON	3	0.02118	0.007059	1.49	0.268
NC*CON	6	0.02869	0.004782	1.01	0.464
Error	12	0.05697	0.004748		
Total	23	0.11730			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0689047	51.43%	6.90%	0.00%

รูปที่ 4.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.36 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.464 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01512	0.007558	0.15	0.861
CON	3	0.01445	0.004816	0.10	0.960
NC*CON	6	0.17816	0.029693	0.60	0.728
Error	12	0.59692	0.049744		
Total	23	0.80465			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.223033	25.82%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.728 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.007924	0.003962	0.11	0.896
CON	3	0.006609	0.002203	0.06	0.979
NC*CON	6	0.123358	0.020560	0.58	0.742
Error	12	0.427200	0.035600		
Total	23	0.565090			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.188680	24.40%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหา Set 4.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.38 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.742 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	139.58	69.79	1.77	0.212
CON	3	91.79	30.60	0.78	0.530
NC*CON	6	125.08	20.85	0.53	0.777
Error	12	473.50	39.46		
Total	23	829.96			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
6.28159	42.95%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.777 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 4.1 ดังตารางที่ 4.33

ตารางที่ 4.33 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.7

4.6.3.8 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000695	0.000348	0.47	0.639
CON	3	0.001011	0.000337	0.45	0.721
NC*CON	6	0.003600	0.000600	0.80	0.586
Error	12	0.008956	0.000746		
Total	23	0.014262			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0273188	37.20%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.40 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.40 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.586 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการเข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01276	0.006382	1.02	0.391
CON	3	0.01085	0.003615	0.58	0.642
NC*CON	6	0.07742	0.012903	2.05	0.136
Error	12	0.07539	0.006283		
Total	23	0.17642			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0792642	57.26%	18.09%	0.00%

รูปที่ 4.41 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.41 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.136 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.00993	0.004965	0.11	0.900
CON	3	0.40296	0.134319	2.88	0.080
NC*CON	6	0.33551	0.055918	1.20	0.371
Error	12	0.56011	0.046676		
Total	23	1.30851			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.216045	57.19%	17.96%	0.00%

รูปที่ 4.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.42 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.371 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01342	0.006708	0.25	0.784
CON	3	0.17322	0.057738	2.14	0.149
NC*CON	6	0.18111	0.030185	1.12	0.408
Error	12	0.32440	0.027034		
Total	23	0.69215			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.164419	53.13%	10.17%	0.00%

รูปที่ 4.43 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.408 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	197.6	98.79	2.98	0.089
CON	3	379.1	126.37	3.82	0.039
NC*CON	6	254.8	42.46	1.28	0.335
Error	12	397.5	33.12		
Total	23	1229.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.75543	67.66%	38.01%	0.00%

รูปที่ 4.44 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 4.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.44 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า NC และ PC มีค่าเท่ากับ 0.335 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 4.2 ดังตารางที่ 4.34

ตารางที่ 4.34 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 4.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	15
Convergence interval	0 - 0.7

4.6.3.9 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000225	0.000113	0.64	0.546
CON	3	0.000717	0.000239	1.35	0.305
NC*CON	6	0.001367	0.000228	1.29	0.334
Error	12	0.002126	0.000177		
Total	23	0.004434			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0133092	52.07%	8.13%	0.00%

รูปที่ 4.45 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.45 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.334 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.013820	0.006910	2.17	0.157
CON	3	0.010744	0.003581	1.13	0.378
NC*CON	6	0.006955	0.001159	0.36	0.888
Error	12	0.038181	0.003182		
Total	23	0.069700			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0564068	45.22%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.46 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.888 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.05852	0.029259	2.02	0.175
CON	3	0.02849	0.009498	0.66	0.594
NC*CON	6	0.10027	0.016712	1.16	0.390
Error	12	0.17357	0.014464		
Total	23	0.36085			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.120268	51.90%	7.81%	0.00%

รูปที่ 4.47 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.47 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.390 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.01617	0.008084	1.53	0.256
CON	3	0.01638	0.005460	1.03	0.413
NC*CON	6	0.06702	0.011170	2.11	0.128
Error	12	0.06350	0.005292		
Total	23	0.16307			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0727456	61.06%	25.36%	0.00%

รูปที่ 4.48 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.48 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า NC และ PC มีค่าเท่ากับ 0.128 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	502.1	251.04	7.45	0.008
CON	3	119.5	39.82	1.18	0.358
NC*CON	6	386.9	64.49	1.91	0.160
Error	12	404.5	33.71		
Total	23	1413.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
5.80589	71.37%	45.13%	0.00%

รูปที่ 4.49 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.1 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.49 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.160 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเป็น จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 5.1 ดังตารางที่ 4.35

ตารางที่ 4.35 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.1

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	5
Convergence interval	0 - 1.0

4.6.3.10 การวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2

จากการวิเคราะห์ ANOVA ได้ผลการวิเคราะห์ดังนี้

1. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: CONVERGENCE versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.000137	0.000068	0.60	0.562
CON	3	0.000304	0.000101	0.90	0.471
NC*CON	6	0.000562	0.000094	0.83	0.570
Error	12	0.001355	0.000113		
Total	23	0.002358			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0106271	42.51%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.50 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.50 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.570 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการลู่เข้าสู่คำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

2. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: SPREAD versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.024425	0.012212	1.54	0.254
CON	3	0.006441	0.002147	0.27	0.845
NC*CON	6	0.092683	0.015447	1.95	0.153
Error	12	0.095123	0.007927		
Total	23	0.218671			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.0890331	56.50%	16.62%	0.00%

รูปที่ 4.51 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.51 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.153 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

3. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNDS1 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.07527	0.037637	2.85	0.097
CON	3	0.03407	0.011357	0.86	0.488
NC*CON	6	0.04290	0.007151	0.54	0.768
Error	12	0.15857	0.013214		
Total	23	0.31082			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.114954	48.98%	2.22%	0.00%

รูปที่ 4.52 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้เป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.52 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.768 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

4. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบจำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: RNSD2 versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	0.007256	0.003628	0.32	0.731
CON	3	0.025212	0.008404	0.75	0.545
NC*CON	6	0.047928	0.007988	0.71	0.649
Error	12	0.135163	0.011264		
Total	23	0.215558			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
0.106130	37.30%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.53 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.53 จะเห็นได้ว่าค่า p-value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.649 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

5. วิเคราะห์ ANOVA โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

Two-way ANOVA: NNDS versus NC, CON

Analysis of Variance

Source	DF	Adj SS	Adj MS	F-Value	P-Value
NC	2	235.1	117.54	0.72	0.509
CON	3	389.5	129.82	0.79	0.523
NC*CON	6	193.9	32.32	0.20	0.972
Error	12	1972.5	164.38		
Total	23	2791.0			

Model Summary

S	R-sq	R-sq(adj)	R-sq(pred)
12.8209	29.33%	0.00%	0.00%

รูปที่ 4.54 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัญหา 5.2 เมื่อใช้ค่าด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเป็นตัวแปรตอบสนอง

จากรูปที่ 4.54 จะเห็นได้ว่าค่า p-Value ของปัจจัยร่วมระหว่างค่า Fuzzy round (NC) และ Convergence interval มีค่าเท่ากับ 0.972 ซึ่งมากกว่า 0.05 หมายความว่า ปัจจัยร่วมไม่มีอิทธิพลต่อตัวแปรตอบสนองด้านจำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ จึงต้องนำผลไปวิเคราะห์ขั้นตอนต่อไป

6. วิเคราะห์โดยใช้ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล พบว่าพารามิเตอร์ที่ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยที่สุด ของปัญหาที่ 5.2 ดังตารางที่ 4.36

ตารางที่ 4.36 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมของปัญหา Set 5.2

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
Fuzzy round (NC)	5
Convergence interval	0 - 1.0

4.7 สรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยโปรแกรม Minitab 17 เพื่อพิจารณาว่าปัจจัยร่วมระหว่างค่าการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและค่าจำนวนรอบในการใช้ฟัชชีลอจิกมีผลต่อค่าตัวแปรตอบสนองทั้ง 5 ตัวชี้วัดหรือไม่ โดยพิจารณาจากค่า p-value ดังตารางที่ 4.37

ตารางที่ 4.37 ค่า p-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17.

เขต ปัญหา	p-value (เกณฑ์ในการยอมรับระดับค่าพารามิเตอร์ที่ เหมาะสม $p\text{-value} < 0.05$)					ผลการตัดสินใจ
	CONV.	SPEAR	RNDS1	RNDS2	NNDS	
1.1	0.406	0.750	0.163	0.199	0.627	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
1.2	0.889	0.033	0.143	0.161	0.245	เลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า SPEAR ต่ำที่สุด
2.1	0.835	0.779	0.381	0.098	0.446	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
2.2	0.906	0.559	0.871	0.834	0.306	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
3.1	0.698	0.805	0.678	0.683	0.823	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
3.2	0.412	0.879	0.768	0.529	0.390	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
4.1	0.643	0.464	0.728	0.742	0.777	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด

ตารางที่ 4.37 (ต่อ) ค่า p-value จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้วยโปรแกรม Minitab 17.

เขต ปัญหา	p-value (เกณฑ์ในการยอมรับระดับ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม p-value < 0.05)					ผลการตัดสินใจ
	CONV.	SPEARD	RNDS1	RNDS2	NNDS	
4.2	0.586	0.136	0.371	0.408	0.335	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
5.1	0.334	0.888	0.390	0.128	0.160	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด
5.2	0.570	0.153	0.768	0.649	0.972	วิเคราะห์จาก CPU-Time น้อยที่สุด

จากตารางที่ 4.37 จะเห็นได้ว่าการตัดสินใจยอมรับระดับของค่าพารามิเตอร์ในแต่ละเขตปัญหาจะใช้ค่า p-value ซึ่งหากค่า p-value มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ จะตัดสินใจยอมรับว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อตัวแปรตอบสนอง ดังนั้นจะทำการเลือกระดับของพารามิเตอร์แต่ละค่าจากระดับที่ให้ค่าตัวแปรตอบสนองที่ดีที่สุด ซึ่งค่าแปรตัวตอบสนองที่นำมาใช้ในการทดสอบระดับค่าของพารามิเตอร์จะใช้ตัวชี้วัด 5 ตัวชี้วัดเป็นตัวแปรตอบสนอง โดยเริ่มต้นจาก ตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set) หากค่าตัวชี้วัดนี้ให้ค่า p-value มีค่าน้อยกว่า $\alpha = 0.05$ จะตัดสินใจยอมรับว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และทำการเลือกระดับของค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงน้อยที่สุดเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเขตปัญหานั้นๆ หากค่า p-value มีค่ามากกว่า $\alpha = 0.05$ จะตัดสินใจปฏิเสธว่าปัจจัยร่วมระหว่างตัวชี้วัดนั้นมีผลต่อค่าการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงและทำการพิจารณาตัวชี้วัดถัดไปเป็นตัวแปรตอบสนอง คือตัวชี้วัดด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set) และทำแบบนี้ไปจนครบทุกค่าตัวชี้วัด คืออัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (Ratio of Non-Dominated Solution I) อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution II) และจำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Number of Non-Dominated Solution) หากค่าตัวชี้วัดทุกตัวที่ใช้เป็นตัวแปรตอบสนองให้ค่า p-value มากกว่า $\alpha = 0.05$ ทั้งหมดจะใช้เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time) เป็นตัวกำหนดระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยหากที่ระดับค่าพารามิเตอร์ใดใช้เวลาในการค้นหาคำตอบน้อยที่สุดจะกำหนดให้ระดับพารามิเตอร์นั้นเป็นระดับพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับเขตปัญหานั้น ดังตารางที่ 4.38

ตารางที่ 4.38 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละเซตปัญหาการทดลอง

เซต ปัญหา	ระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม		เกณฑ์การตัดสินใจในการยอมรับและเลือกระดับ ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	
	Fuzzy round (NC)	Convergence interval	p-value < 0.05	CPU-Time โดยเฉลี่ย น้อยที่สุด
1.1	15	0 – 0.3	-	15.9613
1.2	15	0 – 0.3	0.033*	15.02625
2.1	15	0 – 0.3	-	23.8123
2.2	15	0 – 0.3	-	22.94075
3.1	15	0 – 0.7	-	25.0871
3.2	15	0 – 0.7	-	24.7177
4.1	15	0 – 0.7	-	25.9571
4.2	15	0 – 0.7	-	27.64655
5.1	5	0 – 1.0	-	190.53335
5.2	5	0 – 1.0	-	248.10645

*เซตปัญหา 1.2 มีค่า p-value < 0.05 ที่ตัวชี้วัดด้าน SPEARD จึงเลือกระดับค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่า SPEARD ต่ำที่สุดเป็นระดับค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

จากตารางที่ 4.38 จะเห็นได้ว่าขนาดของเซตปัญหามีผลต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ COIN-F กล่าวคือ สำหรับเซตปัญหาขนาดเล็ก ค่าพารามิเตอร์ Fuzzy round (NC) ควรมีขนาดกลาง และ Convergence interval ขนาดเล็ก แต่สำหรับเซตปัญหาขนาดกลางพบว่าค่า Fuzzy round (NC) ควรมีขนาดกลาง และ Convergence interval ขนาดกลาง แต่เมื่อเซตปัญหามีขนาดใหญ่ค่า Fuzzy round (NC) ควรมีขนาดเล็ก และ Convergence interval ขนาดกลาง

บทที่ 5

ผลการทดลองและการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึม

ในบทนี้จะกล่าวถึง ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึมและทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึม โดยมีอัลกอริทึมที่นำมาเปรียบเทียบกันได้แก่ วิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชี่ลोजิก (COIN-F), วิธีการบรรจบแบบขยาย (COIN-E), วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II (NSGA-II) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) ซึ่งนำมาใช้กับการทดลองการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านทั้งสิ้น 10 ปัญหา โดยแบ่งเป็นปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งใช้ตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมทั้งสิ้น 6 ตัวชี้วัด ดังนี้

- การเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Convergence to the Pareto-Optimal Set)
- การกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ (Spread to the Pareto-Optimal Set)
- อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรองงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (Ratio of Non-Dominated Solution I)
- อัตราส่วนของจำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรองงำเทียบกับจำนวนคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-Dominated Solution II)
- จำนวนของคำตอบที่ไม่ถูกรองงำ (Number of Non-Dominated Solution)
- เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU Time)

5.1 วิธีการทดลอง

อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. ทำการทดลองการแก้ปัญหาตัวอย่างด้วยวิธีการของแต่ละอัลกอริทึม โดยทำการทดลองหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดตลอดทั้งกระบวนการทำงานซ้ำเดิมทั้งสิ้น 2000 รอบ
2. เมื่อได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโตมาแล้วนั้น จึงนำมารวมกันแล้วจัดอันดับคำตอบด้วยวิธีแบบ Non-dominated Sorting จึงทำการคัดคำตอบที่อยู่ในอันดับที่ 1 (คำตอบที่มีความแข็งแรงสูงสุด) มากำหนดให้เป็นคำตอบที่เหมาะสมที่สุดที่แท้จริง

3. นำค่าดัชนีชี้วัดสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึมมาทำการเปรียบเทียบกัน ซึ่งประกอบไปด้วยตัวดัชนีชี้วัดทั้งสิ้น 6 ตัว

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

5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่ใช้ในแต่ละอัลกอริทึม

เนื่องจากในแต่ละปัญหาการทดลองทั้ง 10 ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง ดังนั้นในการเปรียบเทียบสมรรถนะความแตกต่างของอัลกอริทึมที่ใช้ในการทดลองทั้ง 4 อัลกอริทึม คือ COIN-F, COIN-E, NSGA-II และ DPSO จะแสดงสมรรถนะของผลคำตอบที่ดีที่สุดก็ต่อเมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละวิธีการ ซึ่งค่าพารามิเตอร์ในบางอัลกอริทึมจะได้รับจากการทดลองของผู้วิจัยท่านอื่นที่สามารถทำการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีลักษณะคล้ายคลึงกับปัญหาภายใต้งานวิจัยนี้ได้ อย่างเหมาะสม ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-F

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนประชากร	100	(สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย, 2013)
ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล	0.1	
ค่าความน่าจะเป็นในการลงโทษ	0.1	
จำนวนรอบในการใช้ฟิชชี		การทดลอง (บทที่ 4)
ลอจิก		
Set1.1	15	
Set1.2	15	
Set2.1	15	
Set2.2	15	
Set3.1	15	

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-F

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนรอบในการใช้ฟิชชี		
Set3.2	15	
Set4.1	15	
Set4.2	15	
Set5.1	5	
Set5.2	5	
ช่วงค่าการลู่เข้ากลุ่มคำตอบที่แท้จริง		
Set1.1	0 - 0.3	การทดลอง (บทที่ 4)
Set1.2	0 - 0.3	
Set2.1	0 - 0.3	
Set2.2	0 - 0.3	
Set3.1	0 - 0.7	
Set3.2	0 - 0.7	
Set4.1	0 - 0.7	
Set4.2	0 - 0.7	
Set5.1	0 - 1.0	
Set5.2	0 - 1.0	

ตารางที่ 5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ COIN-E

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนประชากร	100	(สถาพร โอบารวิวัฒน์ชัย, 2013)
ค่าความน่าจะเป็นในการให้รางวัล	0.1	
ค่าความน่าจะเป็นในการลงโทษ	0.1	
ค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มจากตาราง COIN	0.7	
ค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มจากตารางวัตถุประสงค์	0.3	

ตารางที่ 5.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ NSGA-II

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนประชากร	100	(Chutima and Chimklai 2012)
วิธีการครอสโอเวอร์	Weight Mapping Crossover	
วิธีการมิวเตชัน	Reciprocal Mutation	
ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์	0.7	
ค่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน	0.3	

ตารางที่ 5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของ DPSO

พารามิเตอร์	ค่าพารามิเตอร์	อ้างอิง
จำนวนประชากร	100	(Chutima and Chimklai, 2012)
จำนวนฝูง	10	
จำนวนอนุภาคในแต่ละฝูง	10	
ค่าน้ำหนักการหวนวง	1	

5.3 ผลการทดลอง

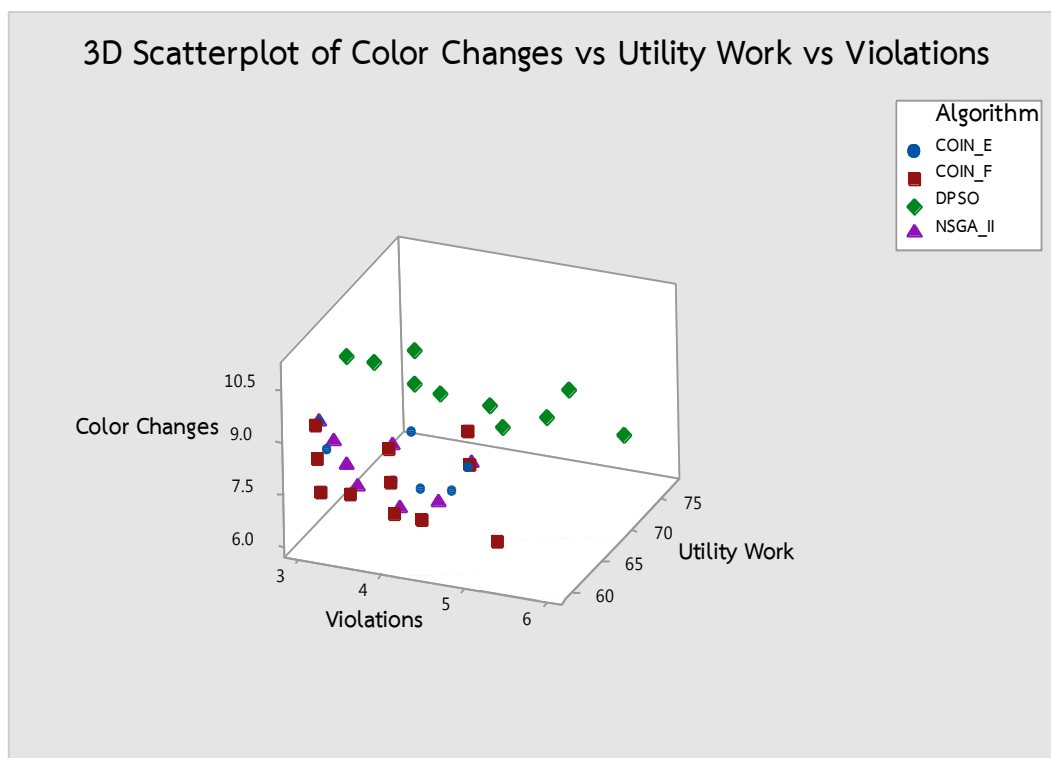
การเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมจากผลที่ได้จากการทดลองตั้งแต่ปัญหาที่ 1.1 ถึง ปัญหา 5.2 แสดงให้เห็นถึงสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึม ดังนี้

5.3.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.1.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.1



รูปที่ 5.1 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.5 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 1

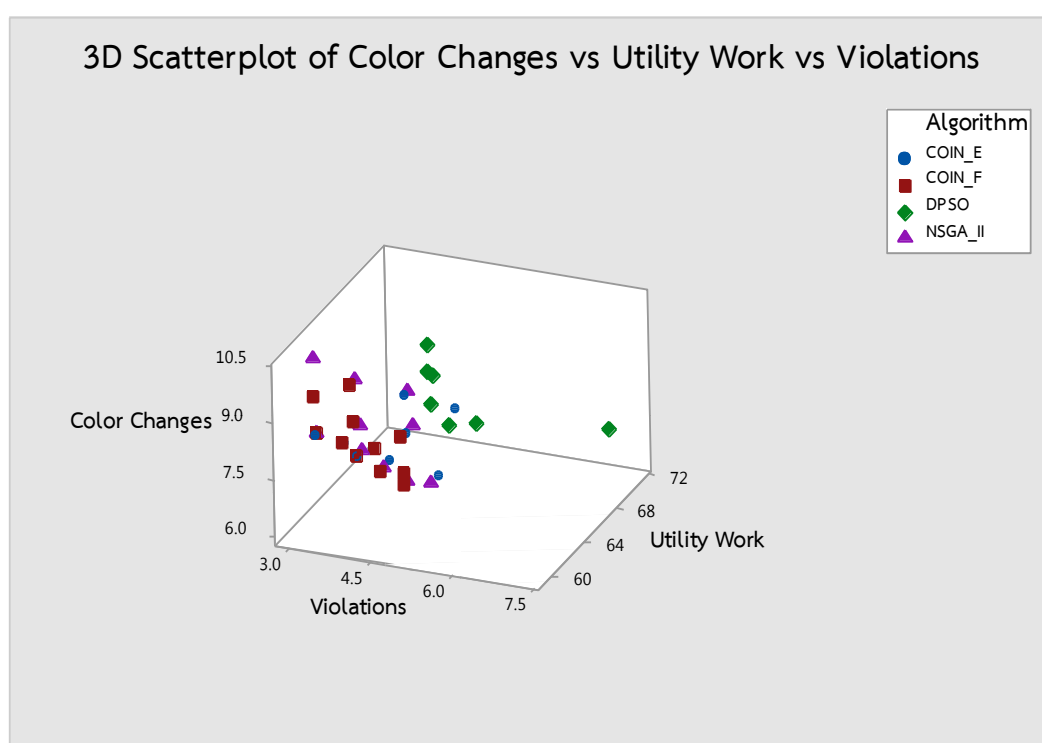
Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0033	0.2161	0.2560	0.5586
Spread	0.4355	0.4359	0.4627	0.5017
RNDS1	0.8182	0.1250	0.0000	0.0000
RNDS2	0.9000	0.1000	0.0000	0.0000
NNDS	11	8	8	10
CPU Time (s)	37.876	14.586	35.115	20.62

จากตารางที่ 5.5 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง และการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E ด้าน

จำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบ นานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.1.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.2



รูปที่ 5.2 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์คู่เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.6 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0405	0.1393	0.1316	0.4299
Spread	0.3979	0.4923	0.4426	0.4789

ตารางที่ 5.6 (ต่อ) ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
RNDS1	0.8182	0.3333	0.1000	0.0000
RNDS2	0.8182	0.2727	0.0909	0.0000
NNDS	11	9	10	7
CPU Time (s)	29.843	15.54	31.948	22.386

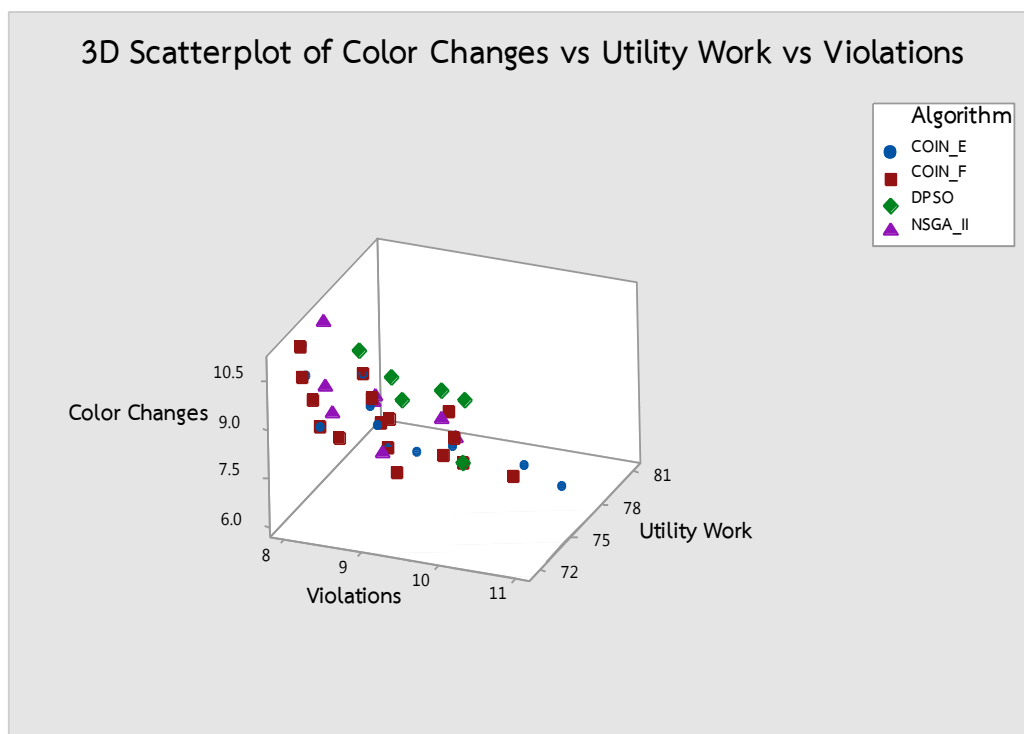
จากตารางที่ 5.6 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.2.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่ ดังรูปที่ 5.3



รูปที่ 5.3 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.3 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.7 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 1

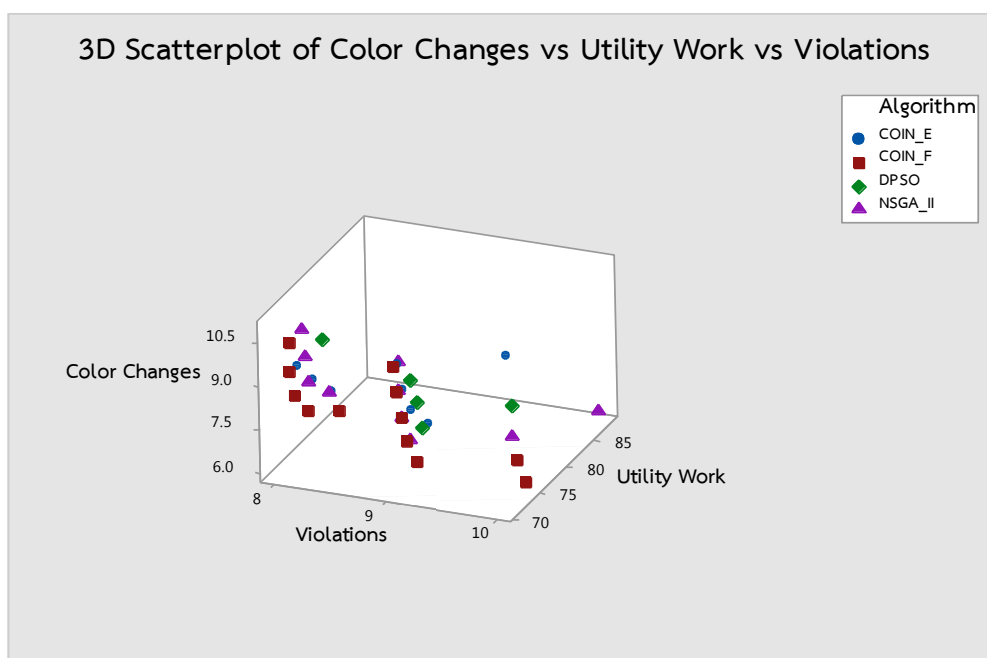
Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0109	0.0985	0.2364	0.4164
Spread	0.3605	0.3678	0.4272	0.4538
RNDS1	0.6875	0.3077	0.2500	0.0000
RNDS2	0.7857	0.2857	0.1429	0.0000
NNDS	16	13	8	6
CPU Time (s)	25.195	14.305	38.378	22.168

จากตารางที่ 5.7 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง การกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า และจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้าน

เวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่าพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.2.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.4



รูปที่ 5.4 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.4 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.8 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 1.2 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0000	0.2291	0.1739	0.4534
Spread	0.3367	0.4002	0.4190	0.4744
RNDS1	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
RNDS2	1.0000	0.0000	0.0000	0.0000
NNDS	12	9	10	5
CPU Time (s)	25.205	14.29	33.727	22.34

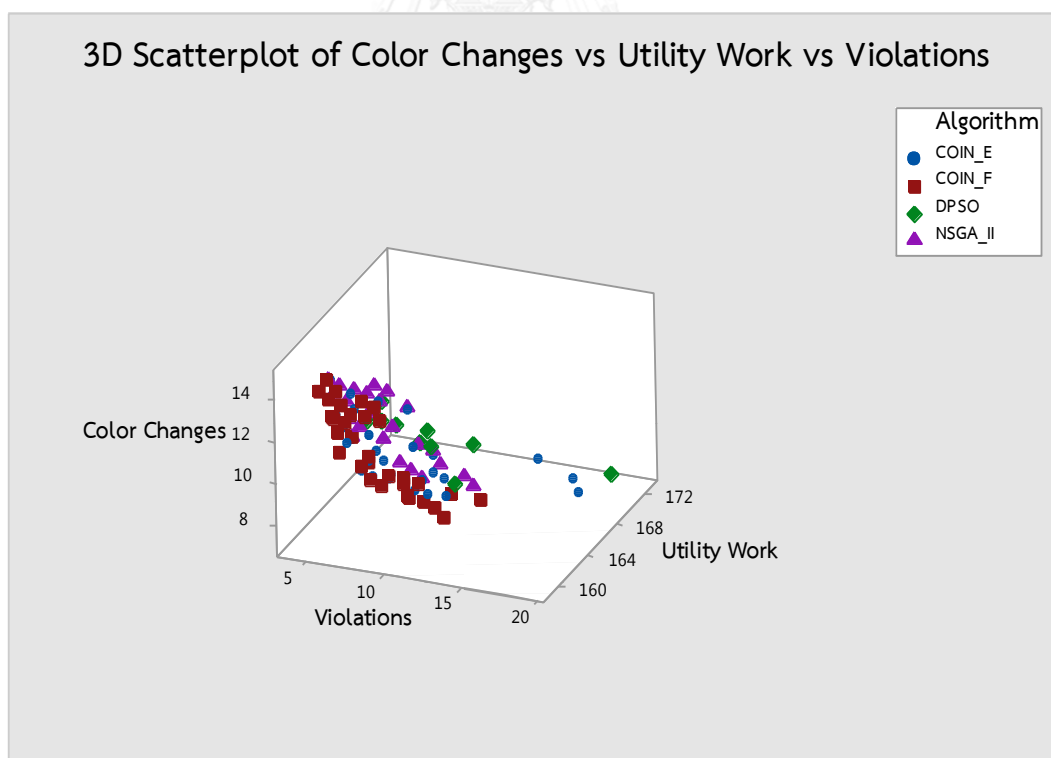
จากตารางที่ 5.8 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.3.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.5



รูปที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.5 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

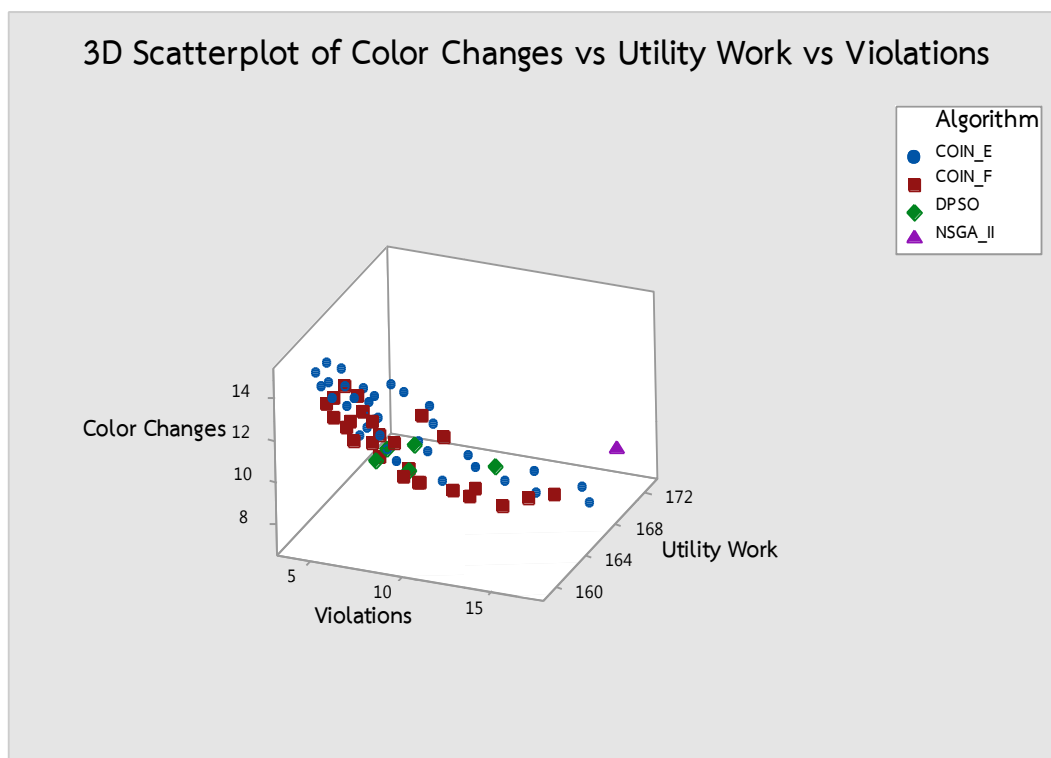
ตารางที่ 5.9 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0221	0.0809	0.1540	0.2315
Spread	0.5559	0.6225	0.5625	0.5807
RNDS1	0.9375	0.1333	0.0833	0.0000
RNDS2	0.8571	0.1143	0.0571	0.0000
NNDS	32	30	24	10
CPU Time (s)	26.224	16.115	23.291	16.52

จากตารางที่ 5.9 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่าพบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.3.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.6



รูปที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.6 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.10 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0440	0.0907	0.2226	0.2978
Spread	0.5442	0.6124	0.5813	0.5948
RNDS1	0.8846	0.6000	0.0000	0.4000
RNDS2	0.6389	0.4167	0.0000	0.0556
NNDS	26	25	11	5
CPU Time (s)	26.5	21.115	20.935	19.104

จากตารางที่ 5.10 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้าน

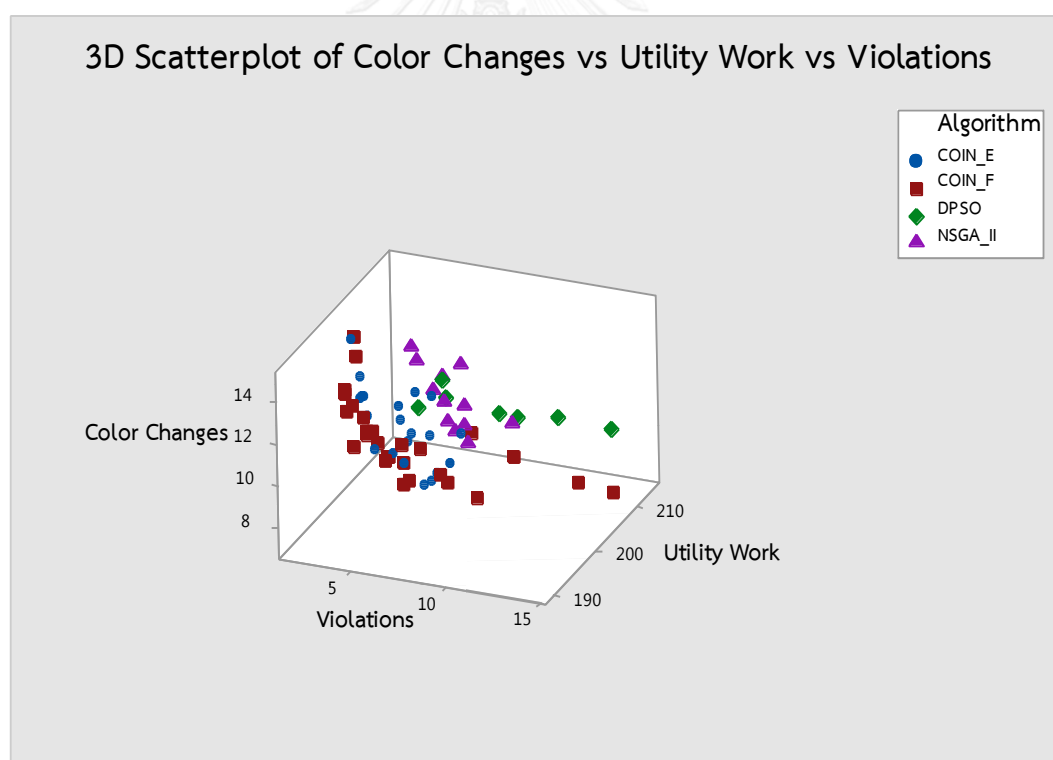
อัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า พบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ

5.3.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.2

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.4.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.7



รูปที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.7 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

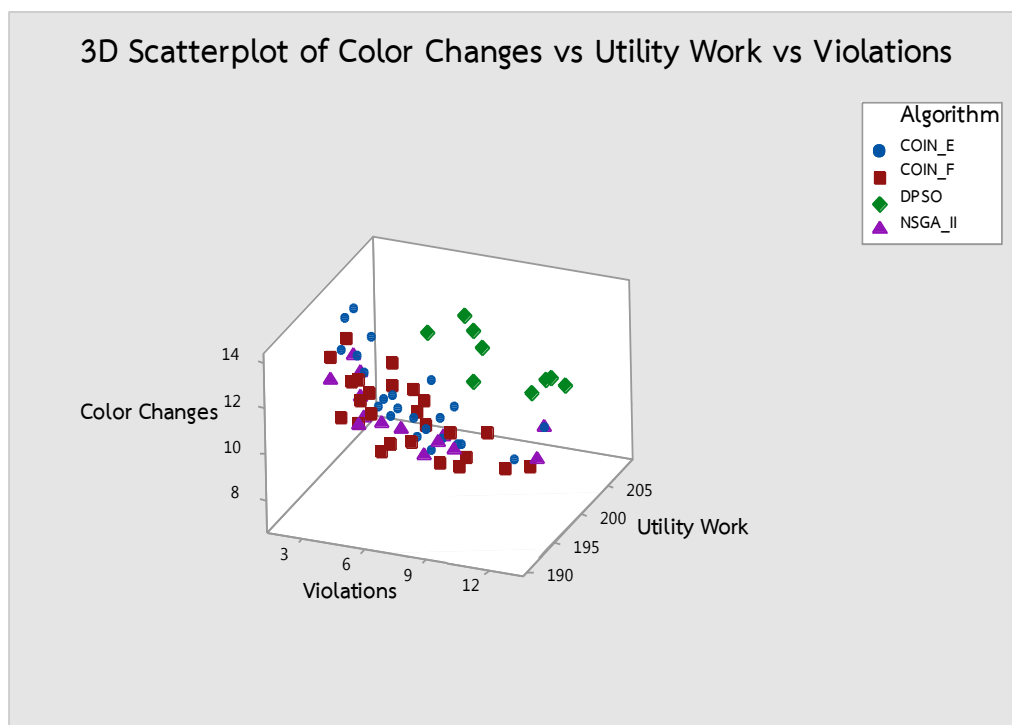
ตารางที่ 5.11 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0046	0.1490	0.3536	0.3935
Spread	0.5481	0.5366	0.6035	0.5953
RNDS1	0.9259	0.1739	0.0000	0.0000
RNDS2	0.9259	0.1481	0.0000	0.0000
NNDS	27	23	12	7
CPU Time (s)	32.89	16.364	33.212	15.756

จากตารางที่ 5.11 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.4.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.8



รูปที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.8 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 2.2 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0234	0.2115	0.2239	0.4979
Spread	0.5425	0.6174	0.5726	0.5601
RNDS1	0.8800	0.0000	0.2857	0.0000
RNDS2	0.8462	0.0000	0.1538	0.0000
NNDS	25	25	14	9
CPU Time (s)	31.98	16.38	31.322	15.99

จากตารางที่ 5.12 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II, และ COIN-E ตามลำดับ

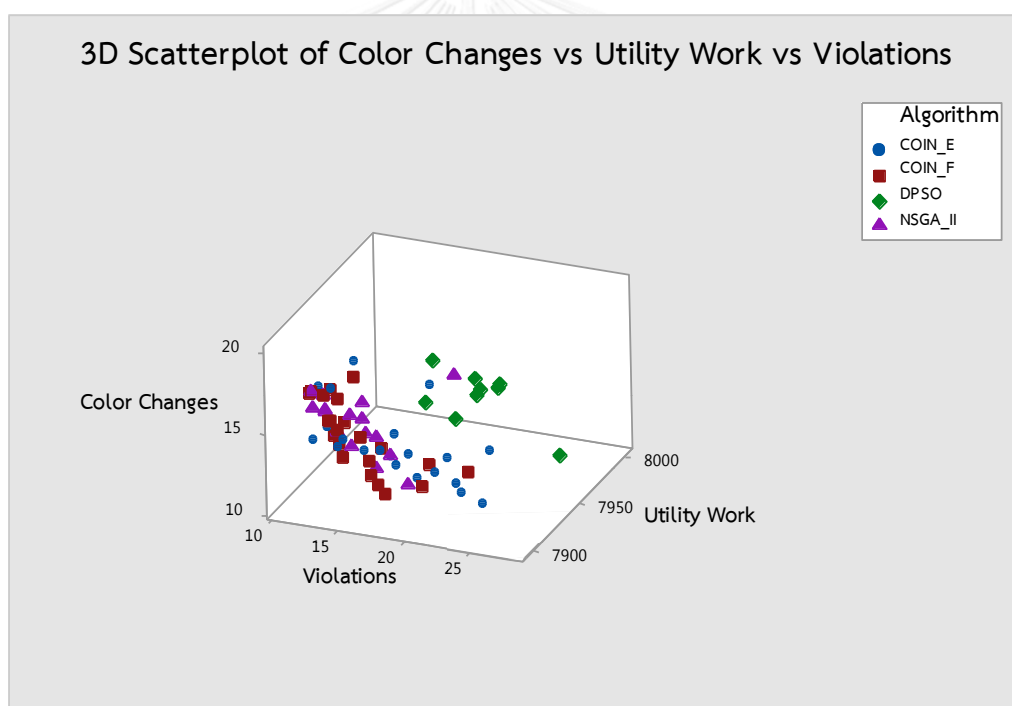
ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F และ COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.5 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.5.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.9



รูปที่ 5.9 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.9 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

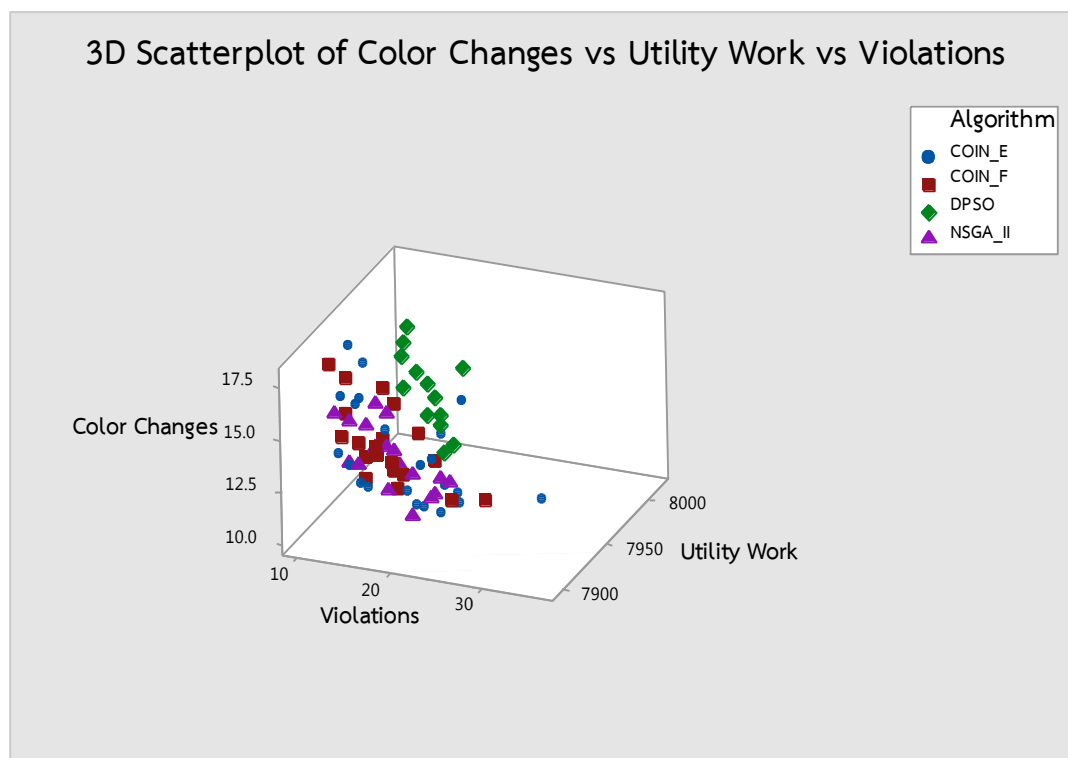
ตารางที่ 5.13 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0252	0.1381	0.1647	0.6511
Spread	0.4838	0.5786	0.5421	0.5654
RNDS1	0.8636	0.1905	0.1875	0.0000
RNDS2	0.7917	0.1667	0.1250	0.0000
NNDS	22	21	15	9
CPU Time (s)	41.34	33.244	49.764	33.899

จากตารางที่ 5.13 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.5.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.10



รูปที่ 5.10 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.10 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.14 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0893	0.0770	0.1579	0.4314
Spread	0.5739	0.6864	0.5822	0.5845
RNDS1	0.4545	0.4167	0.2778	0.0000
RNDS2	0.4000	0.4000	0.2000	0.0000
NNDS	22	24	18	13
CPU Time (s)	37.799	32.339	54.731	33.408

จากตารางที่ 5.14 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้าน

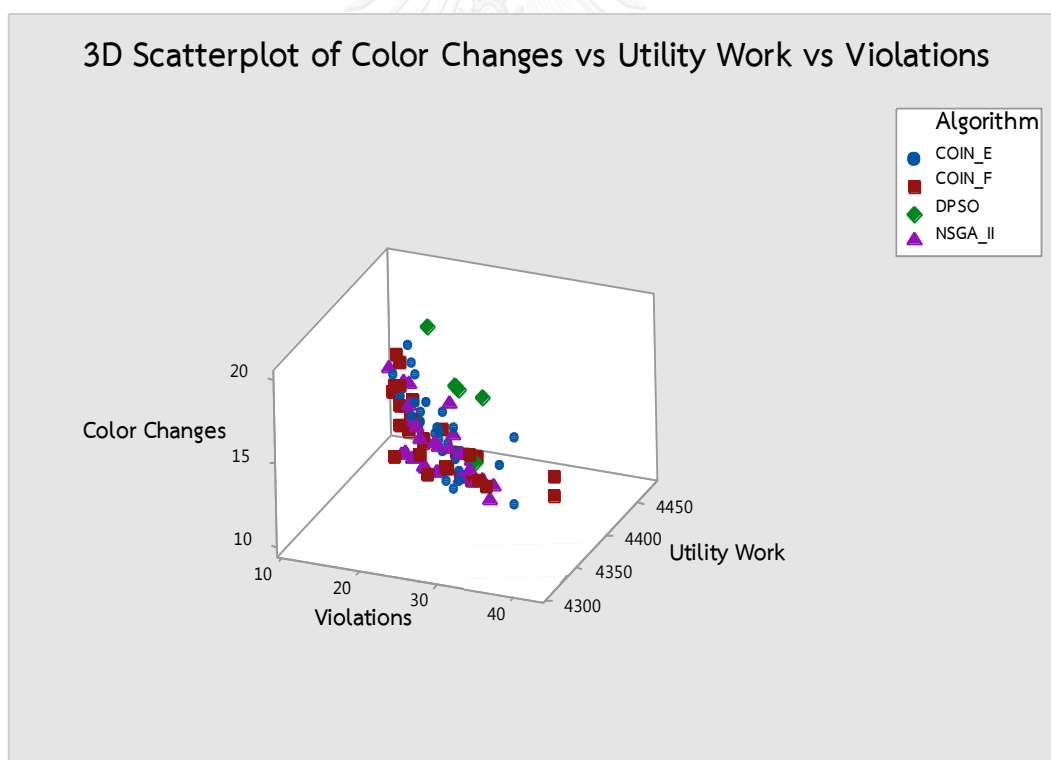
อัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอพบ่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอพบ่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.6 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.2

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.6.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.11



รูปที่ 5.11 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.11 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

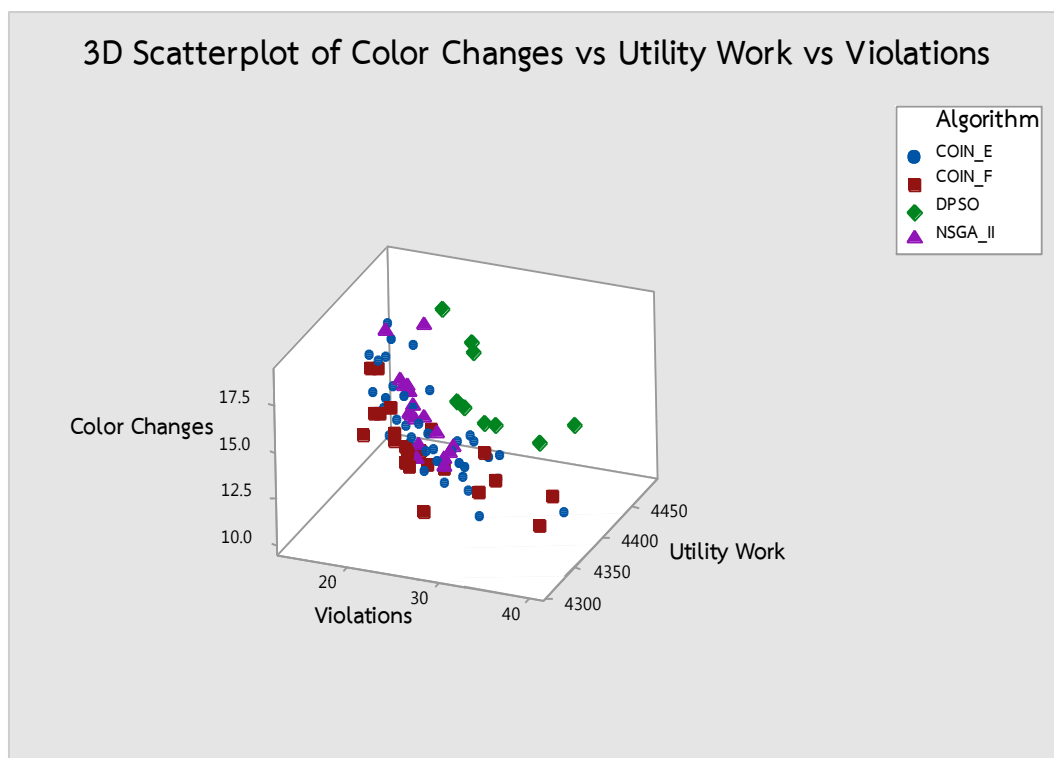
ตารางที่ 5.15 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0545	0.1313	0.0938	0.3723
Spread	0.5611	0.6344	0.7021	0.6306
RNDS1	0.4828	0.0909	0.4138	0.0000
RNDS2	0.4828	0.1034	0.4138	0.0000
NNDS	29	33	29	5
CPU Time (s)	40.342	30.93	48.173	33.62

จากตารางที่ 5.15 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F และ NSGA-II ตามด้วย DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.6.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.12



รูปที่ 5.12 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.12 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์กลุ่มเข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.16 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 3.2 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0475	0.1272	0.1679	0.3701
Spread	0.5621	0.9015	0.6101	0.5900
RNDS1	0.8182	0.1463	0.1053	0.0000
RNDS2	0.6923	0.2308	0.0769	0.0000
NNDS	22	38	19	9
CPU Time (s)	40.233	30.99	51.823	32.729

จากตารางที่ 5.16 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้าน

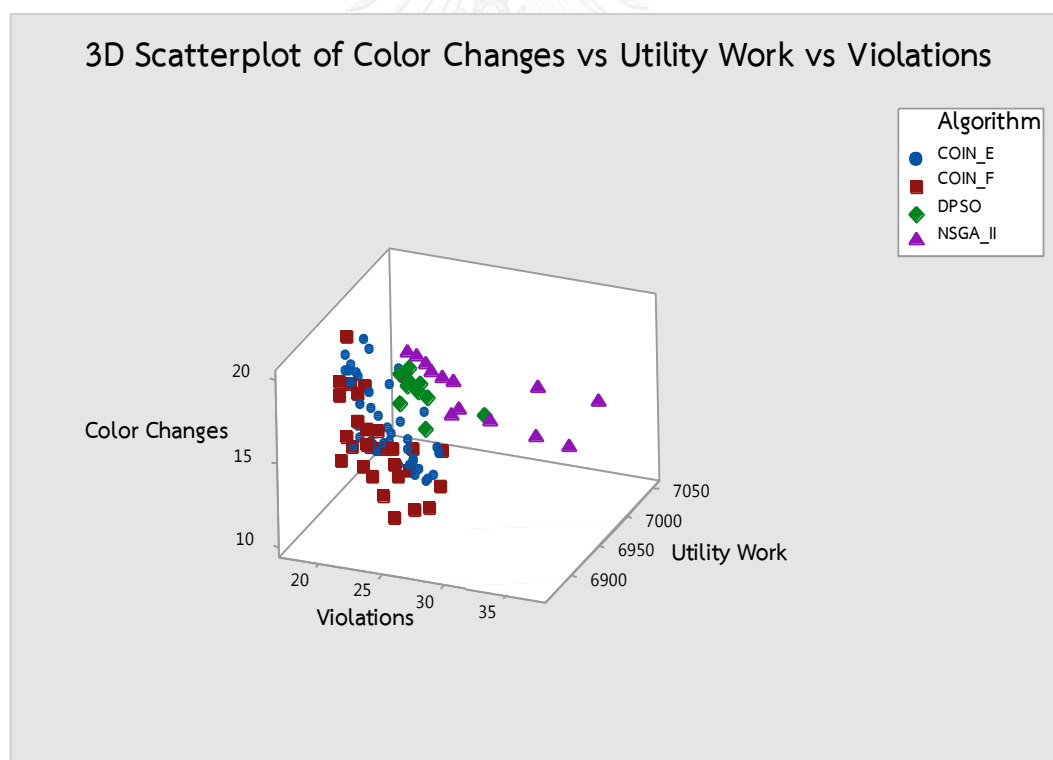
อัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.1

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.7.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.13



รูปที่ 5.13 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.13 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ลู่เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

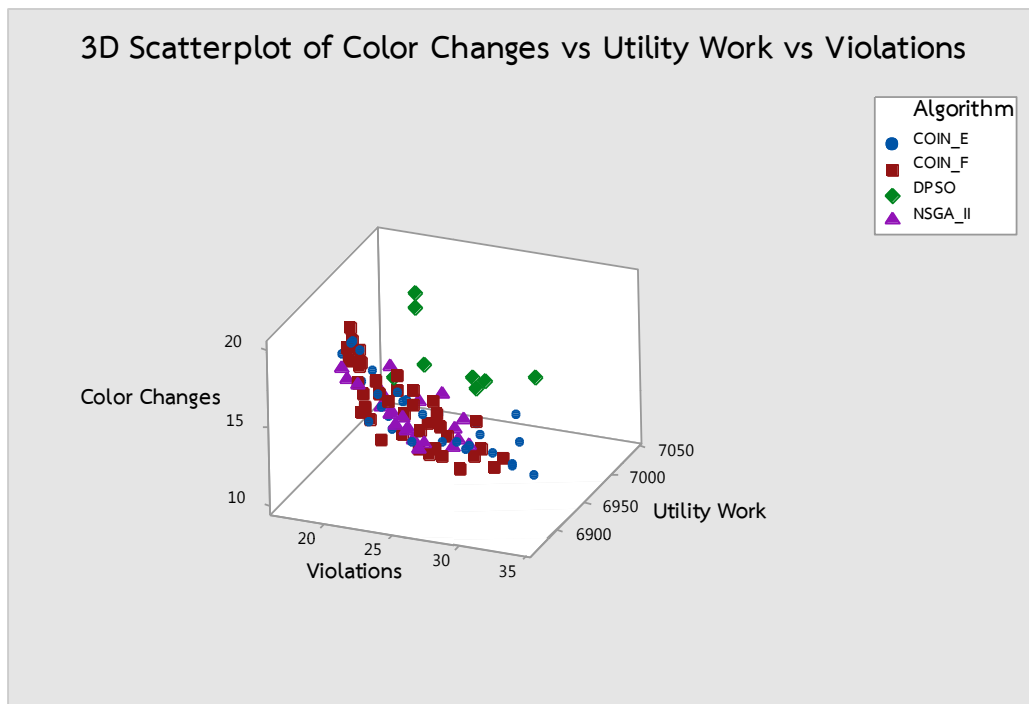
ตารางที่ 5.17 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0268	0.1087	0.4072	0.4003
Spread	0.5318	0.6838	0.5434	0.5621
RNDS1	1.0000	0.1795	0.0000	0.0000
RNDS2	0.8529	0.2059	0.0000	0.0000
NNDS	29	39	13	10
CPU Time (s)	56.878	47.206	57.19	39.812

จากตารางที่ 5.17 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.7.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.14



รูปที่ 5.14 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.14 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0481	0.0999	0.1405	0.3557
Spread	0.5715	0.5732	0.6211	0.5843
RNDS1	0.6250	0.2857	0.4545	0.0000
RNDS2	0.5556	0.2222	0.2222	0.0000
NNDS	40	35	22	8
CPU Time (s)	57.409	53.65	57.5	40.264

จากตารางที่ 5.18 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-

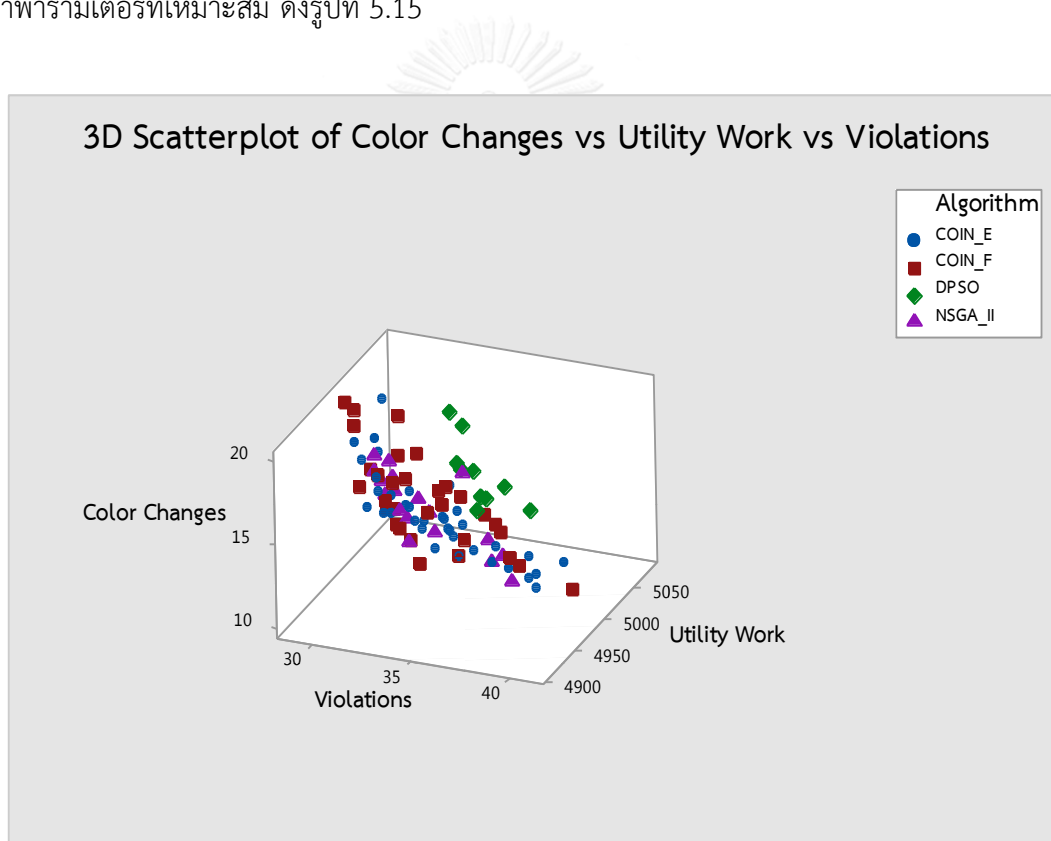
E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.8 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.8.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.15



รูปที่ 5.15 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.15 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

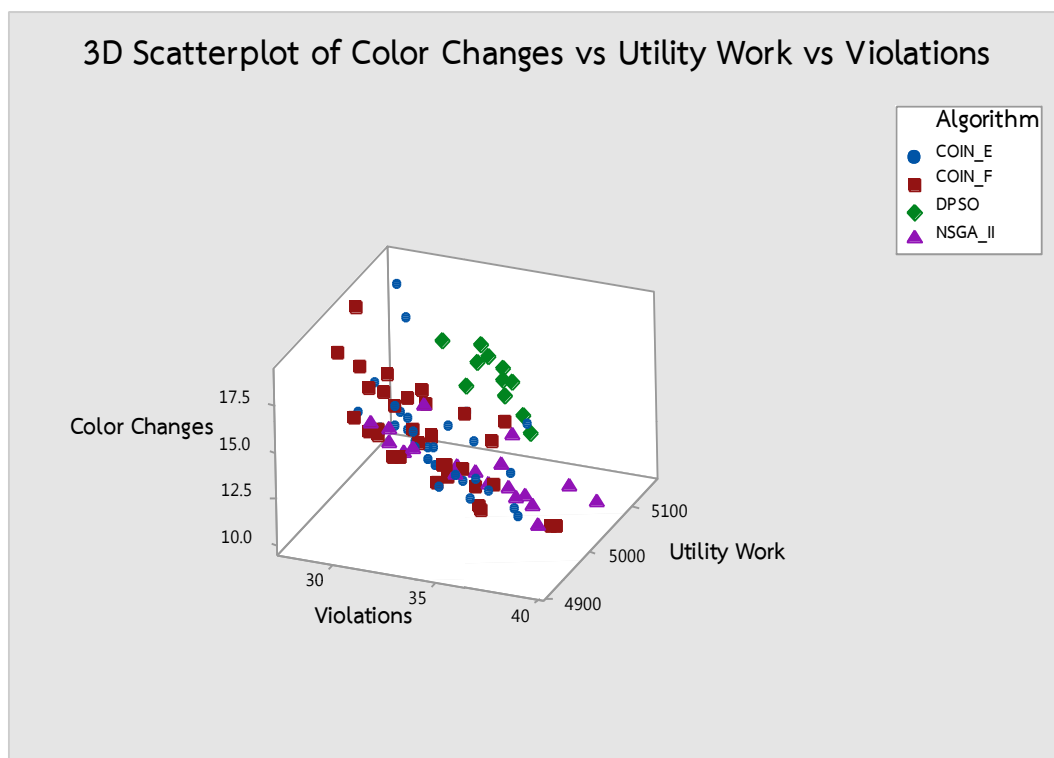
ตารางที่ 5.19 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0730	0.0651	0.2018	0.3700
Spread	0.4944	0.5439	0.5777	0.5477
RNDS1	0.5806	0.5000	0.2222	0.0000
RNDS2	0.4500	0.4750	0.1000	0.0000
NNDS	31	38	18	10
CPU Time (s)	57.237	43.977	67.238	49.64

จากตารางที่ 5.19 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.8.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.16



รูปที่ 5.16 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.16 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.20 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 4.2 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0436	0.1121	0.1767	0.4665
Spread	0.5106	0.7667	0.6264	0.5253
RNDS1	0.7059	0.3333	0.3158	0.0000
RNDS2	0.6000	0.2500	0.1500	0.0000
NNDS	34	30	19	11
CPU Time (s)	57.424	54.133	67.581	55.906

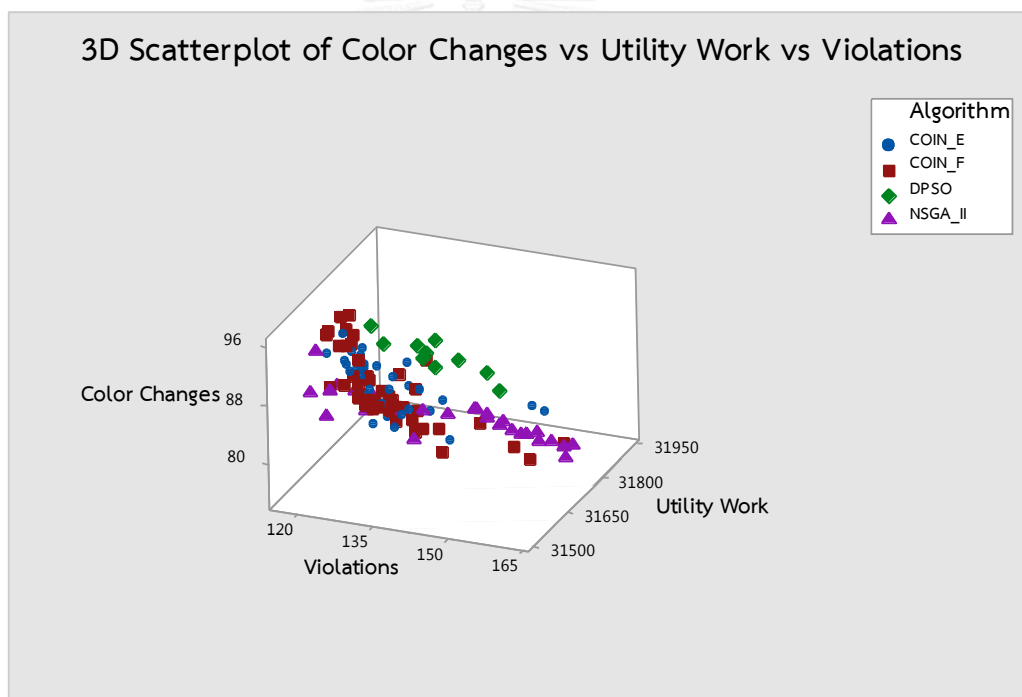
จากตารางที่ 5.20 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้าน

อัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอรับว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.1

5.3.9.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.17



รูปที่ 5.17 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.17 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

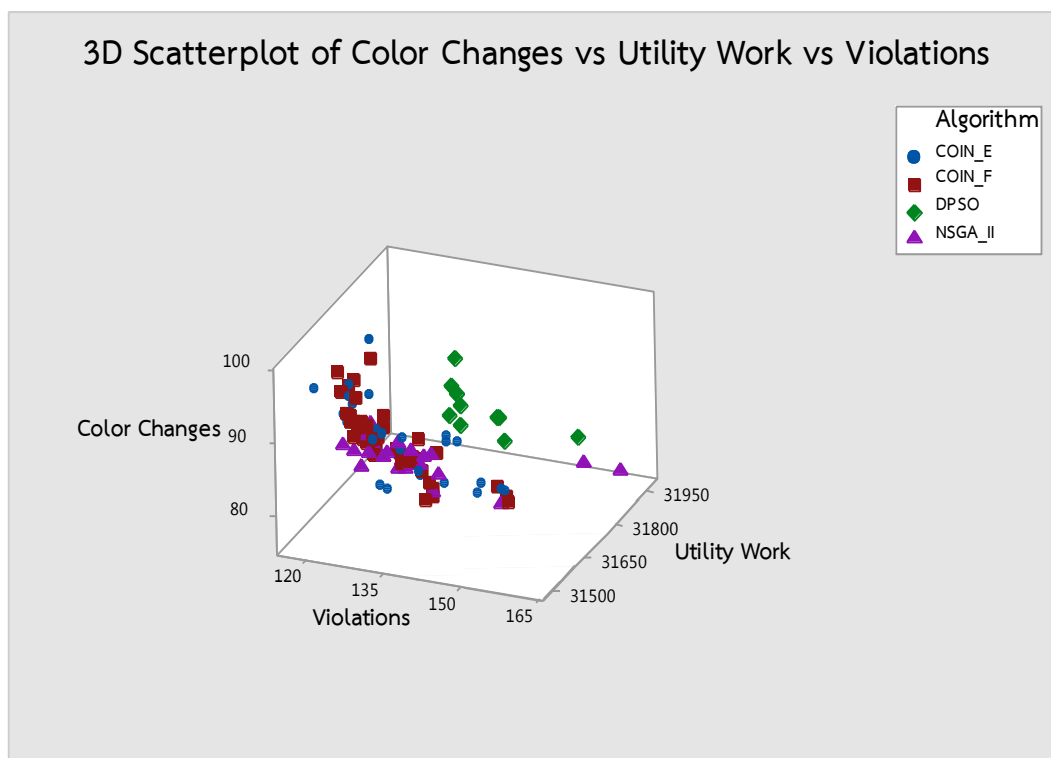
ตารางที่ 5.21 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0644	0.1382	0.0923	0.3983
Spread	0.4695	0.5780	0.5037	0.4837
RNDS1	0.3333	0.1538	0.4375	0.0000
RNDS2	0.4286	0.1714	0.4000	0.0000
NNDS	45	39	32	10
CPU Time (s)	377.723	209.154	357.532	417.389

จากตารางที่ 5.21 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS1) พบว่า NSGA-II มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS2) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.9.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.18



รูปที่ 5.18 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.18 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนนามากที่สุด และ DPSO มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 5.22 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.1 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0609	0.0926	0.1229	0.4528
Spread	0.5769	0.5627	0.4845	0.4947
RNDS1	0.4255	0.4828	0.4583	0.0000
RNDS2	0.4444	0.3111	0.2444	0.0000
NNDS	47	29	24	11
CPU Time (s)	276.163	275.866	456.66	568.982

จากตารางที่ 5.22 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า NSGA-II มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, COIN-E และ COIN-F ตามลำดับ ด้าน

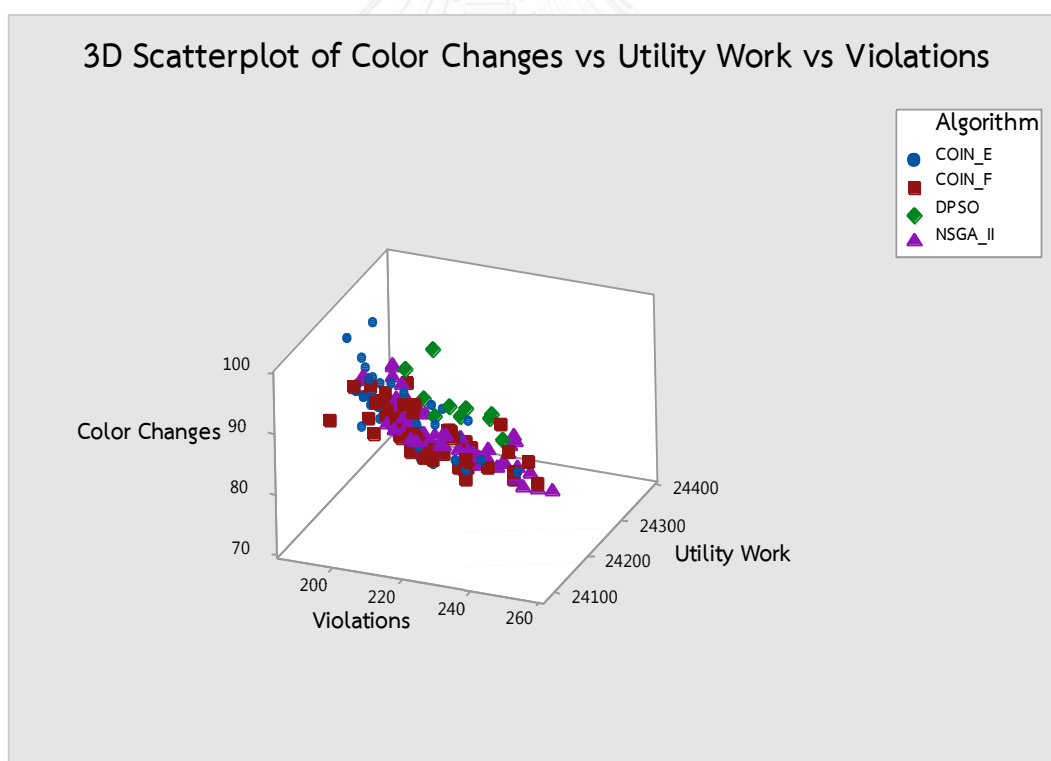
อัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS1) พบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS2) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.10 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.2

ทำการทดลองจำนวน 2 รอบการทำซ้ำ เพื่อความถูกต้องและความน่าเชื่อถือของการทดลอง

5.3.10.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.19



รูปที่ 5.19 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1

จากรูปที่ 5.19 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และมีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

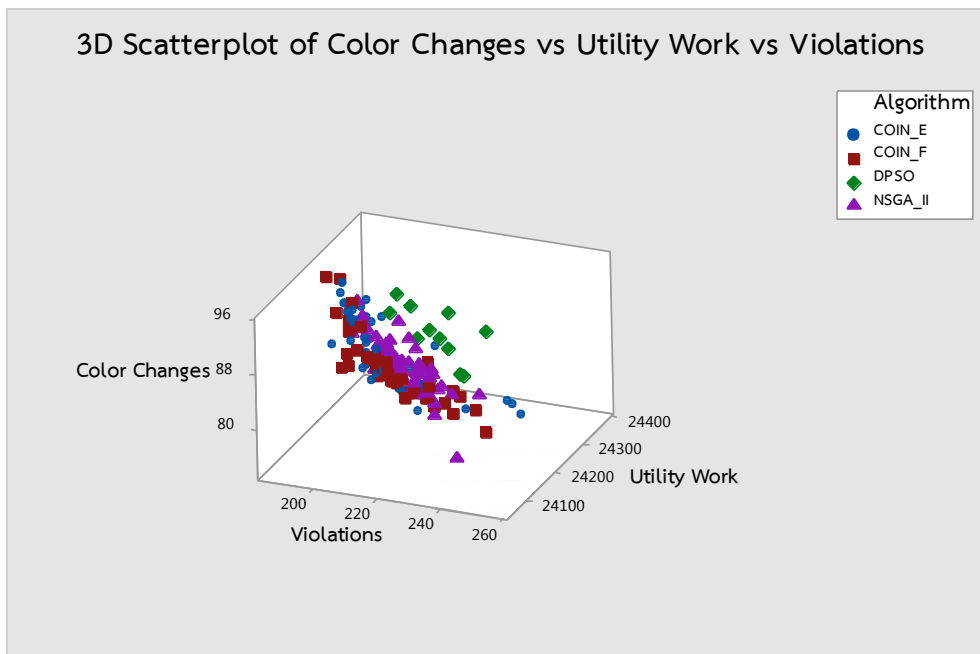
ตารางที่ 5.23 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 1

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0516	0.0810	0.1132	0.2783
Spread	0.5669	0.6918	0.7776	0.6614
RNDS1	0.5652	0.3889	0.2545	0.0000
RNDS2	0.5270	0.2838	0.1892	0.0000
NNDS	69	54	55	10
CPU Time (s)	375.546	276.592	556.331	611.728

จากตารางที่ 5.23 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, COIN-E และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.10.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2

ผลคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ของเซตปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2 จากทั้ง 4 อัลกอริทึมตามค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังรูปที่ 5.20



รูปที่ 5.20 การเปรียบเทียบค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของ 4 อัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2

จากรูปที่ 5.20 จะเห็นได้ว่า COIN-F มีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์เข้าสู่แกนมากที่สุด และ DPSO มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอมากที่สุดเมื่อเทียบกับอัลกอริทึมอื่นๆ

ตารางที่ 5.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมในปัญหาที่ 5.2 รอบที่ 2

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0477	0.0963	0.0977	0.3516
Spread	0.6592	0.6321	0.6359	0.4650
RNDS1	0.7600	0.3542	0.2364	0.0000
RNDS2	0.5588	0.2500	0.1912	0.0000
NNDS	50	48	55	11
CPU Time (s)	376.17	372.723	557.22	567.278

จากตารางที่ 5.24 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า DPSO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ COIN-F ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า NSGA-II มีสมรรถนะดี

ที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมเฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ แต่ละปัญหามีค่าดังนี้

5.3.11.1 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 1.1 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.25 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0219	0.1777	0.1938	0.4942
Spread	0.4167	0.4641	0.4526	0.4903
RNDS1	0.8182	0.2292	0.0500	0.0000
RNDS2	0.8591	0.1864	0.0455	0.0000
NNDS	11.0000	8.5000	9.0000	8.5000
CPU Time (s)	33.8595	15.0630	33.5315	21.5030

จากตารางที่ 5.25 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.2 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 1.2 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.26 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0054	0.1638	0.2052	0.4349

ตารางที่ 5.26 (ต่อ) ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 1.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Spread	0.3486	0.3840	0.4231	0.4641
RNDS1	0.8438	0.1538	0.1250	0.0000
RNDS2	0.8929	0.1429	0.0714	0.0000
NNDS	14.0000	11.0000	9.0000	5.5000
CPU Time (s)	25.2000	14.2975	36.0525	22.2540

จากตารางที่ 5.26 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.3 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 2.1 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.27 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0330	0.0858	0.1883	0.2646
Spread	0.5501	0.6174	0.5719	0.5878
RNDS1	0.9111	0.3667	0.0417	0.2000
RNDS2	0.7480	0.2655	0.0286	0.0278
NNDS	29.0000	27.5000	17.5000	7.5000
CPU Time (s)	26.3620	18.6150	22.1130	17.8120

จากตารางที่ 5.27 พบว่าตัวชี้วัดด้านการรู้เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS1) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS2) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่ม

คำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.11.4 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 2.2 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.28 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 2.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0140	0.1802	0.2887	0.4457
Spread	0.5453	0.5770	0.5880	0.5777
RNDS1	0.9030	0.0870	0.1429	0.0000
RNDS2	0.8860	0.0741	0.0769	0.0000
NNDS	26.0000	24.0000	13.0000	8.0000
CPU Time (s)	32.4350	16.3720	32.2670	15.8730

จากตารางที่ 5.28 พบว่าตัวชี้วัดด้านการลู่อู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E , DPSO และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.11.5 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 3.1 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.29 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0572	0.1076	0.1613	0.5413
Spread	0.5288	0.6325	0.5622	0.5749
RNDS1	0.6591	0.3036	0.2326	0.0000

ตารางที่ 5.29 (ต่อ) ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
RNDS2	0.5958	0.2833	0.1625	0.0000
NNDS	22.0000	22.5000	16.5000	11.0000
CPU Time (s)	39.5695	32.7915	52.2475	33.6535

จากตารางที่ 5.29 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.6 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 3.2 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 3.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0510	0.1292	0.1309	0.3712
Spread	0.5616	0.7679	0.6561	0.6103
RNDS1	0.6505	0.1186	0.2595	0.0000
RNDS2	0.5875	0.1671	0.2454	0.0000
NNDS	25.5000	35.5000	24.0000	7.0000
CPU Time (s)	40.2875	30.9600	49.9980	33.1745

จากตารางที่ 5.30 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดี

ที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.7 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 4.1 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0374	0.1043	0.2738	0.3780
Spread	0.5516	0.6285	0.5823	0.5732
RNDS1	0.8125	0.2326	0.2273	0.0000
RNDS2	0.7042	0.2141	0.1111	0.0000
NNDS	34.5000	37.0000	17.5000	9.0000
CPU Time (s)	57.1435	50.4280	57.3450	40.0380

จากตารางที่ 5.31 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ

5.3.11.8 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 4.2 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0583	0.0886	0.1893	0.4183
Spread	0.5025	0.6553	0.6020	0.5365
RNDS1	0.6433	0.4167	0.2690	0.0000

ตารางที่ 5.32 (ต่อ) ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 4.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
RNDS2	0.5250	0.3625	0.1250	0.0000
NNDS	32.5000	34.0000	18.5000	10.5000
CPU Time (s)	57.3305	49.0550	67.4095	52.7730

จากตารางที่ 5.32 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ DPSO, NSGA-II และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-E มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า NSGA-II ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, DPSO และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 5.1 เฉลี่ย 2 รอบ

ตารางที่ 5.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.1 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0627	0.1154	0.1076	0.4255
Spread	0.5232	0.5704	0.4941	0.4892
RNDS1	0.3794	0.3183	0.4479	0.0000
RNDS2	0.4365	0.2413	0.3222	0.0000
NNDS	46.0000	34.0000	28.0000	10.5000
CPU Time (s)	326.9430	242.5100	407.0960	493.1855

จากตารางที่ 5.33 พบว่าตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า DPSO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS1) พบว่า NSGA-II มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS2) พบว่า

COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.3.11.10 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของอัลกอริทึมปัญหาที่ 5.2 เฉลี่ย 2

รอบ

ตารางที่ 5.34 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึมเซตปัญหาที่ 5.2 เฉลี่ย 2 รอบการทำซ้ำ

Algorithm	COIN-F	COIN-E	NSGA-II	DPSO
Convergence	0.0497	0.0886	0.1055	0.3149
Spread	0.6130	0.6619	0.7067	0.5632
RNDS1	0.6626	0.3715	0.2455	0.0000
RNDS2	0.5429	0.2669	0.1902	0.0000
NNDS	59.5000	51.0000	55.0000	10.5000
CPU Time (s)	375.8580	324.6575	556.7755	589.5030

จากตารางที่ 5.34 พบว่าตัวชี้วัดด้านการลู่อู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า DPSO มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-F, COIN-E, และ NSGA-II ตามลำดับ ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ COIN-E, NSGA-II และ DPSO ตามลำดับ ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-E และ DPSO ตามลำดับ ส่วนในด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบ พบว่า DPSO ใช้เวลาในการหาคำตอบนานที่สุด รองลงมาคือ NSGA-II, COIN-F และ COIN-E ตามลำดับ

5.4 บทสรุป

จากผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึมของเซตปัญหาที่ใช้ในการทดลองทั้งสิ้น 10 ปัญหา ภายใต้ตัวชี้วัดสมรรถนะของอัลกอริทึม คือ การลู่อู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต (Convergence to Pareto-optimal Set) การกระจายตัวของกลุ่มคำตอบ (Spread) อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ (Ratio of

Non-dominated Solutions¹) อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง (Ratio of Non-dominated Solutions²) จำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (Number of Non-dominated Solution) และเวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบ (CPU time) โดยมีหลักเกณฑ์การพิจารณาค่าที่เหมาะสมที่สุดสำหรับตัววัดสมรรถนะดังนี้

- ตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบควรมีค่าเข้าใกล้ 0 นั้นหมายความว่าคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้มีการลู่เข้าหาคำตอบที่แท้จริงที่สุด หรือมีระยะห่างกับคำตอบที่ดีที่สุดน้อยหรือเป็นสมาชิกของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด
- ตัวชี้วัดด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบควรมีค่าเข้าใกล้ 0 นั้นหมายความว่าคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้มีค่าการกระจายตัวดี มีคำตอบที่หลากหลาย
- ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ควรมีค่าเข้าใกล้ 1 นั้นหมายความว่าคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้มีสัดส่วนที่ติดอยู่ในคำตอบที่ดีที่สุดมากเมื่อเทียบกับจำนวนคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้
- ตัวชี้วัดด้านอัตราส่วนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงควรมีค่าเข้าใกล้ 1 นั้นหมายความว่าคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้มีสัดส่วนที่ติดอยู่ในคำตอบที่ดีที่สุดมากเมื่อเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงทั้งหมด
- จำนวนคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำควรมีค่ามาก นั้นหมายความว่าอัลกอริทึมสามารถหาคำตอบได้มาก มีความหลากหลายของคำตอบมาก
- เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบควรมีค่าน้อย นั้นหมายความว่าอัลกอริทึมใช้เวลาในการหาคำตอบที่เร็ว

จากผลการทดลองทุกเซตปัญหา พบว่าในทุกขนาดเซตปัญหาทั้งปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ ตัวชี้วัดด้านการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 100 ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุดปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ COIN-F จะให้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบดีกว่า DPSO ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS1) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 90 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุดปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ (RNDS2) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดในทุกขนาดเซตปัญหาคิดเป็นร้อยละ 100 ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ

60 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุด ปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดใหญ่ ด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า COIN-E ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70 ของเซตปัญหาทั้งหมด ในขณะที่ COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานกว่า เป็นผลเนื่องมาจากการเพิ่มกระบวนการทำงานให้กับอัลกอริทึม



ตารางที่ 5.35 สรุปผลการเปรียบเทียบตัววัดของอัลกอริทึม

	Convergence					Spread					RND1					RND2					NND					CPU Time(s)				
	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q	CON-F	CON-E	NSGA-II	DP2Q		
Set 1.1	0.021	0.177	0.193	0.494	0.416	0.464	0.452	0.490	0.818	0.229	0.050	0.000	0.859	0.186	0.045	0.000	11.000	8.500	9.000	8.500	38.8995	15.0630	33.5315	21.5030						
Set 1.2	0.005	0.163	0.205	0.434	0.348	0.394	0.423	0.464	0.843	0.153	0.125	0.000	0.892	0.142	0.071	0.000	14.000	11.000	9.000	5.500	25.2000	14.2975	36.0525	22.2510						
Set 2.1	0.033	0.085	0.188	0.264	0.550	0.617	0.571	0.587	0.911	0.366	0.041	0.200	0.748	0.265	0.028	0.027	29.000	27.500	17.500	7.500	26.3620	18.6150	22.1130	17.8120						
Set 2.2	0.014	0.180	0.288	0.445	0.545	0.577	0.588	0.577	0.903	0.087	0.142	0.000	0.886	0.074	0.076	0.000	26.000	24.000	13.000	8.000	32.4350	16.3720	32.2670	15.8730						
Set 3.1	0.057	0.107	0.161	0.541	0.528	0.632	0.562	0.574	0.659	0.203	0.232	0.000	0.595	0.283	0.162	0.000	22.000	22.500	16.500	11.000	39.5695	32.2915	52.2475	33.6535						
Set 3.2	0.051	0.129	0.130	0.371	0.561	0.677	0.656	0.610	0.650	0.118	0.259	0.000	0.587	0.167	0.245	0.000	25.500	35.500	24.000	7.000	40.2875	30.9600	49.9800	33.1745						
Set 4.1	0.037	0.104	0.273	0.378	0.551	0.628	0.582	0.573	0.812	0.232	0.227	0.000	0.704	0.214	0.111	0.000	34.500	37.000	17.500	9.000	57.1435	50.4280	57.3450	40.0380						
Set 4.2	0.058	0.088	0.189	0.418	0.502	0.655	0.602	0.536	0.643	0.416	0.289	0.000	0.525	0.362	0.125	0.000	32.500	34.000	18.500	10.500	57.3305	49.0550	67.4095	52.7730						
Set 5.1	0.062	0.115	0.107	0.425	0.523	0.570	0.494	0.489	0.379	0.318	0.447	0.000	0.436	0.241	0.322	0.000	46.000	34.000	28.000	10.500	326.943	242.510	407.096	493.185						
Set 5.2	0.049	0.088	0.105	0.314	0.613	0.661	0.706	0.563	0.662	0.371	0.245	0.000	0.542	0.266	0.190	0.000	59.500	51.000	35.000	10.500	375.858	324.657	556.775	589.503						

บทที่ 6

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

บทสรุปและข้อเสนอแนะประกอบไปด้วยสาระสำคัญโดยย่อของงานวิจัยทั้งหมด เพื่อให้สามารถเห็นภาพรวมโดยกว้างของงานวิจัย และสามารถเข้าใจถึงงานวิจัยนี้ได้ในเวลาไม่นาน รวมทั้งข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปหรือการนำงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ในอุตสาหกรรมยานยนต์จริงต่อไป

6.1 บทสรุปงานวิจัย

ในงานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดนั้น จัดเป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากและสลับซับซ้อนที่เรียกว่า ปัญหาประเภทเอ็นพีฮาร์ด (Non-deterministic Polynomial Hard: NP-Hard) เนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายปัจจัย เช่น จำนวนรถยนต์ที่ทำการผลิต จำนวนสี จำนวนตัวเลือก อีกทั้งฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่มีความหลากหลาย ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีการทางฮิวริสติก (Heuristic) เพื่อให้ได้มาซึ่งคำตอบที่ดีในระดับที่สามารถยอมรับได้โดยใช้เวลาไม่นานมากนัก โดยปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบผลิตภัณฑ์ผสมบนสายการประกอบแบบสองด้านนี้ ได้พิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ 3 ฟังก์ชันพร้อมกัน คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิตรวมน้อยที่สุด และนำเสนออัลกอริทึมการบรรจบร่วมกับฟัซซีลอจิก (Combinatorial Optimization with Fuzzy Logic: COIN-F) ซึ่งเป็นอัลกอริทึมที่ประยุกต์มาจาก COIN มาใช้ในการแก้ปัญหา

6.1.1 ลักษณะของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ลักษณะสายการประกอบในงานวิจัยมีลักษณะดังนี้ 1) เป็นสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน โดยสายการประกอบที่นำมาจัดลำดับการผลิต ได้มีการจัดสมดุลตามอัตราส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ 2) ลำดับของวันก่อนหน้าและวันถัดไปได้มีการกำหนดไว้แล้วจากผู้วางแผนการผลิต 3) รถยนต์ที่ทำการผลิตจะมีหลากหลายรุ่นแต่มีคุณสมบัติคล้ายกันจึงสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ และรถยนต์บางรุ่นที่ไม่มีการทำในบางชิ้นงาน (Task) ชิ้นงานนั้นจะเป็นชิ้นงานของตัวเลือกที่รถยนต์รุ่นนั้นไม่มีตัวเลือกนี้ 4) ในการจัดจะพิจารณาความต้องการผลิตภัณฑ์จาก Minimum Part Set (MPS) 5) สถานีงานที่ใช้จัดเป็นแบบปิด ทราบจำนวนสถานีงานที่อยู่ใน

สายการผลิตและเวลาดาเนินงานของชิ้นงานที่อยู่ในสถานีนงาน 6) ไม่นำระยะทางและเวลาการเดินทางของพนักงานเข้ามาพิจารณา 7) รอบเวลาในการปล่อยสินค้าเข้าสู่สายพานการผลิตมีค่าคงที่

6.1.2 ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์

การพิจารณาแก้ปัญหาสำหรับหลายวัตถุประสงค์ให้มีประสิทธิภาพที่ดีไปพร้อมกัน เป็นเรื่องที่แทบจะเป็นไปได้ยาก เนื่องจากวัตถุประสงค์นั้นอาจมีความขัดแย้งระหว่างกันในการหาค่าน้อยที่สุดหรือค่าที่มากที่สุดของแต่ละวัตถุประสงค์ จึงยากที่จะบอกได้ว่าเป็นคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุด (Konak, Coit et al. 2006) สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto-based Approach) มาใช้ในการค้นหาคำตอบ ซึ่งสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับสมาชิก โดยนำเทคนิคการกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุดที่มีการจัดอันดับคำตอบแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) มาใช้ คำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set) ซึ่งเป็นกลุ่มคำตอบที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีกว่ากันหรือไม่ถูกรอบงำ (Non-dominated Solution) จากคำตอบอื่น (นพพล 2008) ในงานวิจัยนี้เป็นการหาค่าเหมาะสมที่สุดสำหรับการหาค่าที่น้อยที่สุดของแต่ละฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาไปพร้อมกันทั้งหมด

สำหรับในงานวิจัยนี้ได้มีการพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสิ้น 3 วัตถุประสงค์ โดยให้น้ำหนักความสำคัญเท่ากันในทุกวัตถุประสงค์ จึงได้ใช้เทคนิคในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set) มาใช้ในการแก้ปัญหา และสิ่งสำคัญในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่มีหลายวัตถุประสงค์ คือ การกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Assignment) ให้กับสมาชิก ในงานวิจัยนี้ได้นำเทคนิคการกำหนดค่าความแข็งแรงด้วยวิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Pareto -based Approach) ที่มีการจัดอันดับคำตอบแบบพาเรโต (Pareto Ranking Approach) มาใช้ คำตอบที่ได้จะอยู่ในรูปของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด (Pareto Optimal Set หรือ Pareto Optimal Front) ในกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดจะเป็นกลุ่มคำตอบที่ไม่สามารถบ่งบอกได้ว่าคำตอบใดเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ถูกรอบงำ (Non-dominated Solution) จากคำตอบอื่น

6.1.3 อัลกอริทึมที่นำมาใช้เปรียบเทียบในงานวิจัย

อัลกอริทึมที่ใช้ในงานวิจัย ได้แก่ อัลกอริทึมวิธีการบรรจบแบบขยาย (COIN-E) อัลกอริทึมเชิงพันธุกรรมแบบการจัดลำดับที่ไม่ถูกรอบงำ II (NSGA-II) อัลกอริทึมวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคไม่ต่อเนื่อง (DPSO) และ อัลกอริทึมวิธีการบรรจบร่วมกับฟิชชีลอจิก (COIN-F) ซึ่งรายละเอียดทั้งหมดอยู่ในบทที่ 3 และบทที่ 4 และใช้ตัวชี้วัดในการเปรียบเทียบสมรรถนะของแต่ละอัลกอริทึม 6 ตัวชี้วัด คือการลู่เข้าสู่กลุ่มคำตอบที่เหมาะสมที่สุดเชิงพาเรโต การกระจายตัวของกลุ่ม

คำตอบ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่อัลกอริทึมหาได้ อัตราส่วนของคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำเทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง จำนวนของกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกรอบงำ และ เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ

6.1.4 การพัฒนาอัลกอริทึมการบรรจบร่วมกับฟิชชีลोजิก

การประยุกต์ใช้ฟิชชีลोजิกจะช่วยแก้ปัญหาด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบที่ได้จากอัลกอริทึมวิธีการบรรจบ (COIN) เนื่องจาก COIN จะใช้หลักการในการปรับปรุงคำตอบจากประชากรที่ได้จากการสุ่มในรอบแรก และทำการปรับปรุงคำตอบไปเรื่อยๆ ซึ่งหากสุ่มได้คำตอบที่แย่ในรอบแรก นั่นก็จะทำให้คำตอบที่ได้ในรอบต่อๆ อาจจะถูกติดอยู่ในกลุ่มของคำตอบเฉพาะที่ ยากที่กลุ่มคำตอบจะได้รับการพัฒนาให้ดีขึ้น ดังนั้นการใช้ฟิชชีลोजิกในการปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษก็จะช่วยให้หลุดออกจากกลุ่มของคำตอบเฉพาะที่ได้ กล่าวคือหากคำตอบไม่มีการพัฒนาไปในทางที่ดีขึ้นแล้วการจงใจเพิ่มค่าพารามิเตอร์ให้แปลกไปอาจจะช่วยให้กลุ่มคำตอบหลุดจากกลุ่มคำตอบเฉพาะที่ได้ โดยขั้นตอนการทำงานของ COIN-F มีรายละเอียดดังนี้

1. Initialize the generator ทำการสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นเริ่มต้นโดยพิจารณาจากสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ (MPS) เท่ากับขนาด $n \times n$ โดยที่ n นั้นจะเท่ากับผลรวมของ MPS ในแต่ละเซตปัญหา
2. Generate the population using the generator ทำการเลือกลำดับของการผลิต จากการสุ่มจากตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมตามขนาดของประชากร (Population Size) ที่กำหนด ซึ่งรอบแรกนั้นจะมีค่าความน่าจะเป็นร่วมที่เท่ากันหมด ส่วนในรอบถัดไปค่าความน่าจะเป็นร่วมก็จะมีค่าแตกต่างกันไปตามการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น
3. Evaluation the population ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากแต่ละสตริงคำตอบข้างต้น โดยฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรมน้อยที่สุด
4. Pareto Based Approach กำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness) ให้กับแต่ละสตริงคำตอบด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด (Non-dominated Sorting) โดยการจัดอันดับแบบ **Goldberg** เพื่อหาคำตอบที่ดีและไม่ดี

5. Select the candidates คัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดี โดยที่สตริงคำตอบที่ดีจะมีค่าความแข็งแรงน้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด โดยการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางความน่าจะเป็นเริ่มต้น
6. Update the generator ทำการปรับปรุงค่าตารางความน่าจะเป็นร่วมโดยการให้รางวัล (Reward) แก่สตริงคำตอบที่ดีโดยการเพิ่มค่าความน่าจะเป็น และ ลงโทษ (Punish) สตริงคำตอบที่ไม่ดีโดยการลดความน่าจะเป็น เพื่อจะนำไปใช้ในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป
7. Strategies to Maintain Elitist Solution in the Population ทำการนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบัน แล้วนำมาทำการคัดเลือกด้วยวิธีการ Non-dominated Sorting เพื่อทำการเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดไว้จนครบจำนวนของคำตอบที่ต้องการ
8. Using fuzzy logic to improve parameter k ใช้ฟัซซี่ลอจิกเพื่อปรับปรุงค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัลและลงโทษทุกๆรอบการทำงานของฟัซซี่ที่กำหนดไว้ สำหรับรอบอื่นให้กลับไปทำซ้ำขั้นตอนที่ 2
 - 8.1 ทำการคำนวณค่าการลู่เข้าคำตอบที่ดีที่สุด (Progressive Convergence)
 - 8.2 หาจำนวนรอบที่คำตอบไม่มีการพัฒนา (The number of generation that the elite solutions remains unchanged : NC)
9. Update parameter k to use for next generation ค่าความพารามิเตอร์ k เพื่อใช้ในการให้รางวัลและลงโทษในรอบต่อไป
10. Repeat Step 2 กลับไปทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 โดยสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไปจากตารางที่ผ่านการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นแล้ว จนกระทั่งครบจำนวนรอบที่กำหนด

6.1.5 การกำหนดและการทดสอบค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ของ COIN-F

ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองของ COIN-F ได้จากการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ทางสถิติด้วยโปรแกรม minitab17 เพื่อให้ได้ค่าที่เหมาะสมในแต่ละเซตปัญหา เนื่องจากขนาดเซตปัญหาที่แตกต่างกันย่อมส่งผลต่อการทำงานที่แตกต่างกัน โดยพารามิเตอร์ที่ทำการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลทางสถิติ คือ ค่า Convergence Interval ซึ่งเป็นช่วงของค่าการลู่เข้ากลุ่ม

คำตอบที่แท้จริงในการกำหนดระดับค่าความเป็นสมาชิกในฟัซซี่ลอจิก และ ค่าจำนวนรอบที่ใช้ในการใช้ฟัซซี่ลอจิก

6.1.6 ผลการนำ COIN-F มาใช้ในการแก้ปัญหา

จากการนำ COIN-F มาใช้ในการแก้ปัญหาพบว่าในทุกขนาดเซตปัญหาทั้งปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ ตัวชี้วัดด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริงคำตอบ COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุด คิดเป็นร้อยละ 100 ด้านการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 80 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุดในปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง แต่เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ COIN-F จะให้ค่าการกระจายตัวของกลุ่มคำตอบต่ำกว่า DPSO ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS1) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 90 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุดในปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง ด้านอัตราส่วนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำ (RNDS2) พบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดในทุกขนาดเซตปัญหาคิดเป็นร้อยละ 100 ด้านจำนวนกลุ่มคำตอบที่ไม่ถูกครอบงำพบว่า COIN-F มีสมรรถนะดีที่สุดคิดเป็นร้อยละ 60 โดยที่ COIN-F จะมีสมรรถนะที่ดีที่สุดในปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดใหญ่ ด้านเวลาที่ใช้ในการคำตอบพบว่า COIN-E ใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยที่สุด คิดเป็นร้อยละ 70 ของเซตปัญหาทั้งหมด ในขณะที่ COIN-F ใช้เวลาในการหาคำตอบที่นานกว่า

6.2 ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยต่อไปหรือเพื่อการประยุกต์ใช้งานวิจัยนี้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด มีดังนี้

1. ปัญหาเรื่องการจัดลำดับการผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์ควรพิจารณาเลือกวัตถุประสงค์ให้มีความเหมาะสมกับโรงานั้นๆที่จะใช้ในการแก้ปัญหา
2. ทุกๆเซตปัญหาและทุกๆอัลกอริทึมควรมีการทดสอบค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับแต่ละเซตปัญหา เพื่อจะทำให้ได้คำตอบที่มีประสิทธิภาพ เพราะจะมีผลต่อการหาคำตอบของแต่ละอัลกอริทึม
3. งานวิจัยนี้ยังมีข้อกำหนด เงื่อนไขหรือสมมติฐานที่ยังไม่สามารถครอบคลุมกับลักษณะของปัญหาในโรงงานอุตสาหกรรมรถยนต์จริง จึงจำเป็นต้องมีการต่อยอดหรือประยุกต์ใช้เพื่อให้สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมรถยนต์จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ
4. ในการพัฒนาโปรแกรมในอนาคตควรใช้โปรแกรมที่มีการตอบโต้กับผู้ใช้หรือที่เรียกว่า User Interface ซึ่งอาจจะช่วยให้ได้คำตอบที่ดีขึ้นและรวดเร็วขึ้นได้

รายการอ้างอิง

- Akgunduz, O. S. and S. Tunali (2010). "An adaptive genetic algorithm approach for the mixed-model assembly line sequencing problem." International Journal of Production Research 48(17): 5157-5179.
- Akgunduz, O. S. and S. Tunali (2011). "A review of the current applications of genetic algorithms in mixed-model assembly line sequencing." International Journal of Production Research 49(15): 4483-4503.
- Betancourt, L. C. (2007). ASALBP: the Alternative Subgraphs Assembly Line Balancing Problem. Formalization and Resolution Procedures. Doctoral, Technical University Of Catalonia.
- Boysen, N., M. Fliedner and A. Scholl (2007). "A classification of assembly line balancing problems." European Journal of Operation Research 183(2): 674-693.
- Chutima, P. and P. Chimklai (2012). "Multi-objective two sided mixed-model assembly line balancing using particle swarm optimisation with negative knowledge." Computer & Industrial Engineering 62(1): 39-55.
- Chutima, P. and S. Olarnviwatchai (2016). "Multi-objective Car Sequencing Problem on Mixed-model Two-sided Assembly Lines." Journal on Intelligent Manufacturing: 1-20.
- Deb, K., A. Pratap, S. Agarwal and T. Meyarivan (2002). "A fast and elitist multiobjective genetic algorithm: NSGA-II." IEEE Transactions on Evolutionary Computation 6(2): 182-197.
- Djam, X. Y., G. M. Wajiga, Y. H. Kimbi and N. V. Blamah (2011). "A Fuzzy Expert System for the Management of Malaria." International Journal of Pure and Applied Sciences and Technology 5(2): 84-108.
- Hellendoorn, H. and C. Thomas (1993). "Defuzzification in fuzzy controllers." Journal of Intelligent and Fuzzy Systems.
- Hong, T. P. and T. T. Wang (1999). "A new fuzzy flexible flow-shop algorithm for continuous fuzzy domain." Multiple Approaches to Intelligent Systems, Proceedings 1611: 74-79.

- Hyun, C. J., Y. Kim and Y. K. Kim (1998). "A genetic algorithm for multiple objective sequencing problems in mixed model assembly lines." Computers & Operations Research 25(7-8): 675-690.
- Ishibuchi, H., T. Murata and L. Kyu Hung (1996). Formulation of fuzzy flowshop scheduling problems with fuzzy processing time. Fuzzy Systems, 1996., Proceedings of the Fifth IEEE International Conference on.
- Kim, Y. K., Y. H. Kim and Y. J. Kim (2000). "Two-sided assembly line balancing: a genetic algorithm approach." Production Planning & Control 11(1): 44-53.
- Kim, Y. K., W. S. Song and J. H. Kim (2009). "A mathematical model and a genetic algorithm for two-sided assembly line balancing." Computers & Operations Research 36(3): 853-865.
- Konak, A., D. W. Coit and A. E. Smith (2006). "Multi-objective optimization using genetic algorithms: A tutorial." Reliability Engineering & System Safety 91(9): 992-1007.
- Kotani, S., T. Ito and K. Ohno (2004). "Sequencing problem for a mixed-model assembly line in the Toyota production system." International Journal of Production Research 42(23): 4955-4974.
- Kumar, R. and P. K. Singh (2007). Pareto Evolutionary Algorithm Hybridized with Local Search for Biobjective TSP. Hybrid Evolutionary Algorithms. A. Abraham, C. Grosan and H. Ishibuchi, Springer Berlin Heidelberg. 75: 361-398.
- Lam, S. S. and X. Cai (1999). Early-tardy scheduling under fuzzy due dates using a genetic algorithm. Evolutionary Computation, 1999. CEC 99. Proceedings of the 1999 Congress on.
- Lee, T. O., Y. Kim and Y. K. Kim (2001). "Two-sided assembly line balancing to maximize work relatedness and slackness." Computers & Industrial Engineering 40(3): 273-292.
- Mansouri, S. A. (2005). "A Multi-Objective Genetic Algorithm for mixed-model sequencing on JIT assembly lines." European Journal of Operational Research 167(3): 696-716.

- McMullen, P. R. and G. V. Frazier (2000). "A simulated annealing approach to mixed-model sequencing with multiple objectives on a just-in-time line." lie Transactions 32(8): 679-686.
- Ozcan, U. and B. Toklu (2009). "Balancing of mixed-model two-sided assembly lines." Computers & Industrial Engineering 57(1): 217-227.
- Ozcan, U. and B. Toklu (2009). "Multiple-criteria decision-making in two-sided assembly line balancing: A goal programming and a fuzzy goal programming models." Computers & Operations Research 36(6): 1955-1965.
- Ozcan, U. and B. Toklu (2010). "Balancing two-sided assembly lines with sequence-dependent setup times." International Journal of Production Research 48(18): 5363-5383.
- Ross, T. J. (2010). Fuzzy Logic With Engineering Applications, A John Wiley and Sons, Ltd.,
- Solnon, C., V. D. Cung, A. Nguyen and C. Artigues (2008). "The car sequencing problem: Overview of state-of-the-art methods and industrial case-study of the ROADEF'2005 challenge problem." European Journal of Operational Research 191(3): 912-927.
- Wattanapornprom, W., P. Olanvitchai, P. Chutima and P. Chongstitvatana (2009). Multi-objective Combinatorial Optimisation with Coincidence algorithm. Evolutionary Computation, 2009. CEC '09. IEEE Congress on.
- Zinflou, A., C. Gagne and M. Gravel (2012). "GISM00: A new hybrid genetic/immune strategy for multiple-objective optimization." Computers & Operations Research 39(9): 1951-1968.
- Zinflou, A., C. Gagne, M. Gravel and W. L. Price (2008). "Pareto memetic algorithm for multiple objective optimization with an industrial application." Journal of Heuristics 14(4): 313-333.
- กรรณ จิตเมตตา (2011). การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคสำหรับปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2554.

- นพพล คำภิรมย์ (2008). การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดลำดับผลิตภัณฑ์ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวอยู่ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2551.
- ภัททิศา สุวรรณจุจิ (1997). การประยุกต์ใช้ฟuzzyลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัย สำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2540.
- วันวิสา นฤมิตวงศ์ (2012). การจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน ภายใต้ผลกระทบจากการเรียนรู้, วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2555.
- สถาพร โอฬารวิวัฒน์ชัย (2013). การจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.



ภาคผนวก

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
CHULALONGKORN UNIVERSITY

ภาคผนวก ก

การประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบแบบขยายในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มี หลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตรถยนต์แบบหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านและการประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบแบบขยาย มีข้อมูลที่จำเป็นในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์เพื่อตอบสนองวัตถุประสงค์ที่ต้องการคือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรวมน้อยที่สุด ดังนี้

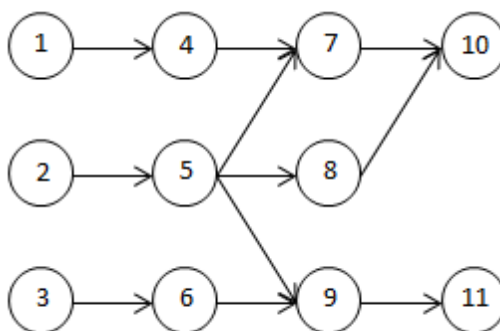
1. ข้อมูลนำเข้าที่ใช้ในการจัดลำดับการผลิตรถยนต์

ข้อมูลนำเข้าต่างๆ ได้แก่ จำนวนรุ่นของรถยนต์ จำนวนสีของรถยนต์ในแต่ละรุ่น ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต ลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้าและวันถัดไป และสีสุดท้ายที่ทำการผลิตจากวันก่อนหน้า สัดส่วนความต้องการของรถยนต์แต่ละรุ่น เวลาการทำงานแต่ละชั้นงานในการประกอบรถยนต์แต่ละรุ่น รอบเวลาการผลิต ลำดับความสัมพันธ์ก่อน และหลังของแต่ละชั้นงาน และอัตราส่วนการผลิตย่อย และสายการประกอบที่ทำการจัดสมดุลการผลิตแล้ว

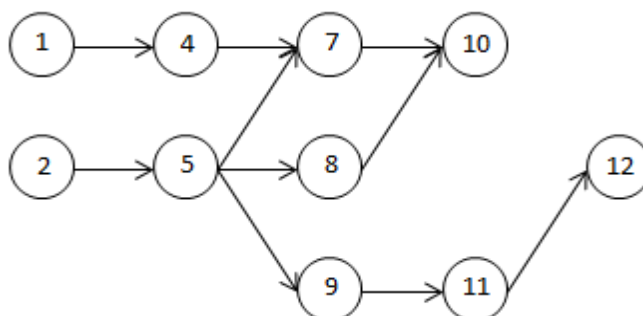
1.1 จำนวนรุ่นของรถยนต์

จากตัวอย่างเซตปัญหา (Kim, Kim et al., 2000) ประกอบด้วยรถยนต์ 3 รุ่น คือ A B และ C ตามสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์ (Minimum Part Set: MPS) เป็น 2:3:4 ตามลำดับ ที่มีจำนวนชั้นงานการประกอบเท่ากับ 12 ชั้นงาน และรอบเวลาการทำงานเท่ากับ 8

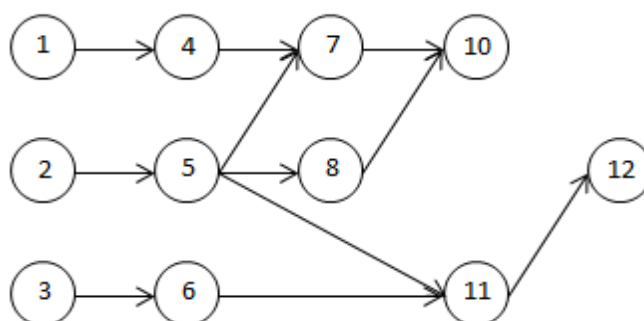
1.2 ลำดับความสัมพันธ์ของชั้นงานก่อนและหลังของรถยนต์แต่ละรุ่น



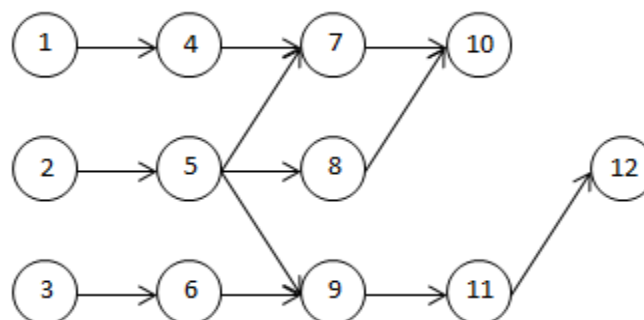
แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังของรถยนต์ A



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังของรถยนต์ B



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังของรถยนต์ C



แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังของรถยนต์รวม A B และ C

รูปที่ ก.1 แผนภาพความสัมพันธ์ก่อนและหลังรวมของรถยนต์ทุกรุ่น ของปัญหาตัวอย่างขนาด 12 ชิ้นงาน (Kim, Kim et al., 2000)

1.3 จำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น

รถยนต์ในแต่ละรุ่นที่ทำการผลิตอาจจะมีจำนวนสีที่ต้องการในแต่ละรุ่นแตกต่างกัน ดังตาราง

ที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 จำนวนสีที่รถยนต์ต้องการในแต่ละรุ่น

สี	จำนวนรถยนต์สีเดียวกันติดต่อกันได้ ไม่เกิน/คัน	จำนวนสีแต่ละรุ่นรถยนต์		
		A	B	C
1	2	1	1	0
2	2	0	0	1
3	2	0	1	0
4	2	1	1	0
5	2	0	0	1

1.4 ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต

ตัวเลือกในการประกอบรถยนต์แต่ละรุ่นจะมีความแตกต่างกัน เนื่องจากรถยนต์บางรุ่นมีการประกอบบางตัวเลือก แต่บางรุ่นก็ไม่มีการประกอบบางตัวเลือก ดังตาราง ก.2

ตารางที่ ก.2 ตัวเลือกของรถยนต์ในแต่ละรุ่นที่จะทำการผลิต

ตัวเลือก	อัตราส่วน p/q	ลำดับการผลิตก่อนหน้า		จำนวนตัวเลือกแต่ละรุ่นรถยนต์		
		-2	-1	A	B	C
1	1/3	C	C	1	0	1
2	2/3	C	C	1	0	1
3	1/3	C	C	1	1	0
4	1/3	C	C	0	1	1

1.5 ชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์แต่ละรุ่น

ตารางที่ ก.3 ชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์ A, B และ C

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน (ต่อ 1 หน่วย)			เวลาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก
	A	B	C	
1	2	3	1	1.88
2	3	3	3	3
3	2	0	1	1.33

ตารางที่ ก.3 (ต่อ) ชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรถยนต์ A, B และ C

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน (ต่อ 1 หน่วย)			เวลาเฉลี่ยแบบถ่วงน้ำหนัก
	A	B	C	
4	3	2	1	1.77
5	1	2	3	2.22
6	1	0	2	1.66
7	1	2	1	1.33
8	3	1	2	1.88
9	2	1	0	1.40
10	2	3	1	1.88
11	1	2	3	2.22
12	0	1	2	1.57

หมายเหตุ ชั้นงานที่ 12 เป็นชั้นงานหลังคาเปิด-ปิด มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 3 เป็นชั้นงานกันชนนิรภัย มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 2/3 ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 6 เป็นชั้นงานวิทยุ มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

ชั้นงานที่ 9 เป็นชั้นงานระบบ ABS มีข้อกำหนดอัตราส่วนการผลิต 1/3 ของแต่ละลำดับย่อย

จากตารางที่ 2.4 แสดงชั้นงานและเวลาดำเนินงานของรุ่นรถยนต์ A B และ C ก่อนทำการจัดลำดับการผลิต จะสังเกตรุ่นรถยนต์ทั้งสามรุ่นจะมีบางชั้นงานที่เหมือนกัน แต่รถยนต์บางรุ่นจะไม่มี การทำชั้นงานบางชั้นงานที่เป็นชั้นงานเกี่ยวตัวเลือก (Options) เมื่อทำการจัดสมดุลการประกอบแล้ว จะได้สายการประกอบที่สมดุลแล้วดังรูปที่ 2.12

1.6 สายการประกอบที่ผ่านการจัดสมดุลการผลิตแล้ว

1	4	6	7
---	---	---	---

3	2	5	9
---	---	---	---

11	12	8	10
----	----	---	----

รูปที่ ก.2 สายการประกอบที่ผ่านการจัดสมดุลการผลิตแล้ว

2. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการบรรจบแบบขยายในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

การจัดลำดับการผลิตมีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้านจะมีการนำเข้าข้อมูลที่จำเป็นต้องใช้ในการแก้ปัญหา ประกอบไปด้วยจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ สัดส่วนผลิตภัณฑ์ จำนวนชิ้นงาน ลำดับความสัมพันธ์ก่อนหลังของชิ้นงาน เวลาดำเนินงานในแต่ละชิ้นงานของแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาดำเนินงานเฉลี่ยในแต่ละชิ้นงาน รอบเวลาดำเนินการผลิต ลักษณะสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบหลายคนที่ได้รับการจัดสมดุลแล้ว

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบวิธีการบรรจบแบบขยาย (COIN-E)

จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว

ค่าการให้รางวัล (Reward) และค่าการลงโทษ (Punish) มีค่าเท่ากับ 0.1

ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มจากตารางวิธีการบรรจบเท่ากับร้อยละ 70

ร้อยละที่ใช้ในการสุ่มจากตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์เท่ากับร้อยละ 30

2.1 การสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นเริ่มต้น

จากตัวอย่างมีจำนวนชนิดของผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 3 รุ่น ได้แก่ A, B และ C มีจำนวน Minimum Part Set (MPS) คือ 2:3:4 แสดงว่าในการจัดลำดับการผลิตครั้งนี้จะต้องมีผลิตภัณฑ์ A จำนวนเท่ากับ 2 ผลิตภัณฑ์ B จำนวนเท่ากับ 3 และผลิตภัณฑ์ C จำนวนเท่ากับ 4 เข้าไปในสายการประกอบ จากนั้นทำการใส่รหัสงานให้กับผลิตภัณฑ์ที่ทำการจัดลำดับการผลิต ดังนี้

ตารางที่ ก.4 ค่าสิทธิของลำดับการผลิตตามจำนวนผลิตภัณฑ์

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

หลังจากนั้นจึงทำการสร้างตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) เริ่มต้น โดยมีขนาดเท่ากับ $n \times n$ เนื่องจากสัดส่วนความต้องการผลิตภัณฑ์รวม (MPS) มีขนาด 9 ตารางเมตริกซ์นี้จึงมีขนาดเท่ากับ 9×9 โดยค่าความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกจะมีค่าเท่ากับ

$$\frac{1}{n-1} = \frac{1}{9-1} = 0.125 \text{ ดังตารางต่อไปนี้}$$

ตารางที่ ก.5 ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้น

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
2	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
3	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
4	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125
5	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125	0.125
6	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125	0.125
7	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125	0.125
8	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000	0.125
9	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.000

2.2 การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น

เมื่อได้ตารางเมตริกซ์ความน่าจะเป็นร่วมเริ่มต้นแล้ว จะทำการสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้นจากการสุ่มค่าความน่าจะเป็นจากตารางที่ ก.5 โดยจำนวนเท่ากับประชากรเริ่มต้น ซึ่งในตัวอย่างนี้มีค่าเท่ากับ 5 ดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ ก.6 สตริงคำตอบเริ่มต้น

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

2.3 การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่น

เมื่อได้ลำดับการผลิตของกลุ่มประชากรเริ่มต้นแล้ว จะนำเข้าสู่สายการประกอบที่ผ่านการจัดสมดุลที่รอบเวลาการผลิตเท่ากับ 8 เพื่อทำการประเมินค่าจำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนรถยนต์ที่ละเมิดรอน้อยที่สุด ซึ่งเป็นฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ ดังตารางที่ ก.7

ตารางที่ ก.7 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบเริ่มต้น

String	Priority	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
1	5 7 8 6 9 4 1 3 2	8	5.1111	18
2	8 2 3 7 9 5 1 6 4	7	4.2222	18
3	5 3 7 9 4 6 2 8 1	9	5.5556	17
4	8 2 3 1 9 5 7 6 4	7	4.2222	18
5	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18

เมื่อทำการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แล้ว จะกำหนดค่าความแข็งแรงให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธีเทคนิควิธีเชิงกลุ่มที่ดีที่สุด โดยการจัดอันดับแบบ Goldberg หรือที่เรียกว่า Non-dominated Sorting และกำหนดค่าความหนาแน่นให้กับสตริงคำตอบที่สร้างขึ้นด้วยวิธี Crowding Distance ดังตารางที่ ก.8

ตารางที่ ก.8 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์และค่าความแข็งแรงของสตริงคำตอบเริ่มต้น

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Crowding Distance
1	8	5.1111	18	3	Infinity
2	7	4.2222	18	2	Infinity
3	9	5.5556	17	1	Infinity
4	7	4.2222	18	2	Infinity
5	7	3.7778	18	1	Infinity

2.4 การคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและสตริงคำตอบที่ไม่ดี

การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อที่จะนำไปปรับปรุงตารางความนำจะเป็นในการให้รางวัลและลงโทษ โดยพิจารณาเริ่มที่ตารางแรกคือ ตารางวิธีการบรรจบ จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง (Fitness) โดยคำตอบที่ดีจะมีค่า Fitness น้อยที่สุด และคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่า Fitness มากที่สุด ดังตารางที่ ก.9

ตารางที่ ก.9 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางวิธีการบรรจวบ

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Selected
1	8	5.1111	18	3	Bad Solution
2	7	4.2222	18	2	-
3	9	5.5556	17	1	Good Solution
4	7	4.2222	18	2	-
5	7	3.7778	18	1	Good Solution

การคัดเลือกสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดีเพื่อที่จะนำไปปรับปรุงตารางความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลและลงโทษสำหรับตารางที่ 2 ถึง 4 คือตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ จะพิจารณาจากค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยที่คำตอบที่ดีจะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์น้อยที่สุด และคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์มากที่สุด ดังตารางที่ ก.10 ตารางที่ ก.11 ตารางที่ ก.12 ตามลำดับ

ตารางที่ ก.10 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Selected
1	8	5.1111	18	3	-
2	7	4.2222	18	2	Good Solution
3	9	5.5556	17	1	Bad Solution
4	7	4.2222	18	2	Good Solution
5	7	3.7778	18	1	Good Solution

ตารางที่ ก.11 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Selected
1	8	5.1111	18	3	-
2	7	4.2222	18	2	-
3	9	5.5556	17	1	Bad Solution
4	7	4.2222	18	2	-
5	7	3.7778	18	1	Good Solution

ตารางที่ ก.12 การคัดเลือกสตริงคำตอบสำหรับตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Selected
1	8	5.1111	18	3	Bad Solution
2	7	4.2222	18	2	Bad Solution
3	9	5.5556	17	1	Good Solution
4	7	4.2222	18	2	Bad Solution
5	7	3.7778	18	1	Bad Solution

2.5 การปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็น

ทำการปรับปรุงตารางค่าความน่าจะเป็นทั้งหมด 4 ตาราง ได้แก่ ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมของตารางวิธีการบรรจบ ตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1, 2 และ 3 ตามลำดับ เพื่อนำมาสร้างผลสตริงคำตอบในรอบการทำงานต่อไป โดยกำหนดให้ k คือค่าพารามิเตอร์ในการให้รางวัล/ลงโทษ ดังสมการที่ ก.1 และ ก.2 ตามลำดับ (กำหนดให้ $k = 0.1$)

$$x = \frac{k}{n-1} \quad (\text{ก.1})$$

$$x = \frac{k}{(n-1)^2} \quad (\text{ก.2})$$

เริ่มทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางวิธีการบรรจบ เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.9 จะพบว่ามีคำตอบที่ดีอยู่ 2 คำคือ สตริงคำตอบที่ 3 [5 3 7 9 4 6 2 8 1] และสตริงคำตอบที่ 5 [6 5 1 7 3 9 4 8 2] โดยจะทำการพิจารณาปรับปรุงไปที่ละสตริงคำตอบ เริ่มต้นที่สตริงคำตอบที่ 3 ทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่อันดับ (5,3) โดยเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้ง

คู่ลำดับ (5,3)) ภายในแถวเดียวกันคือคู่อันดับ (5,1), (5,2),, (5,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางค่าความน่าจะเป็น

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (3,7) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 3 จากนั้นทำการปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลสตริงคำตอบที่ 5 โดยเริ่มที่คู่อันดับ (6,5) จะเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0125 และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (6,5)) ภายในแถวเดียวกันคือคู่อันดับ (6,1), (6,2), ..., (6,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0016

ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (5,1) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 5

กรณีคำตอบที่ไม่ดี เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.9 จะพบว่าคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 1 [5 7 8 6 9 4 1 3 2] การปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษ โดยเริ่มที่คู่อันดับ (5,7)

โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับ

ทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,7)) ภายในแถวเดียวกันคือคู่อันดับ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นในตาราง

ความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (7,8) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 1 จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดีดังตารางที่ ก.13

ตารางที่ ก.13 ตารางวิธีการบรรจบหลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.125	0.1125	0.125	0.125	0.125	0.1375	0.125	0.125
2	0.1234	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234
3	0.1234	0.1109	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1359
4	0.1109	0.1234	0.1234	0	0.1234	0.1359	0.1234	0.1359	0.1234
5	0.1359	0.1234	0.1359	0.1234	0	0.1234	0.1109	0.1234	0.1234
6	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1359	0	0.1234	0.1234	0.1109
7	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0	0.1109	0.1359
8	0.1359	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0.1109	0.1234	0	0.1234
9	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.10 จะพบว่าคำตอบที่ดีอยู่ 3 คำคือ สตริงคำตอบที่ 2 [8 2 3 7 9 5 1 6 4] สตริงคำตอบที่ 4 [8 2 3 1 9 5 7 6 4] และสตริงคำตอบที่ 5 [6 5 1 7 3 9 4 8 2] ทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นทีละสตริง โดยเริ่มที่สตริงที่ 2 ทำการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่อันดับ (8,2) โดยเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้ง

คู่ลำดับ (8,2)) ภายในแถวเดียวกันคือคู่อันดับ (8,1), (8,2), ..., (8,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (2,3) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 2 จากนั้นเริ่มปรับปรุงความน่าจะเป็นสตริงที่ 4 โดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่อันดับ (8,2) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0125 และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (8,2)) ภายในแถวเดียวกันคือ (8,1), (8,2), ..., (8,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0016 ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (2,3) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 4 จากนั้นเริ่มปรับปรุงความน่าจะเป็นสตริงที่ 5 โดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่อันดับ (6,5) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (6,5)) ภายใน

แถวเดียวกันคือคู่อันดับ (6,1), (6,2), ..., (6,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$

ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (5,1) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 5

กรณีคำตอบที่ไม่ดี เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.10 จะพบว่าคำตอบที่ไม่ดีคือ สตริงคำตอบที่ 3 [5 3 7 9 4 6 2 8 1] โดยทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริงคำตอบที่ 3

คู่อันดับ (5,3) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และเพิ่มค่าความน่าจะเป็น

ของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,3)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยเพิ่มค่า

ความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นใน

ตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (3,7) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 3 จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษสตริงคำตอบที่ดีและไม่ดีดังตารางที่ ก.14

ตารางที่ ก.14 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.1202	0.1202	0.1202	0.1202	0.1327	0.1327	0.1202	0.1327
2	0.1234	0	0.1484	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1109	0.1234
3	0.1343	0.1218	0	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1343
4	0.125	0.125	0.125	0	0.125	0.1125	0.125	0.1375	0.125

ตารางที่ ก.14 (ต่อ) ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	0.1468	0.1218	0.1093	0.1218	0	0.1218	0.1343	0.1218	0.1218
6	0.1218	0.1093	0.1218	0.1468	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	0.1093	0.1593	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0	0.1218
9	0.1218	0.1218	0.1218	0.1218	0.1468	0.1218	0.1218	0.1218	0

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.11 จะพบว่ามีค่าตอบที่ดีอยู่ 1 ค่าคือ สตริงคำตอบที่ 5 [6 5 1 7 3 9 4 8 2] ทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่ลำดับ (6,5) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$$x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125 \text{ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (6,5)) ภายใน}$$

แถวเดียวกันคือ คู่ลำดับ (6,1), (6,2), ..., (6,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ

$$x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016 \text{ ต่อมาจึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น}$$

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (5,1) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 5

กรณีคำตอบที่ไม่ดี เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.11 จะพบว่ามีค่าตอบที่ไม่ดีอยู่ 1 ค่าคือ สตริงคำตอบที่ 3 [5 3 7 9 4 6 2 8 1] โดยทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริง

คำตอบที่ 3 คู่ลำดับ (5,3) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,3)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดย

เพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น

เป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (3,7) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุก

คู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 3 จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษสตริง

คำตอบที่ดีและไม่ดีดังตารางที่ ก.15

ตารางที่ ก.15 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1234	0.1359	0.1234	0.1234
2	0.1266	0	0.1266	0.1266	0.1266	0.1266	0.1266	0.1141	0.1266
3	0.125	0.125	0	0.125	0.125	0.125	0.1125	0.125	0.1375

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	0.125	0.125	0.125	0	0.125	0.1125	0.125	0.1375	0.125
5	0.1375	0.125	0.1125	0.125	0	0.125	0.125	0.125	0.125
6	0.125	0.1125	0.125	0.125	0.1375	0	0.125	0.125	0.125
7	0.125	0.125	0.1375	0.125	0.125	0.125	0	0.125	0.1125
8	0.1125	0.1375	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0	0.125
9	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0.125	0

การปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นจากตารางฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.12 จะพบว่ามีค่าตอบที่ดีที่สุดอยู่ 1 ค่าคือ สตริงคำตอบที่ 3 [5 3 7 9 4 6 2 8 1] โดยจะทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการให้รางวัลโดยเริ่มที่คู่ลำดับ (5,3) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และลดค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,3)) ภายใน

แถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมา

จึงทำการให้รางวัลหรือเพิ่มค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (3,7) ต่อไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 3

กรณีคำตอบที่ไม่ดี เมื่อพิจารณาจากตารางที่ ก.12 จะพบว่ามีค่าตอบที่ไม่ดีอยู่ 4 ค่าคือ สตริงคำตอบที่ 1 [5 7 8 6 9 4 1 3 2] สตริงคำตอบที่ 2 [8 2 3 7 9 5 1 6 4] สตริงคำตอบที่ 4 [8 2 3 1 9 5 7 6 4] และสตริงคำตอบที่ 5 [6 5 1 7 3 9 4 8 2] ทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นที่ละสตริง โดยเริ่มที่สตริงที่ 1 ทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริงคำตอบที่

1 เริ่มต้นที่คู่ลำดับ (5,7) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)} = 0.0125$ และเพิ่มค่าความ

น่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (5,7)) ภายในแถวเดียวกันคือ (5,1), (5,2), ..., (5,9) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ $x = \frac{0.1}{(9-1)^2} = 0.0016$ ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็น

เป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (7,8) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 1 จากนั้นทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริงคำตอบที่ 2 เริ่มต้นที่คู่ลำดับ (8,2) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0125 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (8,2)) ภายในแถวเดียวกันคือ (8,1), (8,2), ..., (8,9) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0016 ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น

ร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (2,3) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 2 จากนั้นทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริงคำตอบที่ 4 เริ่มต้นที่คู่อันดับ (8,2) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0125 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (8,2)) ภายในแถวเดียวกันคือ (8,1), (8,2), ..., (8,9) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0016 ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (2,3) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 4 จากนั้นทำการปรับปรุงความน่าจะเป็นโดยการลงโทษสตริงคำตอบที่ 5 เริ่มต้นที่คู่อันดับ (6,5) โดยลดค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0125 และเพิ่มค่าความน่าจะเป็นของคู่ลำดับทั้งหมด (รวมทั้งคู่ลำดับ (6,5)) ภายในแถวเดียวกันคือ (6,1), (6,2), ..., (6,9) โดยเพิ่มค่าความน่าจะเป็นเท่ากับ 0.0016 ต่อมาจึงทำการลงโทษหรือลดค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็นร่วมที่ตำแหน่งคู่ลำดับที่ (5,1) ต่อไป และพิจารณาแบบนี้ไปจนครบทุกคู่ลำดับในสตริงคำตอบที่ 5 จะได้ตารางค่าความน่าจะเป็นร่วมที่ได้ผ่านการให้รางวัลและลงโทษ ดังตารางที่ ก.16

ตารางที่ ก.16 ตารางความน่าจะเป็นของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 3 หลังการปรับปรุง

From/To	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0.1314	0.1189	0.1314	0.1314	0.1189	0.1189	0.1314	0.1189
2	0.1266	0	0.1016	0.1266	0.1266	0.1266	0.1266	0.1391	0.1266
3	0.1173	0.1173	0	0.1298	0.1298	0.1298	0.1298	0.1298	0.1173
4	0.1141	0.1266	0.1266	0	0.1266	0.1391	0.1266	0.1141	0.1266
5	0.1048	0.1298	0.1423	0.1298	0	0.1298	0.1048	0.1298	0.1298
6	0.1298	0.1423	0.1298	0.1048	0.1173	0	0.1298	0.1298	0.1173
7	0.1298	0.1298	0.1173	0.1298	0.1298	0.1173	0	0.1298	0.1173
8	0.1423	0.0923	0.1298	0.1298	0.1298	0.1173	0.1298	0	0.1298
9	0.1298	0.1298	0.1298	0.1173	0.1048	0.1298	0.1298	0.1298	0

2.6 เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด โดยการนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ามารวมกับรอบปัจจุบัน แล้วนำมาเรียงลำดับด้วยวิธี Non-dominated Sorting เพื่อเก็บค่าสตริงที่ให้ค่าความแข็งแกร่งเท่ากับ 1 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในรอบการทำงานนั้นๆ ดังตารางที่ ก.20

ตารางที่ ก.17 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการทำงานก่อนหน้า

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
4	7	5.1111	17	1

ตารางที่ ก.18 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบการทำงานปัจจุบัน

String	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
3	9	5.5556	17	1
5	7	3.7778	18	1

ตารางที่ ก.19 การเก็บค่าที่ดีที่สุดในรอบก่อนหน้ารวมกับรอบปัจจุบัน

String	Model sequence	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
รอบก่อนหน้า	1 2 6 7 3 4 9 8 5	7	5.1111	17	1
รอบปัจจุบัน	5 3 7 9 4 6 2 8 1	9	5.5556	17	2
	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18	1

ตารางที่ ก.20 คำตอบที่ดีที่สุดที่เก็บไว้ใช้ในรอบต่อไป

String	Model sequence	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness
1	1 2 6 7 3 4 9 8 5	7	5.1111	17	1
2	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18	1

2.7 กลับไปทำซ้ำกระบวนการที่ 2.2

กลับไปทำขั้นที่ 2.2 เพื่อเริ่มกระบวนการค้นหาคำตอบรอบต่อไปโดยสุ่มประชากรเริ่มต้นรอบใหม่จากตารางวิธีการบรรจบ ร้อยละ 70 และจากตารางวัตถุประสงค์อีกร้อยละ 30 จนครบจำนวนรอบที่กำหนด

ภาคผนวก ข

การประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม II ในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มี หลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

ข้อมูลนำเข้าต่างๆได้กำหนดไว้แล้วในภาคผนวก ก.

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธี NSGA-II

จำนวนประชากรเบื้องต้น 5 ตัว

ความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ เท่ากับ 0.7 โดยใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover (WMX)

ความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน เท่ากับ 0.3 โดยใช้วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation

1.การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

ปัญหาตัวอย่างมีสัดส่วนของความต้องการผลิตภัณฑ์ (Minimum Part Set: MPS) = 2:3:4 นั่นคือในแต่ละรอบลำดับการผลิตนี้จะมีรถยนต์ A จำนวน 2 คัน รถยนต์ B จำนวน 3 คันและรถยนต์ C จำนวน 4 คัน และทำการกำหนดค่าสิทธิ์ (Priority Number) ในการเลือกผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มต้นกำหนดให้ค่าสิทธิ์มีค่าเท่ากับชิ้นงาน ดังตารางที่ ข.1

ตารางที่ ข.1 การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับ NSGA-II

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

จากนั้นทำการสุ่มลำดับการผลิตรถยนต์มา 5 จำนวนประชากร โดยมีลำดับการผลิตดังนี้

ตารางที่ ข.2 ประชากรเบื้องต้นสำหรับกระบวนการ NSGA-II

String	Priority String
1	6 5 1 7 3 9 4 8 2
2	1 2 6 7 3 4 9 8 5
3	7 5 8 6 9 4 1 3 2
4	8 2 3 1 9 5 7 6 4
5	8 2 5 1 9 3 7 6 4

2. การประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนการละเมิดรถยนต์รวมน้อยที่สุด โดยจะให้ความสำคัญและพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน ดังตารางที่ ข.3

ตารางที่ ข.3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์แต่ละวัตถุประสงค์

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations
1	7	3.7778	18
2	7	5.1111	17
3	7	4.2222	18
4	7	4.2222	18
5	6	4.2222	18

3. การหาค่าความแข็งแรงของสตริงคำตอบ

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าความแข็งแรงของสตริงคำตอบด้วยวิธี Non-Dominated Sorting โดยที่สตริงคำตอบที่ดีจะมีค่าความแข็งแรง (Fitness) น้อยที่สุด และสตริงคำตอบที่ไม่ดีจะมีค่าความแข็งแรงมากที่สุด ดังตารางที่ ข.4

ตารางที่ ข.4 ค่าความแข็งแรงที่ได้ของแต่ละสตริงคำตอบ

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness
1	7	3.7778	18	1
2	7	5.1111	17	1
3	7	4.2222	18	2
4	7	4.2222	18	2
5	6	4.2222	18	1

4. การหาค่าความหนาแน่นของแต่ละสตริงคำตอบ

ในงานวิจัยนี้จะพิจารณาค่าความหนาแน่นของสตริงคำตอบด้วยวิธี Crowding Distance โดยจะนำเอาสตริงคำตอบที่มีค่า Fitness เท่ากันมาหาค่าความหนาแน่นระหว่างกัน ดังตารางที่ ข.5

ตารางที่ ข.5 ค่าความหนาแน่นของแต่ละสตริงคำตอบ

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Crowding Distance
1	7	3.7778	18	1	2.6667
2	7	5.1111	17	1	Infinity
3	7	4.2222	18	2	Infinity
4	7	4.2222	18	2	Infinity
5	6	4.2222	18	1	Infinity

5. การคัดเลือกไปสู่คำตอบ

การคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Binary Tournament Selection จะพิจารณาจากค่าความแข็งแรง โดยที่สตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงน้อยซึ่งเป็นสตริงคำตอบที่ดีจะมีโอกาสในการถูกคัดเลือกมากกว่าสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงมากหรือเป็นสตริงคำตอบไม่ดี โดยที่สตริงคำตอบจากการผ่านการคัดเลือกครบตามจำนวนประชากรที่กำหนด จะผ่านเข้าสู่ Mating Pool เพื่อทำการจับคู่และดำเนินการต่อไปตามขั้นตอนการคัดเลือกดังนี้

5.1 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

สตริงคำตอบที่ผ่านการกำหนดค่าความแข็งแรง (Fitness Value) แล้วนั้นจะดำเนินการต่อไปด้วยการใช้วิธีจัดอันดับแบบ Goldberg โดยค่าจะเปลี่ยนเป็นค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ดังตารางที่ ข.6

ตารางที่ ข.6 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Dummy Fitness Value
1	7	3.7778	18	1	2
2	7	5.1111	17	1	2
3	7	4.2222	18	2	1

ตารางที่ ข.6 (ต่อ) การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Dummy Fitness Value
4	7	4.2222	18	2	1
5	6	4.2222	18	1	2

5.2 การสร้างวงล้อรูเล็ต

การสร้างวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel) เป็นการแบ่งพื้นที่วงกลมออกเป็นส่วนๆ ตามค่าความน่าจะเป็น โดยมีขั้นตอนดังนี้

1. หาค่าความแข็งแรงรวมของสตริงคำตอบทั้งหมดเท่ากับจำนวนประชากร ดังสมการ ข.1

$$F = \sum_{i=1}^N f_1(X_i) \quad (\text{ข.1})$$

เมื่อ $f_1(x_i)$ คือ ค่าความแข็งแรงของของสตริงคำตอบที่ i

N คือ จำนวนประชากรทั้งหมด

2. หาค่าความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือกของสตริงคำตอบ (Probability of Selection) ของสตริงคำตอบทุกตัวในกลุ่มประชากร ดังสมการ ข.2

$$p_i = \frac{f_1(x_i)}{F} ; i = 1, 2, \dots, \text{popsize} \quad (\text{ข.2})$$

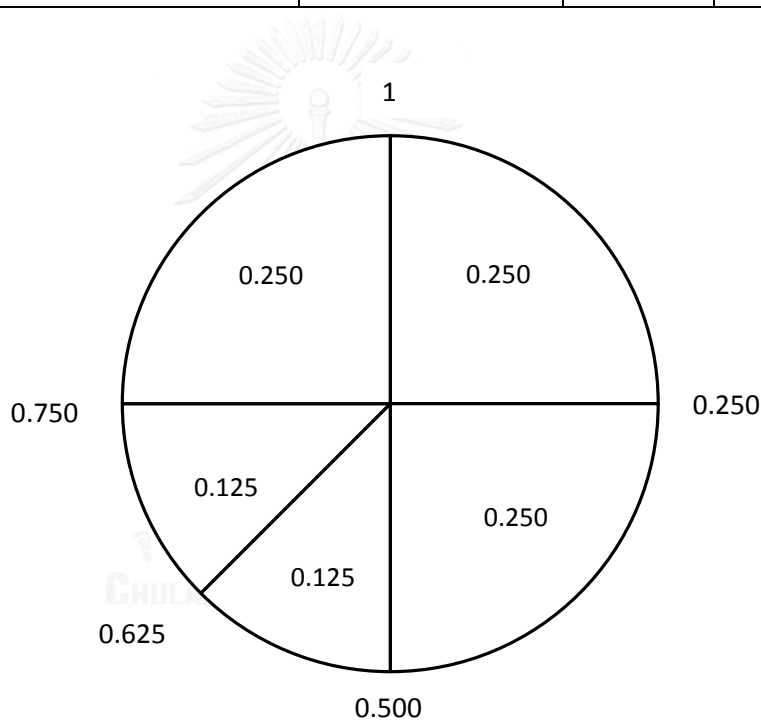
3. หาค่าความน่าจะเป็นในการคัดเลือกสตริงคำตอบสะสม (Cumulative Probability of Selection) ของสตริงคำตอบทุกตัวในกลุ่มประชากร ดังสมการ ข.3

$$q_i = \sum_{j=1}^i p_j \quad (\text{ข.3})$$

เมื่อทำการสร้างวงล้อรูเล็ตครบตามขั้นตอนข้างต้น จะได้ตัวอย่างผลลัพธ์ดังตารางที่ ข.7 และวงล้อรูเล็ต ดังรูปที่ ข.1

ตารางที่ ข.7 การสร้างวงล้อรูเล็ต

String	Fitness	Dummy Fitness Value	p_i	q_i
1	1	2	0.250	0.250
2	1	2	0.250	0.500
3	2	1	0.125	0.625
4	2	1	0.125	0.750
5	1	2	0.250	1
รวม		8	1	



รูปที่ ข.1 วงล้อรูเล็ต 5 สตริงคำตอบ

5.3 การเลือกสตริงคำตอบโดยวิธี Binary Tournament Selection

การเลือกสตริงคำตอบด้วยวิธี Binary Tournament Selection เป็นวิธีการสุ่มสตริงคำตอบจากการหมุนวงล้อรูเล็ตออกมา 2 สตริง แล้วนำสตริงคำตอบที่สุ่มมาพิจารณาค่า Fitness มาเปรียบเทียบกับกัน เพื่อทำการคัดเลือกสตริงคำตอบที่มีความเหมาะสม โดยมีขั้นตอนการพิจารณาดังนี้

1. สุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 กำหนดให้เป็นค่า r_1

2. กรณีที่ค่า $r_1 < q_1$ จะทำการเลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่กรณีที่ค่า $q_{i-1} < r_1 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนประชากร) ให้ทำการเลือกสตริงตัวที่ i เป็นคำตอบตัวแรก
3. สุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 กำหนดให้เป็นค่า r_2
4. กรณีที่ค่า $r_2 < q_1$ จะทำการเลือกสตริงคำตอบตัวแรก แต่กรณีที่ค่า $q_{i-1} < r_2 < q_i$ (เมื่อ i มีค่าจำนวนน้อยกว่าหรือเท่ากับจำนวนประชากร) ให้ทำการเลือกสตริงตัวที่ i เป็นคำตอบตัวแรก
5. ทำการเปรียบเทียบค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงระหว่างสตริงที่ถูกคัดเลือกในขั้นตอนที่ 2 และ 4 โดยสตริงไหนที่มีค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงมากกว่า จะถูกคัดเลือกเข้า Mating Pool ต่อไป (ในกรณีที่ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงเท่ากัน จะเลือกค่าที่มีความหนาแน่นมากกว่า)
6. ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1-5 จนกว่าจะได้จำนวนสตริงใน Mating Pool เท่ากับจำนวนประชากร

ตารางที่ ข.8 การคัดเลือกด้วยวิธี Binary Tournament Selection

No.	Population 1				Population 2				String Selected
	r_1	$r_1 < q_i$	String	Dummy Fitness	r_2	$r_2 < q_i$	String	Dummy Fitness	
1	0.8050	1	5	2	0.9883	1	5	2	5
2	0.1432	0.250	1	2	0.5877	0.625	3	1	1
3	0.9351	1	5	2	0.9344	1	5	2	5
4	0.7400	0.750	4	1	0.2769	0.500	2	2	2
5	0.0211	0.250	1	2	0.4487	0.500	2	2	1

ผลจากการทำ Binary Tournament Selection จะทำให้ได้สตริงคำตอบที่เป็น Mating Pool คือ สตริงคำตอบที่ 5 1 5 2 และ 1 ตามลำดับ

6. การครอสโอเวอร์ (Crossover)

การครอสโอเวอร์เป็นการแลกเปลี่ยนคุณลักษณะระหว่างสตริงคำตอบ เพื่อให้คำตอบเกิดความหลาย และหวังว่าคำตอบที่ได้จะมีค่าที่ดียิ่งขึ้น มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

6.1 การจับคู่สตริงคำตอบ

หลังการคัดเลือกสตริงคำตอบครบตามจำนวนประชากร จะทำการจับคู่สตริงคำตอบบางตัว เพื่อทำการครอสโอเวอร์ จำนวนสตริงคำตอบที่ถูกมาจับคู่จะขึ้นอยู่กับความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (P_c) ส่วนสตริงคำตอบที่ไม่ได้ถูกเลือกจะยังคงอยู่ใน Mating Pool ดั้งเดิม เพื่อเป็นประชากรในเจนเนอเรชันต่อไป ซึ่งจะมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. สุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 กำหนดให้เป็นค่า r ให้กับสตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool
2. ทำการเลือกสตริงคำตอบที่มีค่า $r < P_c$ เพื่อไปทำการจับคู่ในขั้นตอนต่อไป
3. ถ้าไม่มีสตริงคำตอบใดเลยที่มีค่า $r < P_c$ ให้ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 และ 2
4. ถ้าสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกในขั้นตอนที่ 2 มีจำนวน N_c ตัว และเป็นจำนวนคี่ จะทำการปรับให้เป็นจำนวนคู่ก่อนโดยมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้
 - ถ้า N_c เป็นจำนวนคี่ และมีค่าระหว่าง 1 ถึงขนาดประชากร ให้ทำการสุ่มตัวเลข 0 หรือ 1 มา 1 ค่า ซึ่งถ้าสุ่มได้เลข 1 จะทำการสุ่มเลือกสตริงที่เหลือใน Mating pool มาเพิ่มอีก 1 สตริงคำตอบ แต่ถ้าสุ่มได้เลข 0 จะทำการตัดสตริงคำตอบที่เลือกไว้ทิ้งไป 1 ตัว
 - เมื่อ N_c มีค่าเท่ากับ 1 จะทำการเพิ่มสตริงคำตอบอีก 1 ตัวเท่านั้น
 - เมื่อ N_c มีค่าเท่ากับขนาดประชากรซึ่งเป็นจำนวนคี่ จะทำการตัดสตริงคำตอบที่เลือกไว้ไป 1 ตัว
5. เมื่อได้สตริงคำตอบทั้งหมด N_c ตัว ให้นำมาจับคู่ตามลำดับ จะได้จำนวนคู่เท่ากับ $\frac{N_c}{2}$ คู่ ในตัวอย่างนี้มีค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์เท่ากับ 0.7 ดังนั้นจำนวนสตริงคำตอบที่จะทำการถูกครอสโอเวอร์มีประมาณ 70% ของสตริงคำตอบทั้งหมด มีค่าเท่ากับ $0.7 \times 5 = 3.5$ หรือประมาณ 4 ตัว

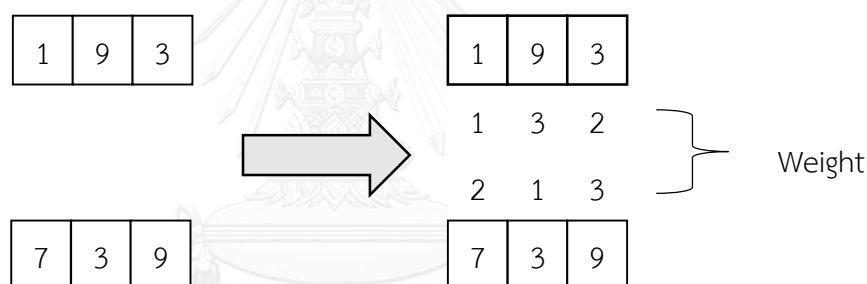
ตารางที่ ข.9 การจับคู่สตริงคำตอบ

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.7$
1	8 2 5 1 9 3 7 6 4	0.3600	selected
2	6 5 1 7 3 9 4 8 2	0.1190	selected
3	8 2 5 1 9 3 7 6 4	0.2014	selected
4	1 2 6 7 3 4 9 8 5	0.5465	selected
5	6 5 1 7 3 9 4 8 2	0.8956	-

6.2 ขั้นตอนการครอสโอเวอร์

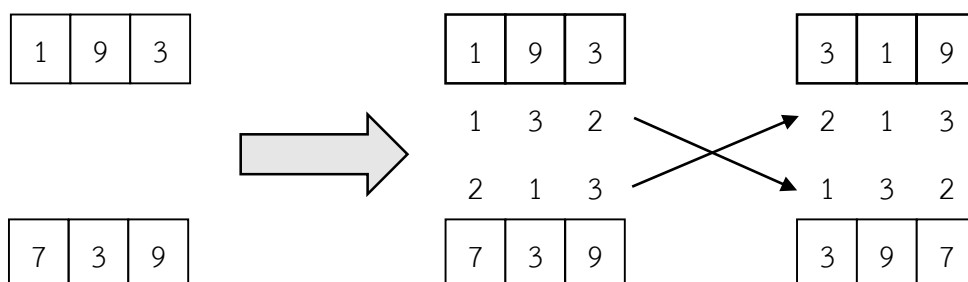
การครอสโอเวอร์จะเป็นการนำสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กันในขั้นตอนที่แล้ว มาทำการแลกเปลี่ยนส่วนของสตริงคำตอบซึ่งกันและกัน เพื่อให้ได้สตริงคำตอบใหม่ โดยสตริงคำตอบที่ทำการจับคู่กันเรียกว่า “สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่” และสตริงคำตอบที่ได้จากการแลกเปลี่ยนกันเรียกว่า “สตริงคำตอบรุ่นลูก” ซึ่งในงานวิจัยนี้จะใช้วิธีการครอสโอเวอร์แบบ Weight Mapping Crossover (WMX) ซึ่งจะวิธีการดังต่อไปนี้

1. ทำการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนความของสตริงคำตอบ (จำนวน bit) เพื่อทำการระบุขอบเขตของการทำครอสโอเวอร์ ยกตัวอย่างเช่น เมื่อนำสตริงคำตอบคู่แรกมาทำการสุ่มได้ค่า 4 และ 6 ตามลำดับ จะใช้เครื่องหมาย “|” ในการกำหนดขอบเขตดังต่อไปนี้
 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ 1 = [8 2 5 | 1 9 3 | 7 6 4]
 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ 2 = [6 5 1 | 7 3 9 | 4 8 2]
2. ทำการให้น้ำหนักกับค่าของสตริงที่อยู่ในขอบเขตของการครอสโอเวอร์ ดังรูปที่ ข.2



รูปที่ ข.2 การให้น้ำหนักกับค่าของสตริงที่อยู่ในขอบเขตของการครอสโอเวอร์

3. ทำการแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักระหว่างสตริงคำตอบที่จับคู่กัน แล้วเปลี่ยนค่าภายในสตริงคำตอบตามค่าน้ำหนักที่เปลี่ยนไป ดังรูปที่ ข.3



รูปที่ ข.3 การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักระหว่างสตริงคำตอบ

เมื่อทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธีการแบบ Weight Mapping Crossover (WMX) ดังตัวอย่างข้างต้น ทำให้ได้สตริงคำตอบรุ่นลูกดังต่อไปนี้

สตริงคำตอบรุ่นลูก 1 = [8 2 5 13 1 9 7 6 4]

สตริงคำตอบรุ่นลูก 2 = [6 5 1 13 9 7 4 8 2]

หลังจากนั้นจึงนำสตริงที่ 3 และ 4 มาทำการครอสโอเวอร์ด้วยวิธีการแบบ Weight Mapping Crossover (WMX) โดยสุ่มขอบเขตของการทำครอสโอเวอร์ได้ตำแหน่ง 2 และ 4 ตามลำดับ ได้สตริงคำตอบรุ่นลูกดังต่อไปนี้

สตริงคำตอบรุ่นลูก 3 = [8 11 2 5 9 3 7 6 4]

สตริงคำตอบรุ่นลูก 4 = [1 16 7 2 3 4 9 8 5]

7. การมิวเตชัน

การมิวเตชัน (Mutation) เป็นกระบวนการแลกเปลี่ยนตำแหน่ง (แลกเปลี่ยนค่า bit) ภายในสตริงคำตอบ เพื่อป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ไม่อาจเรียกคืนได้ เนื่องจากในบางกรณี คำตอบที่ผ่านการดำเนินงานต่าง ๆ อาจเข้าไปติดอยู่ในกลุ่มคำตอบเฉพาะที่ การมิวเตชันช่วยให้คำตอบสามารถหลุดออกมาให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีการมิวเตชันนั้นมีหลายวิธี แต่ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการมิวเตชันแบบ Reciprocal Exchange Mutation ซึ่งมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

1. กำหนดความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m)

ซึ่งในตัวอย่างนี้ทำการกำหนดความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (P_m) เท่ากับ 0.3 ทำให้มีสตริงคำตอบที่จะทำการมิวเตชันเท่ากับ $0.3 \times 5 = 1.5$ หรือประมาณ 2 สตริงคำตอบ สุ่มตัวเลขที่มีค่าระหว่าง 0 ถึง 1 กำหนดให้เป็นค่า r ให้กับสตริงคำตอบทุกตัวใน Mating Pool เลือกสตริงคำตอบที่มีค่า $r < P_m$ มาทำการมิวเตชัน

ตารางที่ ข.10 การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน

String No.	String Priority	r_i	$r_i < 0.3$
1	8 2 5 3 1 9 7 6 4	0.0059	selected
2	6 5 1 3 9 7 4 8 2	0.7681	-
3	8 1 2 5 9 3 7 6 4	0.90452	-
4	1 6 7 2 3 4 9 8 5	0.1468	selected
5	6 5 1 7 3 9 4 8 2	0.4667	-

- ทำการสุ่มตัวเลขตั้งแต่ 1 ถึงจำนวนความของสตริงคำตอบ (จำนวน bit) เพื่อทำการระบุตำแหน่งที่ไม่ซ้ำกันของการทำมิวเตชัน ดังต่อไปนี้
 สตริงคำตอบที่ 1 = [8 2 5 3 1 191 7 6 141] สุ่มได้ตำแหน่งที่ 6 และ 9 ตามลำดับ
 สตริงคำตอบที่ 4 = [1 6 7 121 3 141 9 8 5] สุ่มได้ตำแหน่งที่ 4 และ 6 ตามลำดับ
- ทำการสลับค่า bit ของตำแหน่งที่ถูกเลือกในการทำมิวเตชัน จะได้ผลลัพธ์ดังต่อไปนี้
 สตริงคำตอบที่ 1 = [8 2 5 3 1 141 7 6 191]
 สตริงคำตอบที่ 4 = [1 6 7 141 3 121 9 8 5]

ตารางที่ ข.11 สตริงคำตอบหลังการมิวเตชัน

String No.	String Priority
1	8 2 5 3 1 4 7 6 9
2	6 5 1 3 9 7 4 8 2
3	8 1 2 5 9 3 7 6 4
4	1 6 7 4 3 2 9 8 5
5	6 5 1 7 3 9 4 8 2

8. เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด

เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด เป็นเทคนิคที่นำมาใช้เพื่อเก็บค่าที่ดีที่สุดและป้องกันการสูญเสียคำตอบที่ดีหลังจากผ่านกระบวนการต่าง ๆ เนื่องจากสตริงคำตอบที่ได้จากการครอสโอเวอร์และมิวเตชันนั้น อาจทำให้เกิดคำตอบที่ดีกว่าหรือแย่กว่าคำตอบที่เคยปรากฏในเจนเนอเรชันที่ผ่านมาได้ จึงได้มีการเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้ เพื่อทำการเปรียบเทียบกับค่าที่ดีที่สุดของกลุ่มสตริงคำตอบชุดใหม่ที่ได้ และทำการเก็บสตริงคำตอบที่เป็น Non-dominated Solution ซึ่งได้จากการรวมกันของประชากรคำตอบรุ่นพ่อแม่และประชากรคำตอบรุ่นลูก เพื่อใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในรอบการทำงานต่อไป โดยมีขั้นตอนดังนี้

- นำสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูกมารวมกัน ดังตารางที่ ข.12

ตารางที่ ข.12 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก

ลักษณะสตริงคำตอบ	String No.	String Priority
สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่	1	6 5 1 7 3 9 4 8 2
	2	1 2 6 7 3 4 9 8 5
	3	7 5 8 6 9 4 1 3 2
	4	8 2 3 1 9 5 7 6 4
	5	8 2 5 1 9 3 7 6 4
สตริงคำตอบรุ่นลูก	6	8 2 5 3 1 4 7 6 9
	7	6 5 1 3 9 7 4 8 2
	8	8 1 2 5 9 3 7 6 4
	9	1 6 7 4 3 2 9 8 5
	10	6 5 1 7 3 9 4 8 2

2. ทำการประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ให้กับทุกสตริงคำตอบ

ตารางที่ ข.13 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และสตริงคำตอบรุ่นลูก

Generations	String No.	String Priority	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$
สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่	1	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18
	2	1 2 6 7 3 4 9 8 5	7	5.1111	17
	3	7 5 8 6 9 4 1 3 2	7	4.2222	18
	4	8 2 3 1 9 5 7 6 4	7	4.2222	18
	5	8 2 5 1 9 3 7 6 4	6	4.2222	18
สตริงคำตอบรุ่นลูก	6	8 2 5 3 1 4 7 6 9	6	5.5556	19
	7	6 5 1 3 9 7 4 8 2	7	4.2222	17
	8	8 1 2 5 9 3 7 6 4	6	4.6667	18
	9	1 6 7 4 3 2 9 8 5	8	4.6667	18
	10	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18

3. ทำการประเมินค่าความแข็งแรง และความหนาแน่นของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูก

ตารางที่ ข.14 ค่าความแข็งแรง และความหนาแน่นของสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่และรุ่นลูก

String No.	String Priority	$f_1(x)$	$f_2(x)$	$f_3(x)$	Fitness	Crowding distance
1	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18	1	2
2	1 2 6 7 3 4 9 8 5	7	5.1111	17	2	Infinity
3	7 5 8 6 9 4 1 3 2	7	4.2222	18	2	2
4	8 2 3 1 9 5 7 6 4	7	4.2222	18	2	1.5
5	8 2 5 1 9 3 7 6 4	6	4.2222	18	1	Infinity
6	8 2 5 3 1 4 7 6 9	6	5.5556	19	3	Infinity
7	6 5 1 3 9 7 4 8 2	7	4.2222	17	1	Infinity
8	8 1 2 5 9 3 7 6 4	6	4.6667	18	2	Infinity
9	1 6 7 4 3 2 9 8 5	8	4.6667	18	3	Infinity
10	6 5 1 7 3 9 4 8 2	7	3.7778	18	1	2

4. ทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดเท่ากับจำนวนประชากรเริ่มต้น เพื่อเป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในรุ่นถัดไป

จากตารางที่ ข.14 จะเห็นได้ว่ามีสตริงคำตอบที่ 1, 5, 7 และ 10 มีค่า Fitness เท่ากับ 1 ซึ่งมี 4 จำนวน และสตริงคำตอบที่ 1 และ สตริงคำตอบที่ 10 เป็นสตริงคำตอบเดียวกัน ดังนั้นจึงต้องสุ่มจากสตริงที่อยู่ใน front ถัดไปอีก 2 สตริงคำตอบเพื่อให้ครบ 5 ประชากร เพื่อใช้เป็นสตริงคำตอบเป็นสตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในรุ่นถัดไป

ตารางที่ ข.15 สตริงคำตอบรุ่นพ่อแม่ในรุ่นถัดไป

String No.	String Priority
1	6 5 1 7 3 9 4 8 2
2	8 2 5 1 9 3 7 6 4
3	6 5 1 3 9 7 4 8 2
4	1 2 6 7 3 4 9 8 5
5	8 1 2 5 9 3 7 6 4

ภาคผนวก ค

การประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคแบบไม่ต่อเนื่องในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบสองด้าน

ข้อมูลนำเข้าต่างๆได้กำหนดไว้แล้วในภาคผนวก ก.

ค่าพารามิเตอร์ที่กำหนดให้ของวิธี DPSO

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

1. การสร้างสตริงคำตอบเบื้องต้น

ปัญหาตัวอย่างที่ใช้มีสัดส่วนของความต้องการผลิตภัณฑ์ (Minimum Part Set: MPS) = 2:3:4 นั่นคือในแต่ละรอบลำดับการผลิตนี้จะมีรถยนต์ A จำนวน 2 คัน รถยนต์ B จำนวน 3 คัน และรถยนต์ C จำนวน 4 คัน และทำการกำหนดค่าสิทธิ์ (Priority Number) ในการเลือกผลิตภัณฑ์ โดยเริ่มต้นกำหนดให้ค่าสิทธิ์มีค่าเท่ากับชิ้นงาน ดังตารางที่ ค.1

ตารางที่ ค.1 การกำหนดค่าสิทธิ์ในการเลือกผลิตภัณฑ์สำหรับ DPSO

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

เมื่อกำหนดรหัสของรถยนต์ที่จะทำการผลิตแล้ว ทำการสุ่มลำดับการผลิตรถยนต์มาจำนวน 2 ฝูง โดยในแต่ละฝูงกำหนดให้มีจำนวนอนุภาคเท่ากับ 3 ดังนั้นจะต้องทำการสุ่มสร้างสตริงคำตอบทั้งสิ้น 6 สตริงคำตอบดังตารางที่ ค.2

ตารางที่ ค.2 ประชากรเบื้องต้นสำหรับกระบวนการ DPSO

String (S,P)	String Priority									
1,1	7	5	8	6	9	4	1	3	2	

ตารางที่ ค.2 (ต่อ) ประชากรเบื้องต้นสำหรับกระบวนการ DPSO

String (S,P)	String Priority									
1,2	8	2	3	1	9	5	7	6	4	
1,3	1	2	6	7	3	4	9	8	5	
2,1	5	3	7	9	4	6	2	8	1	
2,2	8	2	5	1	9	3	7	6	4	
2,3	1	3	7	9	4	6	2	8	5	

จากสตริงคำตอบเบื้องต้นทั้ง 6 สตริงคำตอบข้างต้นนั้น ให้ทำการคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้กำหนดให้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งสิ้น 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด (Number of Color Changes) ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด (Utility Work) และจำนวนการละเมิดรถยนต์รวมน้อยที่สุด (Total Number of Violations) โดยจะให้ความสำคัญและพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน

2. การคำนวณค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์

ประเมินค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ โดยในงานวิจัยนี้มีฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์ คือ จำนวนครั้งการเปลี่ยนแปลงสีน้อยที่สุด ปริมาณงานที่ไม่เสร็จในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด และจำนวนการละเมิดรถยนต์รวมน้อยที่สุด โดยจะให้ความสำคัญและพิจารณาทั้ง 3 วัตถุประสงค์ไปพร้อมกัน ดังตารางที่ ค.3

ตารางที่ ค.3 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สำหรับสตริงคำตอบเบื้องต้น

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations
1,1	7	4.222	18
1,2	7	4.222	18
1,3	7	5.111	17
2,1	9	5.556	17
2,2	6	4.222	18
2,3	9	4.222	18

3. กำหนดค่าความแข็งแรงและระยะห่างความหนาแน่น

กำหนดค่าความแข็งแรง และค่าความหนาแน่นลงแต่ละสตริงคำตอบ แล้วทำการกำหนดสตริงคำตอบที่ดีในแต่ละฝูง (Local Best Solution : LBest) ที่มีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 สำหรับกรณีที่ฝูงเดียวกันมีค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 หลายค่า ให้พิจารณาค่าสตริงคำตอบที่มีค่าความหนาแน่นมากกว่าก่อน และสำหรับกรณีที่ค่าสตริงคำตอบที่มีค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นเท่ากันหลายสตริงคำตอบให้ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบใดคำตอบหนึ่งมาเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงนั้น ดังตารางที่ ค. 4 และตารางที่ ค.5

ตารางที่ ค.4 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงที่ 1

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,1	7	4.222	18	1	Infinity	Lbest
1,2	7	4.222	18	1	1.000	-
1,3	7	5.111	17	1	Infinity	-

ตารางที่ ค.5 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดในฝูงที่ 2

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Crowding Distance	Selected
2,1	9	5.556	17	1	Infinity	Lbest
2,2	6	4.222	18	1	Infinity	-
2,3	9	4.222	18	2	Infinity	-

จากนั้นนำสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละฝูงมากำหนดค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นอีกครั้ง โดยถ้าค่าความแข็งแรงเท่ากับ 1 จะกำหนดให้ค่าสตริงคำตอบนั้นเป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของจำนวนประชากรทั้งหมด (Global Best Solution : GBest) แต่ในกรณีที่ค่าความแข็งแรงและค่าความหนาแน่นมีค่าเท่ากัน ให้ทำการสุ่มเลือกสตริงคำตอบขึ้นมา ดังตารางที่ ค.6

ตารางที่ ค.6 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดจำนวนประชากรทั้งหมด

String	Number of Color Changes	Utility Work	Total Number of Violations	Fitness	Crowding Distance	Selected
1,1	7	4.222	18	1	Infinity	-
2,1	9	5.556	17	1	Infinity	Gbest

4. การเก็บค่าที่ดีที่สุด

เป็นการจัดเก็บค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่มีค่าความแข็งแรงจากประชากรที่ดีที่สุด (Gbest) เท่านั้น จากนั้นจึงนำสตริงคำตอบนี้เก็บไว้พิจารณาในรอบถัดไป ดังตารางที่ ค.7

ตารางที่ ค.7 ค่าสิทธิ์ในการเลือกลำดับการผลิตที่ดีที่สุดจำนวนประชากรทั้งหมด

Strings (s, p)	Priority String
2,1	5 3 7 9 4 6 2 8 1

5. การปรับปรุงตาราง

เป็นการปรับปรุงค่าในตารางตำแหน่งของอนุภาค และตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค ซึ่งเป็นขั้นตอนที่สำคัญ อันเนื่องมาจากการปรับค่าเมื่อเทียบกับสตริงคำตอบที่ดีที่สุดซึ่งจะทำให้โอกาสในการสร้างสตริงคำตอบในรอบถัดไปให้ได้คำตอบที่ดียิ่งขึ้น ดังตารางที่ ค.8 และตารางที่ ค.9

ตารางที่ ค.8 ตำแหน่งของสตริงคำตอบฝูงที่ 1 อนุภาคที่ 2

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	1
3	0	0	0	0	0	0	0	1	0
4	0	0	0	0	0	1	0	0	0
5	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	1	0	0	0	0	0
7	1	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	1	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	1	0	0	0	0

ตารางที่ ค.9 ตำแหน่งของสตริงคำตอบฝูงที่ 2 อนุภาคที่ 1

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0

ทำการปรับปรุงตารางทิศทางเคลื่อนที่ (Velocity Matrix) และ ตารางตำแหน่งของอนุภาค (Position Matrix) ดังสมการต่อไปนี้

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

$$X_{(i,j)} = X_{(i-1,j)} + V_{(i,j)} \quad (\text{ค.2})$$

$$S(V_{(i,j)}) = \frac{1}{1+\exp(-V_{(i,j)})} \quad (\text{ค.3})$$

โดยกำหนดให้ i คือ รอบที่การทำงาน

j คือ ฝูงของอนุภาคที่ j

w คือ น้ำหนักในการหมุน กำหนดให้เท่ากับ 1

c_1 และ c_2 คือ ตัวประกอบอัตราการเรียนรู้ กำหนดให้เท่ากับ 0.1

r_1 และ r_2 คือ ตัวเลขจากการสุ่มในช่วง 0 ถึง 1

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

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

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

5.1 การปรับปรุงตารางทิศทางเคลื่อนที่ของอนุภาค

ค่าสำคัญที่ใช้ในการปรับปรุงตารางการเคลื่อนที่ของอนุภาคที่สำคัญ คือ ค่า c_1 และ c_2 เท่ากับ 0.1 ค่า w เท่ากับ 1 ส่วนค่า r_1 และ r_2 ของฝูงที่ 1 ได้จากการสุ่มเท่ากับ 0.9942 และ 0.0386 ตามลำดับ และ ส่วนค่า r_1 และ r_2 ของฝูงที่ 2 ได้จากการสุ่มเท่ากับ 0.2274 และ 0.5971 ตามลำดับ ลงในสมการที่ 1 ได้ผลดังตารางที่ ค.10 และ ตารางที่ ค.11

ตารางที่ ค.10 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของฝูงที่ 1

From/to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0039	0.0000	0.0039
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	-0.0039
3	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0039	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	-0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0039	-0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	-0.0039	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
7	-0.0039	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000	-0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	-0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ ค.11 ทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคของฝูงที่ 2

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	0	0	0	0	0
5	0	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	0	0	0	0
7	0	0	0	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	0	0
9	0	0	0	0	0	0	0	0	0

5.2 การปรับปรุงตารางตำแหน่งของอนุภาค

ใช้สมการที่ ค.2 ในการปรับปรุงตาราง จะได้ผลดังตารางที่ ค.12 และตารางที่ ค.13

ตารางที่ ค.12 ตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 1

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9961	0.0000	0.0039
2	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000	0.9961
3	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.9961	0.0000
4	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.9961	0.0000	0.0000	0.0000
5	0.0039	0.9961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
6	0.0000	0.0000	0.0000	0.9961	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000
7	0.9961	0.0000	0.0039	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
8	0.0000	0.0000	0.9961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.0000
9	0.0000	0.0000	0.0000	0.0039	0.9961	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000

ตารางที่ ค.13 ตำแหน่งของอนุภาคของฝูงที่ 2

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0	0	0	0	0	0	0	0	1
2	0	0	0	0	0	0	1	0	0
3	0	1	0	0	0	0	0	0	0
4	0	0	0	0	1	0	0	0	0
5	1	0	0	0	0	0	0	0	0
6	0	0	0	0	0	1	0	0	0
7	0	0	1	0	0	0	0	0	0
8	0	0	0	0	0	0	0	1	0
9	0	0	0	1	0	0	0	0	0

6. การสร้างสตริงคำตอบสำหรับใช้งานในรอบถัดไป

สร้างตารางความน่าจะเป็นในการสุ่มเลือกประชากรในรอบถัดไป โดยสร้างตาราง Sigmoid จากสมการที่ ค.3 ในการแปลงค่าทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาคในแต่ละฝูง ดังตารางที่ ค.14 และ ตารางที่ ค.15

ตารางที่ ค.14 ตาราง Sigmoid ฟังก์ชันที่ 1

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4990	0.5000	0.5010
2	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5010	0.5000	0.4990
3	0.5000	0.5010	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.4990	0.5000
4	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5010	0.4990	0.5000	0.5000	0.5000
5	0.5010	0.4990	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
6	0.5000	0.5000	0.5000	0.4990	0.5000	0.5010	0.5000	0.5000	0.5000
7	0.4990	0.5000	0.5010	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000
8	0.5000	0.5000	0.4990	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000	0.5010	0.5000
9	0.5000	0.5000	0.5000	0.5010	0.4990	0.5000	0.5000	0.5000	0.5000

ตารางที่ ค.15 ตาราง Sigmoid ฟังก์ชันที่ 2

From-to	1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
2	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
3	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
4	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
6	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
7	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
8	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
9	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

7. การทำงานในรอบถัดไป

จะมีกระบวนการเหมือนเดิมจากรอบที่ผ่านมา แต่การสร้างประชากรจำเป็นต้องใช้ตารางความน่าจะเป็น Sigmoid ในการสุ่มเลือกประชากร

ภาคผนวก ง
รายละเอียดชนิดของปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

1. รายละเอียดของปัญหาการทดลอง

ตารางที่ ง.1 รายละเอียดของปัญหาที่ทำการศึกษาในงานวิจัย

ปัญหาการทดลอง	จำนวนรุ่น รถยนต์	สัดส่วนผลิตภัณฑ์ (MPS)	ความ ยาว สตริง	จำนวน สี รถยนต์	จำนวน ตัวเลือก Options	
Set 1	1	5	5:3:2:1:1	12	5:3	2
	2	5	4:4:2:1:1	12	5:3	2
Set 2	3	5	7:3:2:2:1	15	5:3	4
	4	5	4:3:3:3:2	15	5:3	4
Set 3	5	5	8:7:2:2:1	20	5:3	8
	6	5	5:4:4:4:3	20	5:3	8
Set 4	7	10	7:5:1:1:1:1:1:1:1:1	20	9:4	10
	8	10	4:4:4:2:1:1:1:1:1:1	20	9:4	10
Set 5	9	15	20:20:20:15:15:1:1:1:1:1:1:1:1:1:1	100	12:5	12
	10	15	15:15:10:10:10:10:10:10:4:1:1:1:1:1:1	100	12:5	12

2. สีและลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้า

ในการวางแผนผลิตรถยนต์ในมีประสิทธิภาพนั้นมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องนำข้อมูลเรื่องสีสุดท้ายที่ใช้ในการผลิตของวันก่อนหน้า เรื่องลำดับผลิตของวันก่อนหน้าใช้ในการตัดสินใจวางแผนการผลิตของวันปัจจุบันเนื่องจากจะได้เป็นการลดระยะเวลาการผลิตให้สั้นลงและยังช่วยทำให้สายการประกอบมีความสมดุลไม่มีโหลตภาระงานที่หนักเกินไป ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องนำข้อมูลการผลิตของวันก่อนหน้ามาพิจารณาและที่สำคัญก็ควรที่จะมีการวางแผนการผลิตในวันถัดไปเพื่อจะได้ในมีความเหมาะสมกับลำดับการผลิตของวันปัจจุบันที่กำลังผลิต จึงมีลำดับการผลิตของวันก่อนหน้าและถัดไปดังนี้

ตารางที่ ง.2 สีและลำดับการผลิตรถยนต์ของวันก่อนหน้า

Set	รหัสรถยนต์ที่ผลิตลำดับก่อนหน้า	สีที่ทำการผลิตลำดับก่อนหน้า
1	1,4	1,3
2	3,2	2,3
3	1,2,3,4,1,2,1,1	4,5
4	1,3,2,1,2,5,1,1	1,2,8
5	1,1,2,7,5,1,3,2	3,6,5,10

3. เวลาในการดำเนินงานของปัญหา

งานวิจัยนี้ได้ใช้ปัญหาในการทดลองทั้งหมด 10 เซตปัญหา โดยมีเวลาดำเนินงานต่างกันดังนี้

3.1 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 1.1, 1.2 จำนวนชั้นงาน 16 ชั้นงาน

ตารางที่ ง.3 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 1.1 และ 1.2

ชั้นงาน	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

3.2 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 2.1, 2.2 จำนวนชั้นงาน 24 ชั้นงาน

ตารางที่ ง.4 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 2.1 และ 2.2

ชั้นงาน	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

3.3 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 3.1, 3.2 จำนวนชั้นงาน 65 ชั้นงาน

ตารางที่ ง.5 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 3.1 และ 3.2

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน					ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน					ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน				
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5
1	35	26	8	33	0	24	38	76	22	56	6	47	2	1	1	7	10
2	14	15	8	6	1	25	89	43	33	79	35	48	4	4	1	8	50
3	1	54	8	15	1	26	66	45	45	58	43	49	9	3	1	5	3
4	18	1	1	6	8	27	27	6	35	41	50	50	8	4	3	7	0
5	36	33	6	24	7	28	18	24	22	14	21	51	2	1	4	9	31
6	29	26	2	19	8	29	2	4	82	85	17	52	0	0	0	8	12
7	15	9	8	8	9	30	21	33	25	28	19	53	4	5	2	7	3
8	70	5	4	87	9	31	6	5	4	4	4	54	3	9	3	9	66
9	24	16	2	8	5	32	18	12	3	7	27	55	1	2	1	3	35
10	99	40	3	95	3	33	13	53	3	11	45	56	5	7	3	10	8
11	56	56	0	33	7	34	41	39	52	19	71	57	2	9	6	0	17
12	51	47	2	29	9	35	21	63	34	99	68	58	6	2	0	28	0
13	94	2	3	4	5	36	33	28	8	41	50	59	1	1	9	7	5
14	29	6	4	37	0	37	14	10	13	12	60	0	0	3	0	0	0

ตารางที่ ง.5 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 3.1 และ 3.2

ชั้น งาน	เวลาดำเนินงาน					ชั้น งาน	เวลาดำเนินงาน					ชั้น งาน	เวลาดำเนินงาน						
	1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		1	2	3	4	5		
15	3						4	1			5			6					
	9	1	33	28	12	38	3	2	85	33	1	61	98	6	37	0	0		
16	1	1	12	12			1	2			3					1			
	5	6	1	5	9	39	5	4	19	15	2	62	3	0	0	4	18		
17	1						2						11	1		6			
	1	2	12	30	12	40	7	1	7	24	2	63	7	5	3	8	39		
18	7	5	18	12	13						4			8	14	6	11		
	4	8	4	4	6	41	4	5	17	39	0	64	54	5	3	4	5		
19	3	1					2	8	10	12	1			2		5			
	4	4	10	4	28	42	5	0	4	5	9	65	35	6	55	8	57		
20	1	1			10		2	1			2								
	9	9	77	69	4	43	2	8	28	22	7								
21	1				2						3								
	4	0	0	26	9	44	3	7	23	17	3								
22	1	2					4	3											
	2	4	8	24	14	45	4	5	15	13	4								
23	1	6		3			2	3			3								
	9	1	8	6	58	46	6	4	20	12	6								

3.4 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 4.1, 4.2 จำนวนชั้นงาน 70 ชั้นงาน

ตารางที่ ง.6 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2

ชั้นงาน	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

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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
31	31	9	11	15	9	9	4	24	10	24

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
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	0	3	7	8	11	11	3	7	6	1
52	26	0	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

ตารางที่ ง.6 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 4.1 และ 4.2

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
58	7	7	5	7	7	3	0	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	0	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	0	2	20	18	18	15	16	23
70	27	16	1	25	21	20	17	21	2	0

3.5 เวลาในการดำเนินงานของปัญหาการ Set 5.1, 5.2 จำนวนชั้นงาน 148 ชั้นงาน

ตารางที่ ง.7 เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

ชั้นงาน	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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

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

ตารางที่ ง.7 (ต่อ) เวลาการดำเนินงานของปัญหา Set 5.1 และ 5.2

ชั้นงาน	เวลาดำเนินงาน														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
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	0	65	62	91
146	47	45	48	13	15	31	16	28	45	16	28	26	0	40	46
147	61	6	20	75	18	14	34	17	38	9	64	51	23	0	67
148	65	18	15	19	34	47	18	22	65	36	19	26	60	42	0

4. เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานของสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย

เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานของสายการประกอบที่ใช้ในงานวิจัย (Kim, Kim et al. 2000) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ ง.8 เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 16 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
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

ตารางที่ ง.8 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 16 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
9	R	12,13
10	R	13
11	E	14,15
12	L	15
13	E	16
14	E	-
15	E	-
16	E	-

ตารางที่ ง.9 เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 24 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
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

ตารางที่ ง.9 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 16 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
17	E	21
18	E	22
19	E	23
20	R	23,24
21	L	-
22	E	-
23	R	-
24	E	-

ตารางที่ ง.10 เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 65 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
1	E	3	15	E	16
2	E	3	16	L	17
3	E	4, 23	17	L	31
4	E	5, 6, 7, 9, 11, 12, 25, 26, 27, 41, 45, 49	18	R	19
5	E	14	19	R	21
6	E	14	20	E	21
7	R	8	21	E	31
8	R	14	22	E	31
9	L	10	23	E	24
10	L	14	24	E	31
11	E	14	25	L	31
12	E	14	26	R	31
13	E	14	27	R	28
14	E	15, 18, 20, 22	28	R	50

ตารางที่ ง.10 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 65 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ตำแหน่ง	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ตำแหน่ง	ชั้นงานลำดับถัดไป
29	L	50	48	L	50
30	L	50	49	E	16
31	E	32, 36, 51, 52, 53, 54, 55, 56, 58, 59, 60, 61, 62	50	E	66
32	E	33	51	R	65
33	E	34	52	E	65
34	E	35	53	L	65
35	R	50	54	E	65
36	E	37	55	R	65
37	E	38	56	E	57
38	E	39, 40	57	E	65
39	L	50	58	L	65
40	R	50	59	R	65
41	E	42	60	E	65
42	E	43	61	R	65
43	E	62	62	E	63
44	R	46	63	L	64
45	L	46	64	L	65
46	E	47	65	E	-
47	L	48			

ตารางที่ ง.11 เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 70 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
1	R	41,69,70	28	E	35
2	R	3	29	R	35
3	E	4,68	30	E	31
4	E	6,7	31	E	32
5	E	6,24,30	32	E	35
6	E	8	33	E	34
7	L	8	34	L	35
8	R	12	35	L	36,44,48,51,53,56,60,61,62
9	E	10	36	R	37
10	L	11	37	E	38
11	E	12	38	E	39,44
12	E	13,14	39	R	40
13	R	23	40	E	42
14	L	23	41	R	42
15	L	16	42	E	43
16	E	17,18	43	L	50
17	E	19	44	L	45
18	R	19	45	L	46
19	E	20,22	46	E	47
20	R	21	47	E	50
21	E	23	48	R	49
22	L	23	49	L	50
23	E	25,31,33	50	E	-
24	E	25	51	R	52
25	R	26,27,28,29	52	E	54
26	R	35	53	L	54
27	E	35	54	E	55

ตารางที่ ง.11 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 70 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
55	R	-	63	E	64
56	L	-	64	E	65,66,67
57	L	58	65	L	-
58	E	59	66	L	-
59	E	60	67	E	-
60	R	-	68	E	-
61	E	65	69	E	-
62	R	63	70	E	-

ตารางที่ ง.12 เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 148 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
1	E	5,6,7,8	16	R	17	31	E	36
2	E	3	17	E	18,19	32	L	34
3	E	4,5,6,7	18	L	20	33	R	35
4	E	8	19	R	20	34	L	36
5	E	14	20	E	21,22,23,24	35	R	36
6	E	9	21	R	25,26,27,28	36	R	37
7	E	14	22	L	25,26,27,28	37	R	38,45
8	E	10	23	L	25,26,27,28	38	R	39
9	E	14	24	R	25,26,27,28	39	R	40
10	E	14	25	R	29	40	R	41,48,55
11	E	12	26	R	29	41	R	-
12	E	13	27	L	29	42	L	43
13	E	-	28	L	29	43	L	44
14	E	15,16	29	E	31	44	L	-
15	L	17	30	R	-	45	L	46

ตารางที่ ง.12 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 148 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ด้าน	ชั้นงานลำดับถัดไป
46	L	47	69	R	82	92	E	135
47	L	48,49,55	70	R	71	93	L	-
48	E	-	71	R	-	94	E	-
49	L	-	72	R	134	95	E	101
50	E	51	73	E	84,86,87,88, 96	96	E	104
51	L	53,69	74	E	75	97	E	-
52	L	53	75	E	88,97	98	E	101
53	L	-	76	E	77	99	E	100
54	L	133	77	E	78	100	E	101
55	R	54,72,76,87, 88	78	E	79	101	E	102,103
56	E	73	79	E	80	102	E	127
57	L	79	80	E	81	103	E	127
58	L	84,86	81	E	106	104	E	-
59	E	75,87	82	E	83,89,143,14 6	105	E	119
60	E	-	83	E	-	106	E	107
61	E	62	84	E	85	107	E	108
62	E	63	85	E	-	108	E	109
63	E	67	86	E	-	109	E	110
64	R	65,71,72	87	E	-	110	E	-
65	E	66,99	88	E	111	111	E	112
66	E	67	89	E	90	112	L	113
67	E	68	90	E	79			
68	E	95,98	91	E	105			

ตารางที่ ง.12 (ต่อ) เงื่อนไขการจัดสรรชั้นงานสำหรับปัญหา 148 ชั้นงาน

ชั้นงาน	ตำแหน่ง	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ตำแหน่ง	ชั้นงานลำดับถัดไป	ชั้นงาน	ตำแหน่ง	ชั้นงานลำดับถัดไป
113	L	114,116,120,123,128	125	E	-	137	L	-
114	E	115	126	E	-	138	E	139
115	E	125	127	E	-	139	E	140
116	E	117	128	L	129	140	E	-
117	E	118	129	L	130	141	L	142
118	E	126	130	L	131,137	142	R	143,146,147,148
119	E	-	131	L	-	143	L	-
120	E	121	132	E	135	144	L	145
121	E	122	133	L	135	145	R	147,148
122	E	126	134	R	135	146	R	-
123	E	124	135	E	136	147	L	-
124	E	125	136	E	-	148	R	-

5. ตัวเลือกในแต่ละรุ่นผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในแต่ละเซตปัญหา

ตารางที่ ง.13 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.1

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	1/3	1	0	1	1	0
2	2/3	0	0	0	1	1

ตารางที่ ง.14 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 1.2

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	2/3	1	0	1	1	0
2	1/3	0	0	0	1	1

ตารางที่ ง.15 จำนวนสีของปัญหา Set 1.1 และ Set 1.2

Color	max	A	B	C	D	E
1	3	1	1	0	1	0
2	3	0	0	1	0	1
3	3	0	0	0	1	1

ตารางที่ ง.16 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.1

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	1/2	0	0	1	1	1
2	1/3	0	0	1	1	0
3	2/3	1	1	0	1	1
4	1/2	1	0	0	1	1

ตารางที่ ง.17 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 2.2

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	1/3	0	0	1	1	1
2	2/3	0	0	1	1	0
3	1/3	1	1	0	1	1
4	1/3	1	0	0	1	1

ตารางที่ ง.18 จำนวนสีของปัญหา Set 2.1 และ Set 2.2

Color	max	A	B	C	D	E
1	3	0	1	0	1	0
2	3	0	0	1	0	1
3	3	0	1	0	1	0
4	3	0	0	0	0	1
5	3	1	0	1	0	0

ตารางที่ ง.19 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.1

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	1/2	0	1	1	0	0
2	2/3	1	1	1	0	0
3	1/3	0	0	0	1	0
4	1/4	1	1	0	0	1
5	5/9	0	1	1	0	0
6	4/7	0	0	0	1	1
7	2/5	1	0	0	1	0
8	3/7	0	0	0	0	1

ตารางที่ ง.20 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 3.2

Option	p/q	A	B	C	D	E
1	2/5	0	1	1	0	0
2	3/7	1	1	1	0	0
3	5/9	0	0	0	1	0
4	2/3	1	1	0	0	1
5	1/2	0	1	1	0	0
6	3/5	0	0	0	1	1
7	4/5	1	0	0	1	0
8	4/7	0	0	0	0	1

ตารางที่ ง.21 จำนวนสีของปัญหา Set 3.1 และ Set 3.2

Color	max	A	B	C	D	E
1	3	1	1	1	1	1
2	3	1	1	1	1	1
3	3	1	1	1	1	1
4	3	1	1	1	1	1
5	3	1	1	1	1	1

ตารางที่ ง.26 จำนวนตัวเลือกของปัญหา Set 5.2

Options	p/q	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	1/4	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0
2	1/2	0	1	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	1	1	0
3	2/3	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	1	1	0	0
4	3/7	1	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
5	5/9	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0
6	2/3	0	0	0	0	1	1	1	0	0	1	0	0	1	1	1
7	3/5	0	1	0	1	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0
8	4/5	1	0	1	1	0	0	1	1	0	0	1	0	0	0	1
9	4/7	0	0	0	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	0
10	4/7	0	0	1	1	0	1	1	0	1	0	0	1	0	1	0
11	2/5	0	0	1	1	0	1	0	1	1	0	0	1	0	1	0
12	3/7	0	1	0	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

ตารางที่ ง.27 จำนวนสีของปัญหา Set 5.1 และ Set 5.2

Color	max	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1	5	0	1	1	0	0	1	0	0	1	0	0	0	0	1	0
2	5	1	1	0	0	1	0	0	0	1	0	0	1	0	0	1
3	5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	1	0	1	0	0
4	5	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1
5	5	0	1	1	0	0	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0
6	5	1	1	0	0	0	1	1	0	0	1	0	1	0	1	0
7	5	0	0	0	1	0	0	1	1	0	0	0	0	0	0	0
8	5	0	1	0	0	1	1	1	0	0	0	0	0	0	1	0
9	5	1	0	1	0	0	0	0	0	1	0	1	1	1	0	0
10	5	0	0	0	1	1	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0
11	5	1	1	1	0	0	0	1	0	1	0	1	1	0	0	0
12	5	0	1	0	1	0	0	0	0	1	1	0	1	0	0	0

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย วัชรวิทย์ ถนนทอง เกิดเมื่อวันที่ 12 สิงหาคม 2532 ที่จังหวัดนครศรีธรรมราช สำเร็จการศึกษาหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ ในปี 2555 และเข้าศึกษาต่อ หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

