

การประยุกต์ใช้เมมเมติกัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุที่มีหลายวัตถุประสงค์
บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยู
ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี



นายภาณุวัฒน์ โอฟาร์วิวัฒน์ชัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2551
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MULTI-OBJECTIVE BALANCING
PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE
IN JIT PRODUCTION SYSTEMS

Mr. Panuwat Olanviwatchai

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

Department of Industrial Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 2008

Copyright of Chulalongkorn University

510568

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุล
ที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบ
ลักษณะตัวคูณในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี

โดย

นายภาณุวัฒน์ โอฟาร์วิวัฒน์ชัย

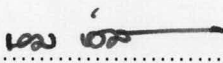
สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก


รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้รับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้
เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

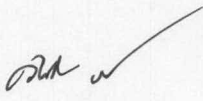
.....  คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร. บุญสม เลิศหิรัญวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....  ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์สุทัศน์ รัตนเกื้อกังวาน)

.....  อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา)

.....  กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

.....  กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร. วันชัย วิจิรวณิช)

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ: การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการ
จัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูในระบบ
ผลิตแบบทันเวลาพอดี (APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR
MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED
ASSEMBLY LINE IN JIT PRODUCTION SYSTEMS) อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รศ.
ดร.ปารเมศ ชูติมา, 691 หน้า.

งานวิจัยนี้ทำการศึกษาวิธีการอัลกอริทึมแบบใหม่ที่เรียกว่า วิธี Combinatorial
Optimization with Coincidence Algorithm (COIN) หรือวิธีอัลกอริทึมการบรรจบ และทำการ
พัฒนาวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม เพื่อนำมาประยุกต์ใช้ในการหา
คำตอบที่มีหลายวัตถุประสงค์ สำหรับจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะ
ของสายการผลิตแบบตัวยู ในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี

จะพิจารณาฟังก์ชันวัตถุประสงค์ทั้งหมด 3 วัตถุประสงค์พร้อมกันคือ จำนวนสถานีงานมี
จำนวนน้อยที่สุด งานมีผลต่างความสัมพันธ์ในสถานีงานมีค่าน้อยที่สุดและความผันแปรของเวลา
ในสถานีงานทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด ซึ่งจะทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในขนาดปัญหาทดลอง
19 36 61 และ 111 ชิ้นงาน กับอัลกอริทึมที่เป็นที่นิยมและได้คำตอบที่ดีในปัจจุบันคือวิธีเจเนติก
อัลกอริทึมแบบ NSGA-II (NSGA-II) และวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II)

จากการเปรียบเทียบคำตอบจากตัวชี้วัดสมรรถนะ 4 ด้าน คือในด้านคำตอบที่มีการลู่เข้า
ใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ ด้านอัตราส่วนของ
จำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบกับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง และด้านเวลาในการประมวลผล
พบว่าในขนาดปัญหาเล็ก 19 และ 36 ชิ้นงานวิธีวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-
II) จะได้คำตอบที่ดีที่สุด ในส่วนปัญหาขนาดใหญ่ 61 และ 111 วิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ
เมมเมติกอัลกอริทึมจะเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพมากที่สุด โดยเฉพาะปัญหาขนาด 111 ชิ้นงาน
สามารถหาค่าจำนวนสถานีงานน้อยสุดเท่ากับ 14 สถานีงาน ซึ่งเป็นค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimal
Solution)

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

ปีการศึกษา 2551

#5070396421: MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEYWORD: ASSEMBLY LINE BALANCING / MIXED-MODEL U-LINE / MULTI-OBJECTIVES / GENETIC ALGORITHM / EVOLUTIONARY ALGORITHM

PANUWAT OLANVIWATCHAI: APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MULTI-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE IN JIT PRODUCTION SYSTEMS. ADVISOR: ASSOC.PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D., 691 pp.

This research studies a new algorithm called Combinatorial Optimization with Coincidence Algorithm (COIN) which is developed with a Memetic algorithm. The objective is to find a solution for multi-objective balancing problem on mixed-model u-shaped assembly lines in JIT production systems.


We consider three objectives including minimum number workstations, minimum work relatedness and minimum workload smoothness. We compare efficiency of COIN with two popular and effective algorithms, a Genetic Algorithm (NSGA-II) and Memetic Algorithm (M-NSGA-II) in problems that contain 19, 36, 61, and 111 tasks.

Four key performance indicators are selected for assessing results, Convergence to the Pareto-optimal set, Spread to the Pareto-optimal set, Ratio of Non-Dominated Solution, and algorithm's processing time. We find that in small sized problems, 19 and 36 tasks, Memetic algorithm (M-NSGA-II) gives the best results. However, in case of large sized problems, 61 and 111 tasks, applying COIN with Memetic algorithm gives us the best solutions. Especially, in a problem with 111 tasks, this leads us to the optimal solution which uses only 14 workstation.

Department: Industrial Engineering

Student's Signature: Panuwat Olanvichai

Field of Study: Industrial Engineering

Advisor's Signature: 

Academic Year: 2008

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ทั้งนี้ด้วยความอนุเคราะห์และการช่วยเหลือจากรองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำข้อเสนอแนะและรายละเอียดต่าง ๆ ตลอดจนปรับปรุง แก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความรักและเอาใจใส่ จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ขอขอบคุณ เพ็ญพักตร์ ปิ่นกุ่มภีร์ และ รณชัย ศิโรเวฐนุกุล สำหรับคำแนะนำและความช่วยเหลือในทุกด้าน รวมทั้งให้คำปรึกษาในด้านการเขียนโปรแกรมจนสมบูรณ์

ขอขอบคุณ วรินทร์ วัฒนพรพรม ที่แนะนำอัลกอริทึมแบบใหม่ที่ดี เพื่อนำมาใช้ในวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ และน้องทั้งสองคนที่ช่วยตรวจสอบคำผิดเล่มวิทยานิพนธ์

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ญาติพี่น้อง และ วรรณพร พรายสวาท ที่คอยสนับสนุน ช่วยเหลือในทุก ๆ ด้านและเป็นกำลังใจ เมื่อข้าพเจ้าพบกับอุปสรรคระหว่างการทำงาน และขอขอบพระคุณคณาจารย์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ทางด้านวิศวกรรมอุตสาหการแก่ข้าพเจ้าอย่างสม่ำเสมอด้วยดีตลอดมา จนสามารถทำงานวิจัยฉบับนี้สำเร็จไปได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฑ
สารบัญภาพ.....	ร
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย.....	3
1.3 ขั้นตอนการวิจัย.....	3
1.4 ขอบเขตงานวิจัย.....	4
1.5 ลักษณะปัญหา.....	5
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	7
1.7 สรุปเนื้อหางานวิจัย.....	8
2 การสำรวจงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	10
2.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบแบบเส้นตรง.....	10
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู.....	11
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมมาใช้ในการปัญหา การจัดสมดุล.....	15
2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของเมมเมติกอัลกอริทึม.....	16
2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวกับเทคนิคและวิธีการของอัลกอริทึมบรรจบ.....	18
3 ทฤษฎีเกี่ยวกับการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูลักษณะผลิตภัณฑ์ผสมในระบบ การผลิตแบบทันเวลาพอดี.....	20
3.1 ลักษณะของสายงานประกอบทั่วไป.....	20
3.2 ลักษณะของสายงานประกอบแบบเส้นตรง.....	20
3.3 ลักษณะของสายงานประกอบแบบตัวยู.....	21

3.4	ประเภทของสายงานประกอบ.....	22
3.5	หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ.....	26
3.5.1	ประเภทของปัญหาการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ.....	26
3.5.2	ประเภทของวัตถุประสงค์ในการจัดสมดุลของสายงานการประกอบ.....	28
3.6	การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม.....	31
3.7	วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ.....	37
3.7.1	ด้านประสิทธิภาพของสายการประกอบ (Efficiency Line).....	34
3.7.2	ด้านสมดุลของภาระงาน (Workload Smoothing).....	35
3.8	การประเมินประสิทธิภาพสายงานการประกอบ.....	37
3.8.1	การวัดประสิทธิภาพทางเทคนิค.....	37
3.8.2	การวัดประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์.....	38
3.9	สรุปท้ายบท.....	39
4	ทฤษฎีการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์และเจเนติกอัลกอริทึม.....	40
4.1	หลักการพื้นฐานของการหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	40
4.1.1	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์.....	41
4.1.2	ตัวแปรตัดสินใจ.....	41
4.1.3	ข้อจำกัด.....	42
4.2	ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์.....	42
4.2.1	รูปแบบปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์.....	42
4.2.2	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด.....	44
4.3	การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดด้วยเมทาดิววิวิดิค.....	46
4.4	การแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์ด้วยเอลโวลูชัน- นารีอัลกอริทึมแบบหลายวัตถุประสงค์.....	50
4.4.1	การกำหนดค่าความแข็งแรง.....	51
4.4.2	การแบ่งปันค่าความแข็งแรง.....	62
4.5	เจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms: GAs).....	67
4.5.1	พันธุศาสตร์กับเจเนติกอัลกอริทึม.....	67
4.5.2	ความหมายของเจเนติกอัลกอริทึม.....	69
4.6	เจเนติกอัลกอริทึมอย่างง่าย (Simple Genetic Algorithms).....	70

4.6.1	การเข้ารหัสและสร้างประชากรเริ่มต้นอย่างสุ่ม	71
4.6.2	ประชากรรุ่นเก่า (Old Population)	71
4.6.3	การดำเนินการของ SGA	71
4.6.4	ประชากรรุ่นใหม่ (New population)	74
4.7	ตัวอย่างการใช้เจเนติกอัลกอริทึมในการหาคำตอบของฟังก์ชัน	75
4.8	สรุปขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมใช้ในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลายวัตถุประสงค์	78
4.8.1	ขั้นตอนการทำงานของ Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA)	79
4.8.2	ขั้นตอนการทำงานของ Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA 2)	82
4.8.3	ขั้นตอนการทำงานของ Rank Density Genetic Algorithm (RDGA)	85
4.8.4	ขั้นตอนการทำงานของ Non-dominated sorting Genetic Algorithm II (NSGA -II)	88
4.9	ขั้นตอนการทำงานของเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II	91
4.10	วิธีการของอัลกอริทึมเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II	92
4.10.1	การใส่รหัสคำตอบ (Chromosome Representation / Coding)	92
4.10.2	การสร้างกลุ่มประชากรเบื้องต้น (Initial Population Creating)	94
4.10.3	การถอดรหัสคำตอบ (Decoding)	101
4.10.4	การประเมินค่า (Evaluation)	102
4.10.5	การคัดเลือกคำตอบ (Selection)	105
4.10.6	การครอสโอเวอร์ (Crossover)	108
4.10.7	การมิวเตชัน (Mutation)	112
4.10.8	เทคนิคการเก็บค่าที่ดีที่สุด (Elite Preserve Strategy)	112
4.11	ตัวอย่างการนำวิธี NSGAII อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมมูลสายการประกอบลักษณะตัวยูผลิตภัณฑ์ผสม ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี	114
4.12	การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด	138
4.13	สรุปท้ายบท	142
5	ทฤษฎีพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับเมมเมติกอัลกอริทึม	143
5.1	การค้นหาเฉพาะที่	143

5.1.1	รูปแบบการค้นหาเฉพาะที่ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย.....	144
5.1.2	กฎการยอมรับคำตอบที่ดี.....	149
5.1.3	สิ่งที่ควรคำนึงในการประยุกต์การค้นหาเฉพาะที่.....	153
5.1.4	การหยุดการค้นหาเฉพาะที่.....	155
5.2	เมมเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithms: MAs).....	156
5.2.1	ความหมายของเมมเมติกอัลกอริทึม.....	156
5.2.2	ความแตกต่างของเมมเมติกอัลกอริทึมและเจเนติกอัลกอริทึม.....	157
5.2.3	ขั้นตอนการทำงานหลักของ MAs.....	159
5.3	โครงสร้างของเมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการ ประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู.....	160
5.4	ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึม สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลาย การประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู.....	163
5.5	ขั้นตอนการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II) สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู.....	164
5.6	วิธีการทำงานของเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGAII (M-NSGAII) สำหรับ ปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยู.....	166
5.7	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธี M-NSGA-II อัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมดุสลาย การประกอบลักษณะตัวยูผลิตภัณฑ์ผสม ในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี.....	171
5.8	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของอัลกอริทึม.....	209
5.9	สรุปท้ายบท.....	209
6	ทฤษฎีพื้นฐานอัลกอริทึมการบรรจบ.....	212
6.1	หลักการวิธีอัลกอริทึมการบรรจบ.....	212
6.2	แนวคิดวิธีการอัลกอริทึมการบรรจบ.....	213
6.3	อัลกอริทึมการบรรจบ (Combinatorial Optimization with Coincidence).....	213
6.3.1	สร้างตัวดำเนินการเริ่มแรก (Initialize the generator).....	215
6.3.2	สร้างประชากรเบื้องต้นโดยใช้ตัวดำเนินการ (Generate the population).....	216
6.3.3	คำนวณและประเมินผลประชากร (Evaluate the population).....	217
6.3.4	การคัดเลือกคำตอบ (Select the candidates).....	218

6.3.5	ปรับปรุงค่าความน่าจะเป็นในตารางความน่าจะเป็น (Update Matrix Probabilistic)	219
6.4	ลักษณะการตัดทอนคำตอบ	223
6.5	โครงสร้างของอัลกอริทึมการบรรจบ สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู	224
6.6	ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมการบรรจบ สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู	226
6.7	วิธีการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจบสำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยู	227
6.8	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมการบรรจบในการแก้ปัญหามดุสลายการประกอบลักษณะตัวยูผลิตภัณฑ์ผสม	234
6.9	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของอัลกอริทึม	261
6.10	สรุปท้ายบท	262
7	การพัฒนาอัลกอริทึมการบรรจบในการจัดสมดุสลายการประกอบแบบตัวยูที่มีลักษณะผลิตภัณฑ์ผสมในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี	263
7.1	หลักการพัฒนาอัลกอริทึมการบรรจบ	263
7.2	แนวคิดการพัฒนาอัลกอริทึมการบรรจบ	265
7.3	อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II และ M-NSGA-II	267
7.4	โครงสร้างของอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู	267
7.5	โครงสร้างของอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู	270
7.6	ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ NSGA-II และ M-NSGA-II สำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสม ที่มีลักษณะตัวยู	273

7.7	วิธีการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ NSGA-II และ M-NSGA-II และสำหรับปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวยู่.....	275
7.8	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ NSGA-II และ M-NSGA-II ในการแก้ปัญหาสมดุสลายการประกอบลักษณะตัวยู่ผลิตภัณฑ์ผสมในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี.....	285
7.9	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของอัลกอริทึม.....	335
7.10	การประมาณกลุ่มคำตอบที่แท้จริง.....	336
7.11	การวัดสมรรถนะของกลุ่มคำตอบที่หาได้.....	338
7.11.1	การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการเข้าสู่กลุ่มคำตอบที่แท้จริง.....	339
7.11.2	การวัดสมรรถนะของคำตอบด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้.....	343
7.11.3	การวัดสมรรถนะด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง.....	346
7.12	สรุปท้ายบท.....	349
8	การกำหนดและทดสอบพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	350
8.1	การทดลองหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสม.....	350
8.1.1	การระบุปัญหา.....	350
8.1.2	การเลือกตัวแปรตอบสนอง.....	352
8.1.3	การเลือกปัจจัยและระดับของปัจจัย.....	352
8.1.4	การพิจารณาผลกระทบร่วมกันระหว่างระดับปัจจัย.....	361
8.2	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	363
8.2.1	การกำหนดจำนวนข้อมูลที่ต้องการจากการทดลองแต่ละระดับ.....	363
8.2.2	การกำหนดรูปแบบการทดลอง.....	364
8.2.3	การเก็บและจัดระบบข้อมูล.....	368
8.3	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	368
8.3.1	อัลกอริทึมการบรรจบ (COIN).....	369
8.3.2	อัลกอริทึมเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II (M-NSGA-II).....	382
8.3.3	อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ NSGA-II (COIN plus NSGA-II).....	394
8.3.4	อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ M-NSGA-II (COIN plus M-NSGA-II).....	413

บทที่	หน้า
8.4	สรุปผลการวิเคราะห์พารามิเตอร์..... 454
8.5	สรุปผลการทดลอง..... 460
9	การเปรียบเทียบผลการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่มีการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม โดยวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ NSGA-II และ M-NSGA-II..... 461
9.1	ปัญหาขนาด 19 ชิ้นงาน..... 462
9.2	ปัญหาขนาด 36 ชิ้นงาน..... 473
9.3	ปัญหาขนาด 61 ชิ้นงาน..... 485
9.4	ปัญหาขนาด 111 ชิ้นงาน..... 506
9.5	สรุปท้ายบท..... 535
10	บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 537
10.1	สรุปงานวิจัย..... 537
10.1.1	ลักษณะปัญหา..... 537
10.1.2	การประยุกต์ใช้อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในการจัดสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยู ที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ผสมในระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี..... 538
10.1.3	การทดสอบพารามิเตอร์..... 540
10.1.4	ผลการใช้อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II แก้ปัญหาสายงานการประกอบลักษณะตัวยู ที่ทำการผลิตผลิตภัณฑ์ผสม..... 541
10.2	ข้อเสนอแนะ..... 541
	รายการอ้างอิง..... 543
	ภาคผนวก..... 550
	ภาคผนวก ก ปัญหา NP-hard..... 551
	ภาคผนวก ข รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง..... 553
	ภาคผนวก ค ผลการวิเคราะห์การทดลอง..... 564
	ภาคผนวก ง ผลการตรวจสอบโปรแกรม..... 646
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... 691

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 1.1 แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย.....	5
ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างการคำนวณเวลารวมของชั้นงาน.....	13
ตารางที่ 4.1 เปรียบเทียบค่าศัพท์ระหว่างพันธุศาสตร์และเจนนาคิกอัลกอริทึม.....	68
ตารางที่ 4.2 กลุ่มประชากรตัวอย่างและค่าเหมาะสม.....	72
ตารางที่ 4.3 การคำนวณหาค่าตอบของบ SGA กับฟังก์ชัน $f(x) = x^2$	76
ตารางที่ 4.4 อัลกอริทึมที่ได้รับความนิยมใช้ในการแก้ปัญหาค่าเหมาะสมที่สุดที่มีหลาย วัตถุประสงค์.....	78
ตารางที่ 4.5 ตัวอย่างเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานในการทำงาน ข้างหน้า (Forward Work).....	96
ตารางที่ 4.6 ตัวอย่างเมตริกซ์แสดงความสัมพันธ์ตามลำดับก่อนหลังของงานในการทำงาน ข้างหลัง (Backward Work).....	97
ตารางที่ 4.7 สตริงคำตอบลำดับงานในการจัดงานลงในสถานีนงาน.....	101
ตารางที่ 4.8 ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อรูเล็ต.....	106
ตารางที่ 4.9 ตัวอย่างการคัดเลือกด้วยวิธี Tournament Selection.....	108
ตารางที่ 4.10 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	115
ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).....	116
ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back).....	116
ตารางที่ 4.13 การคัดเลือกลำดับชั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	119
ตารางที่ 4.14 การจัดสรรงานลงในสถานีนงาน.....	120
ตารางที่ 4.14 การจัดสรรงานลงในสถานีนงาน (ต่อ).....	121
ตารางที่ 4.15 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	123
ตารางที่ 4.16 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	124
ตารางที่ 4.17 การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	125
ตารางที่ 4.18 ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	126
ตารางที่ 4.19 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	127
ตารางที่ 4.20 การสร้างวงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน.....	127
ตารางที่ 4.21 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	128
ตารางที่ 4.22 สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	129
ตารางที่ 4.23 ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	132

	หน้า	
ตารางที่ 4.24	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน.....	133
ตารางที่ 4.25	สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	133
ตารางที่ 4.26	ลำดับชั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	134
ตารางที่ 4.27	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	134
ตารางที่ 4.27	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน (ต่อ).....	135
ตารางที่ 4.28	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance.....	136
ตารางที่ 4.29	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance.....	137
ตารางที่ 4.30	สตริงคำตอบรุ่นลูกที่จะถูกพัฒนาไปเป็นสตริงคำตอบเริ่มต้นในรอบถัดไป.....	138
ตารางที่ 5.1	หลักการยอมรับ (Acceptance Rule).....	149
ตารางที่ 5.2	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	173
ตารางที่ 5.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Front).....	174
ตารางที่ 5.4	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back).....	174
ตารางที่ 5.5	การคัดเลือกลำดับชั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	177
ตารางที่ 5.5	การคัดเลือกลำดับชั้นงานในสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ).....	178
ตารางที่ 5.6	การจัดสรรชั้นงานลงสถานีงาน.....	179
ตารางที่ 5.7	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	182
ตารางที่ 5.8	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	183
ตารางที่ 5.9	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	184
ตารางที่ 5.10	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	185
ตารางที่ 5.11	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่.....	186
ตารางที่ 5.12	การสร้างวงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่.....	186
ตารางที่ 5.13	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	187
ตารางที่ 5.14	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	187
ตารางที่ 5.15	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	187
ตารางที่ 5.16	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	188
ตารางที่ 5.17	หลักการยอมรับ (Acceptance Rule).....	189

	หน้า	
ตารางที่ 5.18	สตริงคำตอบที่ดีหลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	189
ตารางที่ 5.19	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่.....	189
ตารางที่ 5.20	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการ คัดเลือก.....	190
ตารางที่ 5.21	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่.....	191
ตารางที่ 5.22	ค่า Crowding Distance หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่.....	191
ตารางที่ 5.23	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการผสมพันธุ์.....	192
ตารางที่ 5.24	การสร้างวงล้อสุ่มก่อนทำการผสมพันธุ์.....	192
ตารางที่ 5.25	วิธี Binary Tournament Selection ก่อนทำการผสมพันธุ์.....	193
ตารางที่ 5.26	สตริงคำตอบที่จะทำการเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	194
ตารางที่ 5.27	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการมิวเตชัน.....	197
ตารางที่ 5.28	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเตชัน.....	197
ตารางที่ 5.29	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ก่อนทำการค้นหา เฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....	198
ตารางที่ 5.30	การสร้างวงล้อสุ่มก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....	198
ตารางที่ 5.31	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	199
ตารางที่ 5.32	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน.....	199
ตารางที่ 5.33	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของตัวเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน.....	200
ตารางที่ 5.34	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน.....	200
ตารางที่ 5.35	หลักการยอมรับ (Acceptance Rule) หลังมิวเตชัน.....	201
ตารางที่ 5.36	สตริงคำตอบที่ดีหลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน.....	201
ตารางที่ 5.37	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบที่ถูกเลือกทำการค้นหาเฉพาะที่.....	202
ตารางที่ 5.38	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการ คัดเลือก.....	202
ตารางที่ 5.39	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน.....	203
ตารางที่ 5.40	ค่า Crowding Distance หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่.....	203
ตารางที่ 5.41	การรวมสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดวิธี M-NSGAI.....	204
ตารางที่ 5.42	ลำดับชั้นงานของสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดวิธี M-NSGAI.....	205

ตารางที่ 5.43	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	206
ตารางที่ 5.44	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance วิธี M-NSGAI.....	207
ตารางที่ 5.45	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อยของค่า Crowding Distance.....	208
ตารางที่ 5.46	หลักการยอมรับ (Acceptance Rule) ในการตัดสินใจคำตอบที่ได้ทำการค้นหาเฉพาะที่.....	210
ตารางที่ 6.1	ตารางความใช้ง่ายในการเดินทางของพนักงาน.....	215
ตารางที่ 6.2	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดิน.....	216
ตารางที่ 6.3	ความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่ดี.....	221
ตารางที่ 6.4	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่ดี.....	221
ตารางที่ 6.5	ความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่แย่.....	222
ตารางที่ 6.6	ตารางความน่าจะเป็นของเส้นทางการเดินหลังจากปรับปรุงคำตอบที่แย่.....	222
ตารางที่ 6.7	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	235
ตารางที่ 6.8	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Front).....	236
ตารางที่ 6.9	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back).....	236
ตารางที่ 6.10	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน.....	238
ตารางที่ 6.11	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน.....	238
ตารางที่ 6.12	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ.....	239
ตารางที่ 6.12	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ (ต่อ).....	239
ตารางที่ 6.13	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	243
ตารางที่ 6.14	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	244
ตารางที่ 6.15	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	245
ตารางที่ 6.16	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	246
ตารางที่ 6.17	สตริงที่ถูกเลือกเป็นสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดีและแย่.....	247
ตารางที่ 6.18	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี.....	252

ตารางที่ 6.19	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี.....	252
ตารางที่ 6.20	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่.....	257
ตารางที่ 6.21	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่.....	257
ตารางที่ 6.22	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า.....	258
ตารางที่ 6.23	การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุดในรอบปัจจุบันกับรอบก่อนหน้า.....	259
ตารางที่ 6.24	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	259
ตารางที่ 6.25	สตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกจัดเก็บในรอบปัจจุบัน.....	260
ตารางที่ 7.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	287
ตารางที่ 7.2	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Front).....	288
ตารางที่ 7.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back).....	288
ตารางที่ 7.4	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน.....	291
ตารางที่ 7.5	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ในปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน.....	291
ตารางที่ 7.6	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ.....	292
ตารางที่ 7.6	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ (ต่อ).....	292
ตารางที่ 7.7	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	297
ตารางที่ 7.8	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	298
ตารางที่ 7.9	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	298
ตารางที่ 7.10	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	299
ตารางที่ 7.11	สตริงคำตอบที่ทำการคัดเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ให้คำตอบที่ดีและแย่.....	300
ตารางที่ 7.12	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี.....	304
ตารางที่ 7.13	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่ดี.....	305

ตารางที่ 7.14 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) หลังการปรับปรุงจาก สตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่.....	309
ตารางที่ 7.15 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่.....	309
ตารางที่ 7.16 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า.....	311
ตารางที่ 7.17 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์สตริงคำตอบในรอบปัจจุบัน (Current Good String).....	311
ตารางที่ 7.18 การรวมสตริงคำตอบในรอบปัจจุบันรวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบ ก่อนหน้า.....	312
ตารางที่ 7.19 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำกรรวมกัน.....	313
ตารางที่ 7.20 สตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกจัดเก็บในรอบปัจจุบัน.....	314
ตารางที่ 7.21 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากในส่วนของกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	315
ตารางที่ 7.22 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ในส่วนของกระบวนการ อัลกอริทึม NSGA-II.....	316
ตารางที่ 7.23 ค่าCrowding Distance ของสตริงคำตอบในส่วนของกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	317
ตารางที่ 7.24 การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ในส่วนของ กระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	318
ตารางที่ 7.25 การสร้างวงล้อรูเล็ตในส่วนของกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	318
ตารางที่ 7.26 Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	319
ตารางที่ 7.27 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกไปทำครอสโอเวอร์.....	320
ตารางที่ 7.28 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกไปทำการมิวเตชัน.....	322
ตารางที่ 7.29 สตริงคำตอบรุ่นลูกหลังการทำมิวเตชัน.....	323
ตารางที่ 7.30 การซ่อมแซมสตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชัน.....	324
ตารางที่ 7.31 สตริงคำตอบก่อนทำการซ่อมแซม.....	325
ตารางที่ 7.32 สตริงคำตอบหลังทำการซ่อมแซม.....	325
ตารางที่ 7.33 ตำแหน่งชิ้นงานในสถานีนงาน.....	326
ตารางที่ 7.34 ค่าวัตถุประสงค์หลังทำการซ่อมแซมคำตอบสตริงและการแปลงค่าความ แข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	326

	หน้า
ตารางที่ 7.35 การสร้างวงล้อสุ่มก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมีเวชัน	326
ตารางที่ 7.36 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ	327
ตารางที่ 7.37 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	328
ตารางที่ 7.38 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule)	328
ตารางที่ 7.39 สตริงคำตอบที่ดีที่สุดหลังจากการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมีเวชัน	328
ตารางที่ 7.40 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงและ Crowding Distance หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมีเวชัน	329
ตารางที่ 7.41 สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่	329
ตารางที่ 7.42 สตริงคำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II	330
ตารางที่ 7.43 ตำแหน่งสถานีงานของแต่ละชั้นงานของสตริงคำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II	331
ตารางที่ 7.44 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์สตริงคำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II	332
ตารางที่ 7.45 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) และค่า Crowding Distance คำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II	333
ตารางที่ 7.46 การเรียงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) และค่า Crowding Distance คำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II	334
ตารางที่ 7.47 ตัวอย่างฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ได้จากกลุ่มคำตอบที่หาได้จากทุกอัลกอริทึม	337
ตารางที่ 7.48 true-Pareto Front จากตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มคำตอบทุกอัลกอริทึม	338
ตารางที่ 7.49 ตัวอย่างกลุ่มคำตอบที่หาได้จาก true-Pareto Front และ COIN plus M-NSGA-II	340
ตารางที่ 7.50 การ Normalized ระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบที่หาได้กับคำตอบที่แท้จริง ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 1	341
ตารางที่ 7.51 การ Normalized ระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบที่หาได้กับคำตอบที่แท้จริง ในฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2	341
ตารางที่ 7.52 ระยะทางระหว่างแต่ละคำตอบที่หาได้กับคำตอบที่แท้จริง	342

	หน้า
ตารางที่ 7.53	ระยะทางแต่ละคำตอบที่แท้จริงกับคำตอบที่หาได้ที่ใกล้ที่สุด 342
ตารางที่ 7.54	กลุ่มคำตอบที่หาได้จาก COIN plus M-NSGA-II..... 344
ตารางที่ 7.55	สัญลักษณ์ของระยะทางระหว่างคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน..... 344
ตารางที่ 7.56	การหาระยะทางระหว่างสมาชิกคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกัน..... 344
ตารางที่ 7.57	ผลต่างระหว่างระยะทางของคำตอบที่อยู่ต่อเนื่องกันและค่าเฉลี่ยของ ระยะทาง 345
ตารางที่ 7.58	การเปรียบเทียบคำตอบที่หาได้กับกลุ่มคำตอบที่แท้จริงด้วยหลักการ Pareto Dominance..... 348
ตารางที่ 8.1	แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย (R.Hwang และ H.Katayama, 2008)..... 351
ตารางที่ 8.2	รายละเอียดการทดลองในอัลกอริทึม M-NSGA-II ที่ใช้ในการพิจารณา 365
ตารางที่ 8.3	รายละเอียดการทดลองในอัลกอริทึมการบรรจบที่ใช้ในการพิจารณา..... 365
ตารางที่ 8.4	รายละเอียดการทดลองในอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับNSGA-II ที่ใช้ในการ พิจารณา..... 366
ตารางที่ 8.5	รายละเอียดการทดลองในอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับ M-NSGA-II ที่ใช้ใน การพิจารณา..... 367
ตารางที่ 8.6	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 19 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN..... 373
ตารางที่ 8.7	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 36 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN..... 375
ตารางที่ 8.8	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN..... 377
ตารางที่ 8.9	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN.... 382
ตารางที่ 8.10	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 19 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม M- NSGA-II..... 386
ตารางที่ 8.11	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 36 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม M- NSGA-II..... 388
ตารางที่ 8.12	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม M- NSGA-II..... 392
ตารางที่ 8.13	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม M- NSGA-II..... 393

หน้า

ตารางที่ 8.14	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 19 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II	397
ตารางที่ 8.15	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 36 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวม กับ NSGA-II	404
ตารางที่ 8.16	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวม กับ NSGA-II	408
ตารางที่ 8.17	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II	413
ตารางที่ 8.18	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 19 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II	424
ตารางที่ 8.19	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 36 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II	437
ตารางที่ 8.20	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II	445
ตารางที่ 8.21	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II	453
ตารางที่ 8.22	ผลการวิเคราะห์อัลกอริทึมการบรรจบ	454
ตารางที่ 8.23	ผลการวิเคราะห์เมมเมติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II	454
ตารางที่ 8.24	ผลการวิเคราะห์อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเงินเนติกอัลกอริทึม	455
ตารางที่ 8.25	ผลการวิเคราะห์อัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม	456
ตารางที่ 8.26	พารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเหมาะสมที่สุดในอัลกอริทึมการ บรรจบ (COIN)	457
ตารางที่ 8.27	พารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเหมาะสมที่สุดในเมมเมติกอัล- กอริทึม (M-NSGA-II)	457
ตารางที่ 8.28	พารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเหมาะสมที่สุดในอัลกอริทึมการ บรรจบรวมกับเงินเนติกอัลกอริทึม (COIN plus NSGA-II)	458
ตารางที่ 8.29	พารามิเตอร์ที่ทำให้ค่าของตัวแปรตอบสนองเหมาะสมที่สุดในอัลกอริทึมการ บรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม (COIN plus M-NSGA-II)	459

ตารางที่ 9.1	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	463
ตารางที่ 9.2	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	463
ตารางที่ 9.3	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	464
ตารางที่ 9.4	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	465
ตารางที่ 9.5	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	466
ตารางที่ 9.6	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	466
ตารางที่ 9.7	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	467
ตารางที่ 9.8	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	467
ตารางที่ 9.9	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	469
ตารางที่ 9.10	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	469
ตารางที่ 9.11	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ ทั้ง 5 อัลกอริทึมในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	470
ตารางที่ 9.12	true-Pareto Optimal Frontier ที่หาได้ของอัลกอริทึมทั้งหมด ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	470
ตารางที่ 9.13	ค่าของตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 สมรรถนะ ในปัญหา 19 ชั้นงาน.....	471
ตารางที่ 9.14	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเจเนเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน.....	473
ตารางที่ 9.15	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเจเนนาติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน.....	474

ตารางที่ 9.16	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	475
ตารางที่ 9.17	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	476
ตารางที่ 9.18	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบในปัญหา 36 ชั้นงาน	477
ตารางที่ 9.19	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบในปัญหา 36 ชั้นงาน	477
ตารางที่ 9.20	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	478
ตารางที่ 9.21	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	479
ตารางที่ 9.22	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	480
ตารางที่ 9.23	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงาน	481
ตารางที่ 9.24	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ ทั้ง 5 อัลกอริทึมในปัญหา 36 ชั้นงาน	482
ตารางที่ 9.25	true-Pareto Optimal Frontier ที่หาได้ของอัลกอริทึมทั้งหมด ในปัญหา 36 ชั้นงาน	483
ตารางที่ 9.26	ค่าของตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 สมรรถนะ ในปัญหา 36 ชั้นงาน	484
ตารางที่ 9.27	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน	486
ตารางที่ 9.28	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน	487
ตารางที่ 9.28	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ)	488
ตารางที่ 9.29	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน	490

ตารางที่ 9.30	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	491
ตารางที่ 9.30	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	492
ตารางที่ 9.31	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	494
ตารางที่ 9.32	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	495
ตารางที่ 9.33	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	496
ตารางที่ 9.34	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	497
ตารางที่ 9.34	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	498
ตารางที่ 9.35	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	499
ตารางที่ 9.36	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	500
ตารางที่ 9.36	ผลลัพธ์ของการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมแบบ M-NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	501
ตารางที่ 9.37	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ ทั้ง 5 อัลกอริทึมในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	502
ตารางที่ 9.37	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ ทั้ง 5 อัลกอริทึมในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	503
ตารางที่ 9.38	true-Pareto Optimal Frontier ที่หาได้ของอัลกอริทึมทั้งหมด ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	503
ตารางที่ 9.39	ค่าของตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 สมรรถนะ ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	504
ตารางที่ 9.40	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	506

ตารางที่ 9.50	ผลลัพธ์ของคำตอบ 3 วัตถุประสงค์ ทั้ง 5 อัลกอริทึมในปัญหา 111 ชั้นงาน (ต่อ)	532
ตารางที่ 9.51	true-Pareto Optimal Frontier ที่หาได้ของอัลกอริทึมทั้งหมด ในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	533
ตารางที่ 9.52	ค่าของตัวชี้วัดสมรรถนะทั้ง 3 สมรรถนะ ในปัญหา 111 ชั้นงาน	534
ตารางที่ ก.1	เวลาในการคำนวณที่อยู่ในรูป Time Complexity Function โดยมีสมมติฐาน ว่าการคำนวณในแต่ละครั้งใช้เวลา 1 ไมโครวินาที	551
ตารางที่ ก.2	ขนาดของปัญหาในการคำนวณของคอมพิวเตอร์ที่มีความเร็วสูงกว่า 1000 เท่า.....	552
ตารางที่ ข.1	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชั้นงาน	553
ตารางที่ ข.2	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 36 ชั้นงาน	554
ตารางที่ ข.2	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 36 ชั้นงาน (ต่อ)	555
ตารางที่ ข.3	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 61 ชั้นงาน	556
ตารางที่ ข.3	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 61 ชั้นงาน (ต่อ)	557
ตารางที่ ข.4	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 111 ชั้นงาน	559
ตารางที่ ข.4	รายละเอียดปัญหาตัวอย่างขนาด 111 ชั้นงาน (ต่อ)	560
ตารางที่ ค.1	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเจเนติกอัลกอริทึมแบบ NSGA-II ...	564
ตารางที่ ค.2	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set	564
ตารางที่ ค.2	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set (ต่อ)	565
ตารางที่ ค.3	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Spread to the Pareto-optimal set.....	567
ตารางที่ ค.3	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Spread to the Pareto-optimal set (ต่อ).....	568
ตารางที่ ค.4	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution	569
ตารางที่ ค.4	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ).....	570
ตารางที่ ค.5	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Convergence to the Pareto-optimal set	572

ตารางที่ ค.12	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Spread to the Pareto-optimal set (ต่อ)	617
ตารางที่ ค.13	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution.....	631
ตารางที่ ค.13	ผลการทดลองพารามิเตอร์ที่เหมาะสมวิธีอัลกอริทึมการบรรจบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึม ตัวชี้วัด Ratio of Non-Dominated Solution (ต่อ).....	632
ตารางที่ ง.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	647
ตารางที่ ง.2	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font)..	649
ตารางที่ ง.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)..	649
ตารางที่ ง.4	การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ด้วยมือ	651
ตารางที่ ง.5	การสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ด้วยมือ	651
ตารางที่ ง.6	การสร้างตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability) ด้วยโปรแกรม.	652
ตารางที่ ง.7	การสร้างตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ด้วยโปรแกรม	652
ตารางที่ ง.8	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ.....	653
ตารางที่ ง.8	การคัดเลือกงานลงสตริงคำตอบ (ต่อ).....	654
ตารางที่ ง.9	ผลการถอดรหัสคำตอบของโปรแกรม.....	654
ตารางที่ ง.10	การคำนวณค่าวัตถุประสงค์ด้วยมือและโปรแกรม	655
ตารางที่ ง.11	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) โดยโปรแกรม	656
ตารางที่ ง.12	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1	657
ตารางที่ ง.13	การเปรียบเทียบค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ	658
ตารางที่ ง.14	สตริงคำตอบที่ทำการคัดเลือกเป็นสตริงคำตอบที่ให้คำตอบที่ดีและแ่โดยโปรแกรม	659
ตารางที่ ง.15	ตารางความน่าจะเป็นร่วม หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แ่คำนวณด้วยมือ	667
ตารางที่ ง.16	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แ่คำนวณด้วยมือ	667

ตารางที่ ง.17	ตารางความน่าจะเป็นร่วม หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่มากด้วยโปรแกรม.....	668
ตารางที่ ง.18	ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก หลังการปรับปรุงจากสตริงคำตอบที่มีคำตอบที่แย่มากด้วยโปรแกรม.....	668
ตารางที่ ง.19	ค่าการเปรียบเทียบจากการคำนวณวัตถุประสงค์สตริงคำตอบในรอบแต่ก่อน (Previous Best String).....	670
ตารางที่ ง.20	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์จากสตริงคำตอบที่ถูกเก็บไว้ในรอบรอบปัจจุบัน (Current Good String).....	671
ตารางที่ ง.21	การรวมสตริงคำตอบในรอบปัจจุบันรวมกับสตริงคำตอบที่ถูกจัดเก็บไว้ในรอบก่อนหน้า.....	671
ตารางที่ ง.22	การคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการเก็บค่าที่ดีที่สุด.....	672
ตารางที่ ง.23	เปรียบเทียบสตริงคำตอบที่ถูกคัดเลือกไปสู่วิธีการเมมเมติกอัลกอริทึม.....	674
ตารางที่ ง.24	เปรียบเทียบตำแหน่งสถานงานที่ถูกคัดเลือกไปสู่วิธีการเมมเมติกอัลกอริทึม.....	674
ตารางที่ ง.25	การเปรียบเทียบคำตอบในการประเมินในอ.....	675
ตารางที่ ง.26	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม M-NSGA-II.....	676
ตารางที่ ง.27	การสร้างวงล้อรูเล็ตในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม M-NSGA-II.....	676
ตารางที่ ง.28	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบด้วยโปรแกรม.....	677
ตารางที่ ง.29	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกไปทำครอสโอเวอร์โดยโปรแกรม.....	678
ตารางที่ ง.30	สตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์.....	680
ตารางที่ ง.31	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกไปทำการมิวเตชันโดยโปรแกรม.....	681
ตารางที่ ง.32	สตริงคำตอบรุ่นลูกหลังการทำมิวเตชัน.....	682
ตารางที่ ง.33	การซ่อมแซมสตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชันด้วยมือ.....	682
ตารางที่ ง.33	การซ่อมแซมสตริงคำตอบหลังการทำครอสโอเวอร์และมิวเตชันด้วยมือ (ต่อ)..	683
ตารางที่ ง.34	คำตอบหลังการซ่อมแซมสตริงคำตอบ.....	683
ตารางที่ ง.35	ค่าวัตถุประสงค์หลังทำการซ่อมแซมคำตอบสตริงและการแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) โดยโปรแกรม.....	684
ตารางที่ ง.36	การสร้างวงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการทำมิวเตชันด้วยมือ.....	684

	หน้า
ตารางที่ ง.37 วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ	685
ตารางที่ ง.38 ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก	686
ตารางที่ ง.39 หลักการยอมรับ (Acceptance Rule)	686
ตารางที่ ง.40 ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงและ Crowding Distance หลังการทำการค้นหาเฉพาะที่หลังมิวเตชัน	687
ตารางที่ ง.41 สตริงคำตอบหลังการทำการค้นหาเฉพาะที่	688
ตารางที่ ง.42 สตริงคำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม M-NSGA-II	689
ตารางที่ ง.43 การเรียงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) และค่า Crowding Distance คำตอบที่จะทำการเก็บค่าที่ดีที่สุดในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม M-NSGA-II	689
ตารางที่ ง.44 สตริงคำตอบในรุ่นพ่อแม่ในเจนเนอเรชันต่อไป	690

สารบัญภาพ

	หน้า
รูปที่ 3.1	แสดงไดอะแกรมสายงานประกอบ 20
รูปที่ 3.2	กราฟแสดงความสัมพันธ์ของภาระงาน 21
รูปที่ 3.3	กราฟแสดงคำตอบที่เหมาะสมกรณีสายการประกอบ Straight Line เมื่อ $c = 10$ 21
รูปที่ 3.4	กราฟแสดงคำตอบที่เหมาะสมกรณีสายการประกอบ U-Line เมื่อ $c = 10$ 22
รูปที่ 3.5	การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต 23
รูปที่ 3.6	แผนผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ 26
รูปที่ 3.7	แผนผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดเฉพาะและความแตกต่างของวัตถุประสงค์ใน ปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ 28
รูปที่ 3.8	ความสัมพันธ์ของชั้นงาน 31
รูปที่ 3.9	การสร้างแผนภาพลำดับก่อนหลังรวม 33
รูปที่ 3.10	การจำแนกกลุ่มวัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุสลายการประกอบ 35
รูปที่ 3.11	การจำแนกกลุ่มและความสัมพันธ์วัตถุประสงค์ในปัญหาการจัดสมดุสลายการ ประกอบ 36
รูปที่ 3.12	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ 37
รูปที่ 4.1	การค้นหาพื้นที่คำตอบในปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดหลายวัตถุประสงค์ 45
รูปที่ 4.2	วิธีการจัดลำดับของ Goldberg 56
รูปที่ 4.3	วิธีการจัดลำดับของ Fonseca และ Fleming 57
รูปที่ 4.4	วิธีการจัดอันดับแบบ Automatic Accumulated Ranking Strategy 59
รูปที่ 4.5	วิธีการจัดอันดับแบบ Strength of Dominators 61
รูปที่ 4.6	Niched Fitness Sharing Technique 64
รูปที่ 4.7	Crowding Distance 65
รูปที่ 4.8	Adaptive Density Estimation 66
รูปที่ 4.9	เปรียบเทียบลักษณะระหว่างเจเนเนติกอัลกอริทึมกับลักษณะทางพันธุศาสตร์ 63
รูปที่ 4.10	ขั้นตอนของ GAs อย่างง่าย 70
รูปที่ 4.11	การรีโพรดักชันอย่างง่ายด้วยวิธีการใช้วงล้อสุ่มที่มีขนาดของแต่ละช่องเป็น สัดส่วนกับค่าความเหมาะสม 73
รูปที่ 4.12	การครอสโอเวอร์อย่างง่ายเพื่อให้เห็นถึงการเปลี่ยนแปลงสตริงและการ แลกเปลี่ยนข่าวสารโดยเลือกตำแหน่งไขว้แบบสุ่ม 73
รูปที่ 4.13	ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ $f(x) = x^2$ 75

	หน้า
รูปที่ 4.14	ขั้นตอนการทำงานของ Multi-Objective Genetic Algorithm (MOGA)..... 81
รูปที่ 4.15	ขั้นตอนการทำงานของ Strength Pareto Evolutionary Algorithm 2 (SPEA 2).... 84
รูปที่ 4.16	ขั้นตอนการทำงานของ Rank Density Genetic Algorithm (RDGA)..... 87
รูปที่ 4.17	ขั้นตอนการทำงานของ Non-dominated sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II)..... 90
รูปที่ 4.18	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในปัญหาของ Thomopoulos..... 93
รูปที่ 4.19	การสร้างประชากรเบื้องต้น..... 95
รูปที่ 4.20	วิธีการจัดลำดับของ Goldberg ที่ใช้ในอัลกอริทึม NSGA-II..... 103
รูปที่ 4.21	Crowding Distance ที่ใช้ในอัลกอริทึม NSGA-II..... 105
รูปที่ 4.22	วงล้อรูเล็ต..... 107
รูปที่ 4.23	การกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงคำตอบพ่อและแม่..... 110
รูปที่ 4.24	การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักของสตริงคำตอบของพ่อแม่..... 111
รูปที่ 4.25	วิธี Reciprocal Exchange Mutation..... 112
รูปที่ 4.26	วิธีการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึม NSGAI และ M-NSGAI..... 113
รูปที่ 4.27	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชั้นงาน..... 114
รูปที่ 4.28	การสร้างสตริงคำตอบเริ่มต้น..... 117
รูปที่ 4.29	สตริงคำตอบค่าสถิติในการเลือกชั้นงาน..... 117
รูปที่ 4.30	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg..... 124
รูปที่ 4.31	วงล้อรูเล็ตของปัญหาตัวอย่าง 19 ชั้นงาน..... 128
รูปที่ 4.32	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบคู่ที่ 1,2..... 130
รูปที่ 4.33	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover (WMX) สตริงคำตอบคู่ที่ 3,4..... 131
รูปที่ 4.34	วิธี Reciprocal Exchange Mutation..... 132
รูปที่ 4.35	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน..... 135
รูปที่ 4.36	การคำนวณระยะทางจากกลุ่มคำตอบที่หาได้และกลุ่มคำตอบที่แท้จริง..... 140
รูปที่ 4.37	การคำนวณหาค่าการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้..... 141
รูปที่ 5.1	หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี 2-Opt..... 146

	หน้า
รูปที่ 5.2	หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี 3-Opt.....147
รูปที่ 5.3	หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี Or-Opt.....147
รูปที่ 5.4	หลักการแลกเปลี่ยนก่อนและหลังของวิธี Double-bridge.....148
รูปที่ 5.5	การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_1(x)$150
รูปที่ 5.6	การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_2(x)$150
รูปที่ 5.7	การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ดีกว่าใน $f_1(x)$ และ $f_2(x)$151
รูปที่ 5.8	การยอมรับในกรณีที่คำตอบหลังทำการค้นหาเฉพาะที่ให้ค่าที่ไม่สามารถเปรียบเทียบได้ว่าคำตอบใดดีกว่ากัน.....152
รูปที่ 5.9	โครงสร้างพื้นฐานของ MAs และ GAs.....158
รูปที่ 5.10	โครงสร้างเมเมติกอัลกอริทึมที่ใช้งานวิจัย.....162
รูปที่ 5.11	วิธีการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึม NSGAII และ M-NSGAII.....171
รูปที่ 5.12	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชิ้นงาน.....172
รูปที่ 5.13	กำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น.....175
รูปที่ 5.14	สตริงคำตอบค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) 1 สตริงคำตอบ.....176
รูปที่ 5.15	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg.....183
รูปที่ 5.16	วงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่.....186
รูปที่ 5.17	การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt.....188
รูปที่ 5.18	วงล้อรูเล็ตก่อนทำการผสมพันธุ์.....193
รูปที่ 5.19	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 1,2.....195
รูปที่ 5.20	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 3,4.....196
รูปที่ 5.21	วิธี Reciprocal Exchange Mutation.....197
รูปที่ 5.22	วงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....199
รูปที่ 5.23	การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt หลังมิวเตชัน.....200
รูปที่ 5.24	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกันวิธี M-NSGAII.....206
รูปที่ 5.25	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของ NSGA-II และ M-NSGA-II.....209
รูปที่ 6.1	ลักษณะพื้นที่ของคำตอบที่เหมาะสมกรณีหาค่าเหมาะสมที่น้อยที่สุด.....213

	หน้า
รูปที่ 6.2	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึมการบรรจวบ..... 214
รูปที่ 6.3	ลักษณะการคัดเลือกเลือกคำตอบ..... 219
รูปที่ 6.4	ลักษณะเส้นทางในการเลือกคำตอบก่อนและหลังตัดทอนเส้นทางการเดินทาง..... 223
รูปที่ 6.5	โครงสร้างอัลกอริทึมการบรรจวบสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ ผลิตภัณฑ์ผสมที่มีลักษณะตัวอยู่ในงานวิจัยครั้งนี้..... 225
รูปที่ 6.6	การเก็บค่าที่ดีที่สุดของวิธีอัลกอริทึมการบรรจวบ..... 233
รูปที่ 6.7	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของ ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชิ้นงาน..... 234
รูปที่ 6.8	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg..... 244
รูปที่ 6.9	การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อเก็บไว้ใน รอบปัจจุบัน..... 260
รูปที่ 6.10	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของ NSGA-II M-NSGA-II และ COIN..... 261
รูปที่ 7.1	ลักษณะเส้นทางที่ทำให้ได้คำตอบที่ดี..... 264
รูปที่ 7.2	ลักษณะเส้นทางที่ทำให้ได้คำตอบที่แย่..... 264
รูปที่ 7.3	อัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับอัลกอริทึม NSGA-II..... 266
รูปที่ 7.4	อัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับอัลกอริทึม M-NSGA-II..... 266
รูปที่ 7.5	โครงสร้างอัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับ NSGA-II..... 269
รูปที่ 7.6	โครงสร้างอัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับ M-NSGA-II..... 272
รูปที่ 7.7	ตัวอย่างการคัดเลือกสตริงคำตอบจำนวน $popsiz = 100$ และ $Choose = 10\%$ 279
รูปที่ 7.8	การเก็บค่าที่ดีที่สุดของวิธีอัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับ NSGA-II ในรอบการ คำนวณแบบอัลกอริทึมการบรรจวบ กรณี $popsiz = 10$ 281
รูปที่ 7.9	วิธีการเก็บค่าที่ดีที่สุดของอัลกอริทึมการบรรจวบรวมกับ NSGA-II และ M- NSGA-II ในขั้นตอนของอัลกอริทึม NSGA-II และ M-NSGA-II..... 285
รูปที่ 7.10	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของ ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชิ้นงาน..... 286
รูปที่ 7.11	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg..... 297
รูปที่ 7.12	การกำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริงในการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อเก็บไว้ใน รอบปัจจุบัน..... 313

รูปที่ 7.13	กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness) ในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	316
รูปที่ 7.14	วงล้อรูเล็ตในส่วนการกระบวนการอัลกอริทึม NSGA-II.....	318
รูปที่ 7.15	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 1, 2.....	320
รูปที่ 7.16	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 3, 4.....	321
รูปที่ 7.17	Reciprocal Exchange Mutation.....	322
รูปที่ 7.18	วงล้อรูเล็ตก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน.....	327
รูปที่ 7.19	การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt หลังมิวเตชัน.....	327
รูปที่ 7.20	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของทุกอัลกอริทึม.....	335
รูปที่ 7.21	true-Pareto Front จากตัวอย่างที่ได้จากกลุ่มคำตอบทุกอัลกอริทึม.....	338
รูปที่ 8.1	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 19 ชั้นงาน.....	353
รูปที่ 8.2	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 36 ชั้นงาน.....	354
รูปที่ 8.3	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 61 ชั้นงาน.....	354
รูปที่ 8.4	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 111 ชั้นงาน.....	355
รูปที่ 8.5	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาดเล็ก.....	360
รูปที่ 8.6	ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาดใหญ่.....	361
รูปที่ 8.7	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	370
รูปที่ 8.8	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีวิวิธติกขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	370
รูปที่ 8.8	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีวิวิธติกของขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	371
รูปที่ 8.9	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเมื่อกำหนดปัจจัยวิธีวิวิธติก เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	372
รูปที่ 8.10	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบเมื่อกำหนดปัจจัยวิธีวิวิธติก เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	372

รูปที่ 8.11	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	373
รูปที่ 8.12	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	374
รูปที่ 8.13	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	374
รูปที่ 8.14	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	375
รูปที่ 8.15	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	376
รูปที่ 8.16	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	376
รูปที่ 8.17	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	377
รูปที่ 8.18	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีวิวิธติกขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	378
รูปที่ 8.19	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีวิวิธติกของขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	378
รูปที่ 8.20	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	379
รูปที่ 8.21	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	380
รูปที่ 8.22	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีวิวิธติกและความน่าจะเป็นในการคัดเลือกสตรีงขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	380
รูปที่ 8.23	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีวิวิธติกของขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	381

รูปที่ 8.24 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ ของขนาดปัญหา 111 ชิ้นงานในอัลกอริทึม COIN เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 381

รูปที่ 8.25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 382

รูปที่ 8.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 383

รูปที่ 8.27 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ระหว่างหลังการสร้างประชากรและหลังมิวเตชันขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 383

รูปที่ 8.28 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรของขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 384

รูปที่ 8.29 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชันของขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 385

รูปที่ 8.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 385

รูปที่ 8.31 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 386

รูปที่ 8.32 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 387

รูปที่ 8.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 387

รูปที่ 8.34 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 388

รูปที่ 8.35 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ระหว่างหลังการสร้างประชากรและหลังมิวเตชันขนาดปัญหา 61 ชิ้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 389

รูปที่ 8.36 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ระหว่างหลังการสร้างประชากรและหลังมิตต์ชั้นขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 389

รูปที่ 8.37 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการสร้างประชากรเมื่อกำหนดให้วิธีการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิตต์ชั้นวิธี 3-Opt ในอัลกอริทึม M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 390

รูปที่ 8.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 391

รูปที่ 8.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 391

รูปที่ 8.40 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 392

รูปที่ 8.41 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 392

รูปที่ 8.42 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 393

รูปที่ 8.43 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set .. 394

รูปที่ 8.44 กราฟแสดงผลอิทธิพลของปัจจัยฮิวริสติกขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 394

รูปที่ 8.45 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของระดับปัจจัยฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II ในปัญหา 19 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 395

รูปที่ 8.46 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 396

รูปที่ 8.47 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 396

รูปที่ 8.49	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..	397
รูปที่ 8.50	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีวิวิธวิธีวิธติคและจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II ขนาดปัญหา 36ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	398
รูปที่ 8.51	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีวิวิธวิธีวิธติคกับจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II ขนาดปัญหา 36ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	398
รูปที่ 8.52	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีวิวิธวิธีวิธติคกับความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงขนาดปัญหา 36ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	399
รูปที่ 8.53	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II และความน่าจะเป็นในการเลือกสตริง ปัญหา 36 ชั้นงานกรณีมีการกำหนดวิธีวิวิธวิธีวิธติค ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับNSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	399
รูปที่ 8.54	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีวิวิธวิธีวิธติค ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II ในปัญหา 36 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	400
รูปที่ 8.55	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	401
รูปที่ 8.56	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยวิธีวิวิธวิธีวิธติคและความน่าจะเป็นในการคัดเลือกสตริงขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	401
รูปที่ 8.57	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีวิวิธวิธีวิธติคกับจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-IIขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	402

รูปที่ 8.58	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตรีง กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริติกและจำนวนเงินเนอเรชั่น NSGA-II ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II ปัญหา 36 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	403
รูปที่ 8.59	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set ..	404
รูปที่ 8.60	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	405
รูปที่ 8.61	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมระหว่างปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	405
รูปที่ 8.62	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น NSGA-II และความน่าจะเป็นในการเลือกสตรีงปัญหา 61 ชั้นงาน กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	406
รูปที่ 8.63	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	407
รูปที่ 8.64	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตรีงคำตอบ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	407
รูปที่ 8.65	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set ..	409
รูปที่ 8.66	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 3 ปัจจัย ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	409

รูปที่ 8.67 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีฮิวริสติกกับจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 410

รูปที่ 8.68 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยวิธีฮิวริสติกกับความน่าจะเป็นในการเลือกงานขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 410

รูปที่ 8.69 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 411

รูปที่ 8.70 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 412

รูปที่ 8.71 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 413

รูปที่ 8.72 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบและวิธีฮิวริสติกขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 414

รูปที่ 8.73 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 414

รูปที่ 8.74 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีฮิวริสติก กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 415

รูปที่ 8.75 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 416

รูปที่ 8.76	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	416
รูปที่ 8.77	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	417
รูปที่ 8.78	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบและวิธีอีวิริสติกขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	418
รูปที่ 8.79	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	418
รูปที่ 8.80	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีอีวิริสติก กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	419
รูปที่ 8.81	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	420
รูปที่ 8.82	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	420
รูปที่ 8.83	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	421
รูปที่ 8.84	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชั่น M-NSGA-II และวิธีอีวิริสติกขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	421

รูปที่ 8.85	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	422
รูปที่ 8.86	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงื่อนไขบน M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	423
รูปที่ 8.87	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 19 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	423
รูปที่ 8.88	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	425
รูปที่ 8.89	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 19 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	425
รูปที่ 8.90	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 36 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	426
รูปที่ 8.91	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงื่อนไขบน M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set	427
รูปที่ 8.92	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	427
รูปที่ 8.93	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	428

รูปที่ 8.94	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	429
รูปที่ 8.95	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	429
รูปที่ 8.96	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	430
รูปที่ 8.97	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set	430
รูปที่ 8.98	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	431
รูปที่ 8.99	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	432
รูปที่ 8.100	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution	433
รูปที่ 8.101	กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II และวิธีฮิวริสติก ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set.....	433
รูปที่ 8.102	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	434
รูปที่ 8.103	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกและความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ^{ชั้นงาน} เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set.....	435

- รูปที่ 8.104 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีวิวิธิตก และความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 36 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 435
- รูปที่ 8.105 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 437
- รูปที่ 8.106 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชัน M-NSGA-II และวิธีวิวิธิตก ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 438
- รูปที่ 8.107 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานใน อัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 438
- รูปที่ 8.108 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชัน M-NSGA-II กรณีมีการ กำหนดวิธีวิวิธิตก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 439
- รูปที่ 8.109 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีวิวิธิตก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 439
- รูปที่ 8.110 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณี มีการกำหนดวิธีวิวิธิตก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 440
- รูปที่ 8.111 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 441
- รูปที่ 8.112 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยจำนวนเจนเนอเรชัน M-NSGA-II และวิธีวิวิธิตก ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 441

รูปที่ 8.113 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานใน อัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 442

รูปที่ 8.114 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการ กำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 442

รูปที่ 8.115 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริ สติกในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงานเมื่อตัวแปร ตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set..... 443

รูปที่ 8.116 ผลการวิเคราะห์ของระดับความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณีมีการ กำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II ปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 443

รูปที่ 8.117 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 444

รูปที่ 8.118 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 446

รูปที่ 8.119 กราฟแสดงอิทธิพลของปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II และวิธีฮิวริสติก ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปร ตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 446

รูปที่ 8.120 กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานใน อัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 447

รูปที่ 8.121 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยจำนวนเงินเนอเรชั่น M-NSGA-II กรณีมีการ กำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II ปัญหา 111 ชั้น งานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 448

รูปที่ 8.122 ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริ สติกในอัลกอริทึม COIN รวมกับ M-NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปร ตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set..... 448

รูปที่ 8.123	ผลการวิเคราะห์ของระดับความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติก ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงานเมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to the Pareto-optimal set 449
รูปที่ 8.124	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 450
รูปที่ 8.125	กราฟแสดงผลอิทธิพลร่วมของปัจจัยทั้ง 4 ปัจจัย ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 450
รูปที่ 8.126	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ กรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกและจำนวนเจนเนอเรชัน M-NSGA-II ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 451
รูปที่ 8.127	ผลการวิเคราะห์ของระดับปัจจัยความน่าจะเป็นในการเลือกสตริงคำตอบกรณีมีการกำหนดวิธีฮิวริสติกและจำนวนเจนเนอเรชัน M-NSGA-II ในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II ปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to the Pareto-optimal set 452
รูปที่ 8.128	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม COIN ร่วมกับ M-NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution 452
รูปที่ 9.1	การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์อัลกอริทึมทั้งหมด ปัญหาขนาด 19 ชั้นงาน 471
รูปที่ 9.2	เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึม ขนาดปัญหา 19 ชั้นงาน 472
รูปที่ 9.3	ตัวอย่างคำตอบการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานเมื่อปัญหาขนาด 19 ชั้นงาน 472
รูปที่ 9.4	การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์อัลกอริทึมทั้งหมด ปัญหาขนาด 36 ชั้นงาน 483
รูปที่ 9.5	เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึม ขนาดปัญหา 36 ชั้นงาน 484
รูปที่ 9.6	ตัวอย่างคำตอบการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานเมื่อปัญหาขนาด 36 ชั้นงาน 485
รูปที่ 9.7	การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์อัลกอริทึมทั้งหมด ปัญหาขนาด 61 ชั้นงาน 504
รูปที่ 9.8	เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึม ขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน 505
รูปที่ 9.9	ตัวอย่างคำตอบการจัดสรรชั้นงานลงสถานีงานเมื่อปัญหาขนาด 61 ชั้นงาน 505
รูปที่ 9.10	การเปรียบเทียบค่าวัตถุประสงค์อัลกอริทึมทั้งหมด ปัญหาขนาด 111 ชั้นงาน 533
รูปที่ 9.11	เวลาที่ใช้ในการคำนวณในแต่ละอัลกอริทึม ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน 534

รูปที่ 9.12	ตัวอย่างคำตอบการจัดสรรชิ้นงานลงสถานีงานเมื่อปัญหาขนาด 111 ชิ้นงาน	535
รูปที่ ง.1	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Overall Precedence Diagram) ของ ปัญหาตัวอย่างขนาด 19 ชิ้นงาน.....	646
รูปที่ ง.2	การกำหนดค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg ด้วยมือ.....	656
รูปที่ ง.3	วงล้อสุ่มในส่วนของกระบวนการอัลกอริทึม M-NSGA-II	676
รูปที่ ง.4	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 1, 2.....	678
รูปที่ ง.5	การครอสโอเวอร์วิธี Weight mapping crossover สตริงคำตอบคู่ที่ 3, 4.....	679
รูปที่ ง.6	วิธี Reciprocal Exchange Mutation	681
รูปที่ ง.7	วงล้อสุ่มก่อนทำการค้นหาเฉพาะที่หลังการมิวเตชัน	685
รูปที่ ง.8	การทำการค้นหาเฉพาะก่อนทำการคัดเลือกวิธี 2-Opt หลังมิวเตชันด้วยมือ	686