



246189

การประยุกต์ใช้แบบเมทริกซ์อัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจับสมจุดที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ในสมแบบลักษณะตัวชี้ที่เปลี่ยนงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี

นางสาวสุชาดา กิจอ่าน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของระดับปริญญาโทตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

600251964

ห้องสมุดงานวิจัย สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ



246189

การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีนงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี



นางสาวสุชาดา คีตอ่าน

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2553

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



5 1 7 0 5 0 1 0 2 1

APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MUTII-OBJECTIVE BALANCING
PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE WITH PARALLEL
WORKSTATIONS IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS

Miss Suchada Kid-Arn

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 2010

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัด
สมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์
ผสมแบบลักษณะตัวคู่ที่มีสถานีนงานแบบขนานในระบบผลิต
แบบทันเวลาพอดี

โดย

นางสาวสุชาดา คัดอ่าน

สาขาวิชา

วิศวกรรมอุตสาหการ

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

รองศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้บัณฑิตวิทยาลัย
หนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.บุญสม เลิศฤทธิ์วงษ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ ดร. ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ)

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

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เภาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย วิจิตรนิข)

สุชาดา คัดอ่าน : การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบผลิตภัณฑ์ผสมแบบลักษณะตัวยูที่มีสถานีนงานแบบขนานในระบบผลิตแบบทันเวลาพอดี. (APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR MUTII-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED ASSEMBLY LINE WITH PARALLEL WORKSTATIONS IN JUST IN TIME PRODUCTION SYSTEMS) อ. ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : รศ. ดร. ปารเมศ ชูติมา, 671 หน้า.

246189

อุตสาหกรรมในปัจจุบันมีการปรับเปลี่ยนกลยุทธ์ในการบริหารตลอดเวลา เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้า ดังนั้นในงานวิจัยได้ทำการพัฒนาอัลกอริทึมใหม่ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลที่มีหลายวัตถุประสงค์ที่ชื่อว่า การหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge : PSONK) และได้ทำการพัฒนารวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการหาค่าที่เหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ (M-PSONK) เพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูบนสายการประกอบผลิตภัณฑ์แบบผสมที่มีสถานีนงานแบบขนาน โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพิจารณา (1) จำนวนสถานีทำงานน้อยที่สุด (2) ความสมดุลระหว่างสถานีนงาน และ (3) ความสมดุลภายในสถานีนงาน ที่หาได้จากอัลกอริทึม COMSOAL อัลกอริทึม NSGA-II วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาค วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมที่ เพื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบจากอัลกอริทึมทั้งหมดจากตัวชี้วัดสมรรถนะ ในด้านคำตอบที่มีการลู่เข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดที่แท้จริง ด้านการกระจายของกลุ่มคำตอบที่หาได้ และด้านอัตราส่วนของจำนวนกลุ่มคำตอบที่หาได้เทียบกับเท่ากับกลุ่มคำตอบที่แท้จริง ทำให้พบว่าวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบรวมกับเมมเมติกอัลกอริทึมจะมีประสิทธิภาพดีที่สุด

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก.....
 ปีการศึกษา 2553

#5170501021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

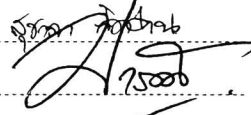
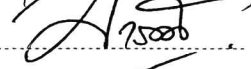
KEYWORDS : U-SHAPED ASSEMBLY LINE / PARALLEL WORKSTATION / GENETIC
ALGORITHM / PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

SUCHADA KID-ARN : APPLICATION OF MEMETIC ALGORITHMS FOR
MUTII-OBJECTIVE BALANCING PROBLEM ON MIXED-MODEL U-SHAPED
ASSEMBLY LINE WITH PARALLEL WORKSTATIONS IN JUST IN TIME
PRODUCTION SYSTEMS. ADVISOR : ASSOC.PROF. PARAMES CHUTIMA,
Ph.D. Eng, 671 pp.

246189

Industries have to change manufacturing strategies continuously to promptly meet the requirement of customers. This paper presents a new evolutionary method called Particle Swam Optimization Algorithms with Negative Knowledge (PSONK) for multi-objectives and developed with a Memetic algorithm (M-PSONK), solve balancing problems on mixed-model U-shaped assembly lines with parallel workstation. The objective was to consider (1) minimum number workstations, (2) balance between workstations and (3) balance the workloads within each workstation. Obtained from COMSOAL, NSGA-II, Particle Swarm Optimization Algorithm, Particle Swarm Optimization Algorithm with Negative Knowledge and with Memetic algorithm, compare results all algorithms form 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. We find that in M-PSONK gives the best results.

Department : Industrial Engineering
Field of Study : Industrial Engineering
Academic Year : 2010

Student's Signature 
Advisor's Signature 

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สามารถเสร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความอนุเคราะห์และการช่วยเหลือจากศาสตราจารย์ ดร. ปารเมศ ชูติมา ซึ่งเป็นอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่คอยให้คำแนะนำและปรับปรุงรายละเอียด ตลอดจนช่วยแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความรักและเอาใจใส่ จนทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จลุล่วง

ขอขอบคุณคุณภานุวัฒน์ ไธพาร์วิวัฒน์ชัย ที่ได้คอยช่วยสอนและให้คำแนะนำต่างๆ ในการเขียนโปรแกรมจนสมบูรณ์ ขอขอบคุณ นางสาวปาลิดา นิยมคล้าย และ นางสาวจาริตา เรืองฤทธิ์ ที่คอยช่วยเหลือในการทำวิทยานิพนธ์ และขอขอบคุณนายบุญญกานต์ ตั้งบุญญศิลป์ ที่คอยเป็นแรงใจผลักดันให้วิทยานิพนธ์นี้เสร็จสมบูรณ์

สุดท้ายนี้ต้องกราบขอบพระคุณบิดา มารดา เพื่อนๆ และน้องๆ ทุกคนที่คอยสนับสนุนและเป็นกำลังใจให้เสมอมา ทำให้วิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้ด้วยดี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญ.....	ช
สารบัญตาราง.....	ฎ
สารบัญภาพ.....	พ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย.....	3
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	6
1.5 วิธีดำเนินการวิจัย.....	6
1.6 ลำดับขั้นตอนในการเสนอผลการวิจัย.....	6
2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....	9
2.1.1 ลักษณะของสายการประกอบ.....	9
2.1.2 ประเภทของสายงานประกอบ.....	12
2.1.3 หลักการจัดสมดุลสายงานการประกอบ.....	14
2.1.4 การจัดสมดุลสายการประกอบแบบผลิตภัณฑ์ผสม.....	17
2.1.5 วัตถุประสงค์ที่ใช้ในการจัดสมดุลสายการประกอบ.....	18
2.1.6 การหาค่าเหมาะสมที่สุด.....	20
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	24
2.3 สรุป.....	31
3 ทฤษฎีอัลกอริทึม COMSOAL.....	32
3.1 หลักการวิธีอัลกอริทึม COMSOAL.....	32

บทที่		หน้า
3.2	วิธีอัลกอริทึม COMSOAL.....	32
3.3	ขั้นตอนการทำงานของวิธี COMSOAL ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุล สายการประกอบที่มีหลายวัตถุประสงค์บนสายการประกอบแบบตัวยูที่มี สถานีงานแบบขนาน.....	33
3.4	ตัวอย่างการนำวิธี COMSOAL อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุล สายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน.....	35
3.5	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	55
3.6	สรุป.....	55
4	ทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีเจเนติกอัลกอริทึม (NSGA-II).....	56
4.1	แนวคิดอัลกอริทึม NSGA-II.....	56
4.2	ขั้นตอนการทำงานของอัลกอริทึม NSGA -II ในการแก้ปัญหาสมดุลสาย การประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน.....	56
4.3	ตัวอย่างการนำวิธี NSGA-II อัลกอริทึมไปใช้ในการแก้ปัญหาสมดุลสาย การประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน.....	66
4.4	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	106
4.5	การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	107
4.6	การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	109
4.7	การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	132
4.8	สรุป.....	132
5	วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาค.....	134
5.1	แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาค.....	134
5.2	หลักการวิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาค.....	134
5.3	ขั้นตอนการทำงานของวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคแบบไม่ ต่อเนื่อง ในการแก้ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มีสถานี งานขนาน.....	135
5.4	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาค ในการ แก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานีงานแบบขนาน..	138

บทที่		หน้า
	5.5 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลอง.....	176
	5.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment).....	177
	5.7 การวิเคราะห์ผลการทดลอง.....	180
	5.8 การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	191
	5.9 สรุป.....	191
6	การหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ.....	193
	6.1 แนวคิดวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ.....	193
	6.2 ขั้นตอนการทำงานการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้ เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มีสถานี งานแบบขนาน.....	193
	6.3 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ ความรู้เชิงลบในการแก้ปัญหาสมดุลสายการประกอบลักษณะตัวยูที่มี สถานีงานแบบขนาน.....	198
	6.4 พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสม แบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบ.....	260
	6.5 การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	261
	6.6 สรุป.....	262
7	การประยุกต์ใช้เมมเมติกอัลกอริทึม.....	263
	7.1 เมมเมติกอัลกอริทึม.....	263
	7.2 การค้นหาเฉพาะที่.....	264
	7.3 การหาค่าเหมาะสมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติก อัลกอริทึม.....	266
	7.4 ขั้นตอนวิธีการอัลกอริทึมแบบฟุ้งอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับ เมมเมติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบตัวยูที่มี สถานีงานแบบขนาน.....	266

บทที่	ญ	หน้า
7.5	ตัวอย่างการประยุกต์ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในการแก้ปัญหาสมมูลสายการประกอบลักษณะตัวที่มีสถานงานแบบขนาน.....	272
7.6	พารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองในการทดลองด้วยวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยใช้ความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม.....	351
7.7	การเปรียบเทียบผลการทดลอง.....	352
7.8	สรุป.....	353
8	ผลการเปรียบเทียบการจัดสมมูลสายการประกอบลักษณะตัวที่มีสถานงานแบบขนาน.....	354
8.1	จำนวนเจนเนอเรชัน.....	354
8.2	ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง.....	352
8.2.1	ปัญหาขนาด 11 ชิ้นงาน.....	357
8.2.2	ปัญหาขนาด 25 ชิ้นงาน.....	363
8.2.3	ปัญหาขนาด 61 ชิ้นงาน.....	370
8.2.4	ปัญหาขนาด 111 ชิ้นงาน.....	376
8.2.5	ปัญหาขนาด 205 ชิ้น.....	382
8.3	สรุป.....	390
9.	บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	394
9.1	สรุปงานวิจัย.....	394
9.2	ข้อเสนอแนะ.....	398
	รายการอ้างอิง.....	400
	ภาคผนวก.....	406
	ภาคผนวก ก รายละเอียดของปัญหาตัวอย่าง.....	407
	ภาคผนวก ข ผลลัพธ์ที่ได้จากการหาคำตอบในอัลกอริทึม.....	425
	ภาคผนวก ค การคำนวณตัวชี้วัดสมรรถนะและตัวอย่าง.....	643
	ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....	671

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1.1	แสดงรายละเอียดของปัญหากรณีศึกษาในงานวิจัย.....	3
2.1	ตารางแสดงการจำแนกกลุ่มของวัตถุประสงค์ในสายการประกอบตัวยูที่มี สถานีงานขนาน.....	19
3.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	37
3.2	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	38
3.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	38
3.4	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	39
3.5	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	40
3.6	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	41
3.7	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	41
3.8	การคัดเลือกลำดับชั้นงานที่ 1.....	42
3.9	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	43
3.10	ตารางการหาค่า s_{km}	45
3.11	ตารางการคำนวณค่า B_w	46
3.12	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	47
3.13	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	47
3.14	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	48
3.15	การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	50
3.16	สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	51
3.17	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	51
3.18	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	52
3.19	การรวมสตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	53
3.20	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	53

ตารางที่		หน้า
3.21	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	54
4.1	ตัวอย่างตารางแสดงการสร้างวงล้อสุ่ม.....	59
4.2	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	61
4.3	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	68
4.4	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font). ..	68
4.5	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ..	69
4.6	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ..	
	ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	71
4.7	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ..	
	ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	72
4.8	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ..	
	ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	73
4.9	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ..	
	ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	73
4.10	การคัดเลือกลำดับชั้นงานที่ 1.....	74
4.11	การคัดเลือกผลงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	75
4.12	ตารางการหาค่า s_{km}	77
4.13	ตารางการคำนวณค่า B_w	78
4.14	ผลงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	79
4.15	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	79
4.16	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	80
4.17	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	81
4.18	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	81
4.19	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	82
4.20	การสร้างวงล้อสุ่มของปัญหาตัวอย่าง 11 ชั้นงาน.....	82
4.21	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	83
4.22	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	83
4.23	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอบสโรวอร์.....	84
4.24	ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเตชัน.....	86

ตารางที่		หน้า
4.25	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเทชัน.....	87
4.26	สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	88
4.27	ลำดับชั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	88
4.28	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	89
4.29	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	90
4.30	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อย ของค่า Crowding Distance.....	91
4.31	การคัดเลือกลงสถานีนงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	93
4.32	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	94
4.33	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	95
4.34	การเรียงลำดับค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ 2 ใน Front ที่ 1.....	96
4.35	ค่า Crowding Distance ของสตริงคำตอบ.....	96
4.36	การแปลงค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness).....	97
4.37	การสร้างวงล้อ roulette ของปัญหาตัวอย่าง 11 ชั้นงาน.....	97
4.38	วิธี Binary Tournament Selection สำหรับการคัดเลือกสตริงคำตอบ.....	98
4.39	สตริงคำตอบที่ถูกเลือกมาทำการค้นหาเฉพาะที่ก่อนทำการคัดเลือก.....	98
4.40	สตริงค่าสิทธิในการเลือกงานที่ถูกเลือกทำการครอสโอเวอร์.....	99
4.41	ผลการคัดเลือกสตริงคำตอบเพื่อทำการมิวเทชัน.....	101
4.42	สตริงคำตอบหลังการทำการมิวเทชัน.....	102
4.43	สตริงคำตอบพ่อแม่รวมกับสตริงคำตอบรุ่นลูก.....	102
4.44	ลำดับชั้นงานของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	103
4.45	ค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของสตริงคำตอบที่ทำการรวมกัน.....	103
4.46	ค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) และค่า Crowding Distance.....	104
4.47	เรียงค่าจากน้อยไปมากของค่า Dummy Fitness และเรียงค่าจากมากไปน้อย ของค่า Crowding Distance.....	105
4.48	รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง.....	109
4.49	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II..	113
4.50	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II..	116

ตารางที่	หน้า
4.51 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II..	120
4.52 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	127
4.53 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II	131
4.54 ค่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์และมิวเทชัน.....	133
5.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	140
5.2 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font).	141
5.3 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back)	141
5.4 ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 1.....	142
5.5 ตารางตำแหน่งของฝูงที่ 2.....	143
5.6 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	144
5.7 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	144
5.8 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	145
5.9 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	146
5.10 การคัดเลือกลำดับชั้นงานในสตริงที่ 1.....	146
5.11 การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	147
5.11 การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ).....	148
5.12 ตารางการหาค่า s_{km}	150
5.13 ตารางการคำนวณค่า B_w	151
5.14 ผลงานงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	152
5.15 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	152
5.16 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1.....	153
5.17 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	153
5.18 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	154
5.19 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	154
5.20 ค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	155

ตารางที่	หน้า
5.21	Non-Dominated Sorting ของ Global..... 156
5.22	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในชั้นที่ 1..... 157
5.23	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในชั้นที่ 2..... 158
5.24	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบในชั้นที่ 3..... 158
5.25	ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 159
5.26	ตารางตำแหน่งของสตริงคำตอบก่อนหน้าในฝูงที่ 1..... 159
5.27	ความน่าจะเป็นในตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 160
5.28	ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1..... 160
5.29	ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1..... 161
5.30	ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2..... 162
5.31	ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2..... 162
5.32	ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2..... 163
5.33	การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1..... 164
5.33	การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)..... 165
5.34	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์..... 166
5.35	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 1..... 166
5.36	จำนวนสถานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1..... 167
5.37	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1..... 167
5.38	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2..... 168
5.39	จำนวนสถานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2..... 168
5.40	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2..... 169
5.41	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์..... 170
5.42	จำนวนสถานที่น้อยที่สุดจากประชากรทั้งหมด..... 170
5.43	Non-Dominated Sorting ของ Global..... 171
5.44	ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 1..... 173
5.45	ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 1..... 173
5.46	ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 1..... 174
5.47	ตาราง Velocity Matrix ในฝูงที่ 2..... 175
5.48	ตารางตำแหน่งอนุภาคในฝูงที่ 2..... 175

ตารางที่	หน้า
5.49	ตาราง Sigmoid ในฝูงที่ 2..... 176
5.50	รายละเอียดของแต่ละปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง..... 179
5.51	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 11 ชั้นงานในวิธีการหาค่า เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 182
5.52	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 25 ชั้นงานในวิธีการหาค่า เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 183
5.53	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 61 ชั้นงานในวิธีการหาค่า เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 185
5.54	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในวิธีการหาค่า เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 188
5.55	พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดขนาดปัญหา 205 ชั้นงานในวิธีการหาค่า เหมาะสมแบบฝูงอนุภาค..... 190
6.1	เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน..... 200
6.2	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font). 200
6.3	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) 201
6.4	ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability)..... 201
6.5	ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability)..... 202
6.6	ความน่าจะเป็นในการถูกเลือกงาน..... 203
6.7	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1..... 204
6.8	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1..... 204
6.9	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2..... 205
6.10	ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2..... 206
6.11	การคัดเลือกลำดับชั้นงานในสตริงที่ 1..... 206
6.12	การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1..... 207
6.12	การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1 (ต่อ)..... 208

ตารางที่	หน้า
6.13 ตารางการหาค่า s_{km}	210
6.14 ตารางการคำนวณค่า B_w	211
6.15 สถานะงานในสตริงคำตอบที่ 1	212
6.16 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	212
6.16 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)	213
6.17 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	214
6.18 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2	214
6.19 จำนวนสถานะงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2	215
6.20 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	215
6.21 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1	216
6.22 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2	217
6.23 จำนวนสถานะงานที่มากที่สุดที่สุดในฝูงที่ 2	217
6.24 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2	218
6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	218
6.25 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ)	219
6.26 จำนวนสถานะงานที่น้อยที่สุด	219
6.27 Non-Dominated Sorting ของ Global	220
6.28 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์	220
6.29 จำนวนสถานะงานที่มากที่สุด	220
6.30 Non-Dominated Sorting ของ Global	221
6.31 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	223
6.32 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	224
6.33 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	225
6.34 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1	226

ตารางที่	หน้า
6.35 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	227
6.36 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	230
6.37 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	232
6.38 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	234
6.39 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	235
6.40 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	236
6.41 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	237
6.42 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	237
6.43 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	238
6.44 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	238
6.45 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ฝูงที่ 1.....	238
6.46 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	239
6.47 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	239
6.48 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	240
6.49 การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	241
6.50 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	242
6.51 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	243
6.52 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	244
6.53 จำนวนสถานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2.....	244
6.54 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	245
6.55 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	246
6.56 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ในฝูงที่ 2.....	246

ตารางที่	หน้า
6.57 จำนวนสถานียานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2.....	247
6.58 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	247
6.59 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	248
6.60 จำนวนสถานียานที่น้อยที่สุด.....	248
6.61 Non-Dominated Sorting ของ Global.....	249
6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์.....	249
6.62 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ (ต่อ).....	250
6.63 จำนวนสถานียานที่มากที่สุด.....	250
6.64 Non-Dominated Sorting ของ Global.....	251
6.65 Non-Dominated Sorting ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด.....	253
6.66 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	253
6.67 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.68 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.69 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	254
6.70 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	255
6.71 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	256
6.72 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	256
6.73 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	257
6.74 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	257
6.75 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	258

ตารางที่	หน้า
6.76 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	259
6.77 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	260
7.1 เวลาในการผลิตสินค้าชนิด A, B และ C ในแต่ละชั้นงาน.....	274
7.2 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font). ..	274
7.3 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ..	275
7.4 ค่าความน่าจะเป็นเริ่มต้น (First Walk Matrix Probability).....	275
7.5 ตารางความน่าจะเป็นร่วม (Matrix Join Probability).....	276
7.6 การสร้างวงล้อสุ่มในการสุ่มเลือกงาน.....	277
7.7 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	278
7.8 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 1.....	278
7.9 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหน้า (Precedence Matrix Font) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	279
7.10 ความสัมพันธ์ของชั้นงานในการทำงานข้างหลัง (Precedence Matrix Back) ที่ทำการปรับปรุงครั้งที่ 2.....	280
7.11 การคัดเลือกลำดับชั้นงานที่ 1.....	280
7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt.....	282
7.12 สตริงคำตอบที่ได้จากการค้นหาเฉพาะที่ด้วยวิธี 2-Opt (ต่อ).....	283
7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่.....	284
7.13 สตริงคำตอบที่ได้จากการซ่อมแซมหลังจากการค้นหาเฉพาะที่ (ต่อ).....	285
7.14 การคัดเลือกผลงานงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	286
7.15 ตารางการหาค่า s_{km}	288
7.16 ตารางการคำนวณค่า B_w	289
7.17 สถานีงานในสตริงคำตอบที่ 1.....	290
7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด.....	290
7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ).....	291
7.18 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค์ทั้ง 3 วัตถุประสงค์ของทั้งหมด (ต่อ).....	292

ตารางที่		หน้า
7.19	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 1.....	292
7.19	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 1 (ต่อ).....	293
7.20	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1.....	293
7.21	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	294
7.22	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 2.....	295
7.23	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 2.....	296
7.24	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	297
7.25	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 1.....	297
7.25	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 1 (ต่อ).....	298
7.26	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดที่สุดในฝูงที่ 1.....	298
7.27	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	299
7.28	ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงคในฝูงที่ 2.....	300
7.29	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดที่สุดในฝูงที่ 2.....	301
7.30	Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	302
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงคทั้ง 3 วัตถุประสงคทั้งหมด.....	302
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงคทั้ง 3 วัตถุประสงคทั้งหมด (ต่อ).....	303
7.31	ตารางการคำนวณวัตถุประสงคทั้ง 3 วัตถุประสงคทั้งหมด (ต่อ).....	304
7.32	จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด.....	304
7.33	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	305
7.33	Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ).....	306
7.34	ตารางการคำนวณวัตถุประสงคทั้ง 3 วัตถุประสงคทั้งหมด.....	306
7.34	ตารางการคำนวณวัตถุประสงคทั้ง 3 วัตถุประสงคทั้งหมด (ต่อ).....	307
7.35	จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด.....	308
7.36	Non-Dominated Sorting ของ Global.....	309
7.36	Non-Dominated Sorting ของ Global (ต่อ).....	309
7.37	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	312
7.38	ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	312

ตารางที่	หน้า
7.39 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	313
7.40 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	314
7.41 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	315
7.42 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	316
7.43 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	318
7.44 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	319
7.45 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	321
7.46 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	322
7.47 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	324
7.48 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	325
7.49 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	326
7.50 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	327
7.51 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	328
7.52 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	328
7.53 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	329

ตารางที่	หน้า
7.54 ตารางความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	329
7.55 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	329
7.56 ตารางทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	330
7.57 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	330
7.58 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	331
7.59 การคัดเลือกลงสถานีงานของสตริงคำตอบที่ 1.....	332
7.60 ตารางการคำนวณค่าวัตถุประสงค้ทั้ง 3 วัตถุประสงค้.....	333
7.61 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค้ในฝูงที่ 1.....	334
7.62 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุดในฝูงที่ 1.....	334
7.63 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	335
7.64 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	336
7.65 ค่าจากการคำนวณวัตถุประสงค้ในฝูงที่ 1.....	337
7.66 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุดที่สุดในฝูงที่ 1.....	337
7.67 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 1.....	338
7.68 Non-Dominated Sorting ของ Local ในฝูงที่ 2.....	338
7.69 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค้ทั้ง 3 วัตถุประสงค้.....	339
7.70 จำนวนสถานีงานที่น้อยที่สุด.....	339
7.71 Non-Dominated Sorting ของ Global.....	340
7.72 ตารางการคำนวณวัตถุประสงค้ทั้ง 3 วัตถุประสงค้.....	341
7.73 จำนวนสถานีงานที่มากที่สุด.....	341
7.74 Non-Dominated Sorting ของ Global.....	342
7.75 สตริงคำตอบที่ถูกเลือกให้เป็นสตริงคำตอบที่ดีที่สุดของประชากรทั้งหมด.....	343
7.76 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	344
7.77 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	344
7.78 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	345

ตารางที่	หน้า
7.79 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 1.....	345
7.80 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	346
7.81 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	346
7.82 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	347
7.83 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 1.....	347
7.84 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 1.....	348
7.85 ตารางการปรับปรุงความน่าจะเป็นสำหรับการเลือกงานอันดับแรก (First Walk Matrix Probability) ของฝูงที่ 2.....	349
7.86 ตารางการปรับปรุงทิศทางการเคลื่อนที่ของอนุภาค (Velocity Matrix) ของฝูงที่ 2.....	350
7.87 ตาราง Joint Probability Matrix ของฝูงที่ 2.....	351
8.1 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	357
8.2 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้อัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	358
8.3 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	358
8.4 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	359
8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	359
8.5 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 11 ชั้นงาน (ต่อ).....	360
8.6 ผลของตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 11 ชั้นงาน.....	362
8.7 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	363

ตารางที่	หน้า
8.8 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	364
8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	364
8.9 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 25 ชั้นงาน (ต่อ).....	365
8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	365
8.10 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 25 ชั้นงาน (ต่อ).....	366
8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	366
8.11 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 25 ชั้นงาน (ต่อ).....	367
8.12 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 25 ชั้นงาน.....	369
8.13 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	370
8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	370
8.14 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	371
8.15 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	371
8.16 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	372
8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	372
8.17 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 61 ชั้นงาน (ต่อ).....	373
8.18 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 61 ชั้นงาน.....	375
8.19 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	376
8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	376
8.20 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 111 ชั้นงาน (ต่อ)...	377

ตารางที่	หน้า
8.21 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องใน ปัญหา 111 ชั้นงาน.....	377
8.22 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ ในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	378
8.23 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิง ลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	379
8.24 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 111 ชั้นงาน.....	381
8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ชั้นงาน.....	382
8.25 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม COMSOAL ในปัญหา 205 ชั้นงาน (ต่อ).....	383
8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ชั้นงาน.....	383
8.26 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีอัลกอริทึม NSGA-II ในปัญหา 205 ชั้นงาน (ต่อ)...	384
8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องใน ปัญหา 205 ชั้นงาน.....	384
8.27 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคที่ไม่ต่อเนื่องใน ปัญหา 205 ชั้นงาน (ต่อ).....	385
8.28 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้การหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิงลบ ในปัญหา 205 ชั้นงาน.....	385
8.29 ผลลัพธ์ของคำตอบที่ใช้วิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาคโดยความรู้เชิง ลบร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึมในปัญหา 205 ชั้นงาน.....	386
8.30 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหา 205 ชั้นงาน.....	389
8.31 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหามานกลาง.....	391
8.32 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหามานกลาง.....	392
8.33 ค่าตัวชี้วัดสมรรถนะในปัญหามานกลาง.....	393

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1	ความสัมพันธ์ของภาระงาน..... 10
2.2	สายการประกอบแบบเส้นตรง..... 10
2.3	สายการประกอบด้วย..... 11
2.4	สายการประกอบด้วยที่มีสถานงานแบบขนาน..... 11
2.5	การแยกสายการประกอบตามจำนวนชนิดของสินค้าที่ทำการผลิต..... 12
2.6	แผนผังแสดงการจำแนกปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ..... 15
2.7	แผนผังแสดงการจำแนกข้อจำกัดเฉพาะและความแตกต่างของวัตถุประสงคใน ปัญหาการจัดสมดุลสายการประกอบ..... 16
2.8	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956)..... 18
2.9	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุประสงค์ที่มีความสัมพันธ์เชิงบวก..... 20
2.10	ลักษณะคำตอบวัตถุประสงค์ 2 วัตถุที่มีความสัมพันธ์เชิงลบ..... 20
2.11	กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบ..... 22
2.12	วิธีการ Non-dominate Sorting ของ Goldberg (1989)..... 23
2.13	การหาค่า Crowding Distance ใน Front ที่ 1 24
3.1	ขั้นตอนการทำงานของ COMSOAL..... 35
3.2	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956)..... 36
3.3	สายการประกอบด้วยที่มีสถานงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1..... 43
3.4	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)..... 48
3.5	สายการประกอบด้วยที่มีสถานงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1..... 50
3.6	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)..... 52
3.7	ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989)..... 54
4.1	การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น..... 57
4.2	การสร้างค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority)..... 58
4.3	วงล้อสุ่ม..... 60
4.4	การกำหนดค่าน้ำหนักให้แก่สตริงคำตอบพ่อและแม่..... 62

ภาพที่	หน้า
4.5 การแลกเปลี่ยนค่าน้ำหนักของสตริงคำตอบของพ่อแม่.....	62
4.6 วิธี Reciprocal Exchange Mutation.....	63
4.7 ขั้นตอนการทำงานของ Non-Dominated Sorting Genetic Algorithm II (NSGA-II).....	65
4.8 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ขั้นตอนของ Jackson (1956).....	67
4.9 การสร้างกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority) เริ่มต้น.....	69
4.10 สตริงกำหนดค่าสิทธิในการเลือกงาน (Priority).....	70
4.11 สายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	75
4.12 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989).....	80
4.13 วงล้อสุ่มของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นตอน.....	83
4.14 การโครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1.....	85
4.15 การโครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2.....	85
4.16 วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 1.....	87
4.17 วิธี Reciprocal Exchange Mutation ในสตริงคำตอบที่ 4.....	87
4.18 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน.....	90
4.19 สายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	94
4.20 ค่า Dummy Fitness วิธีการจัดอันดับแบบ Goldberg (1989).....	95
4.21 วงล้อสุ่มของปัญหาตัวอย่าง 11 ขั้นตอน.....	97
4.22 การโครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 1.....	99
4.23 การโครอสโอเวอร์วิธี WMX ในสตริงคำตอบคู่ที่ 2.....	100
4.24 วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 3.....	101
4.25 วิธี Reciprocal Exchange Mutation สตริงที่ 4.....	101
4.26 กำหนดค่าความแข็งแรงไม่แท้จริง (Dummy Fitness Value) ของสตริงคำตอบรวมกัน.....	104
4.27 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นตอน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	110

ภาพที่	หน้า
4.28 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	110
4.29 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	111
4.30 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ชิ้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	111
4.31 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 11 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	112
4.32 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเทชัน (Pm) ของ ปัญหา 11 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	112
4.33 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	112
4.34 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 25 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	114
4.35 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 25 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	114
4.36 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	115
4.37 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ชิ้นงานในอัลกอริทึม NSGA-II เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	115
4.38 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	116
4.39 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to The Pareto-optimal set.....	117

ภาพที่	หน้า
4.40	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 117
4.41	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ของปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set..... 118
4.42	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 118
4.43	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 119
4.44	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 119
4.45	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ของปัญหา 61 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution..... 120
4.46	ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 121
4.47	กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 121
4.48	กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) และความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 122
4.49	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอบงำ (Pc) ของปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 122
4.50	ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set..... 123

ภาพที่	หน้า
4.51 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	123
4.52 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set....	124
4.53 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาด ปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto- Optimal Set.....	124
4.54 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto- Optimal Set.....	125
4.55 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ชั้นงานในอัลกอริทึม NSGA เมื่อ ตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	125
4.56 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	126
4.57 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาด ปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	126
4.58 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 111 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	127
4.59 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-optimal set.....	128
4.60 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Spread to The Pareto-optimal set.....	128
4.61 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	129
4.62 กราฟแสดงอิทธิพลของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาดปัญหา 205 ชั้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	129

ภาพที่	หน้า
4.63 กราฟแสดงอิทธิพลร่วมของความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ขนาด ปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	130
4.64 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการครอสโอเวอร์ (Pc) ของปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	130
4.65 ผลการวิเคราะห์คู่ลำดับของพบว่าความน่าจะเป็นในการมิวเตชัน (Pm) ของปัญหา 205 ชิ้นงาน เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio of Non-Dominated Solution.....	131
4.66 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL และ NSGA-II.....	132
5.1 ขั้นตอนการทำงานของ DPSO.....	138
5.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956).....	139
5.3 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	148
5.4 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	153
5.5 Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	154
5.6 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	155
5.7 สายการประกอบตัวยูที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	165
5.8 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	167
5.9 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	169
5.10 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	171
5.11 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ชิ้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสม แบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto- Optimal Set.....	180
5.12 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ชิ้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสม แบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	181

ภาพที่	หน้า
5.13 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 11 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	181
5.14 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 25 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	182
5.15 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	183
5.16 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	184
5.17 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	184
5.18 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 61 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set..	185
5.19 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	186
5.20 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	186
5.21 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	187
5.22 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 111 ขั้นตอนในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-Optimal Set..	187

ภาพที่	หน้า
5.23 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชิ้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Convergence to The Pareto-Optimal Set.....	188
5.24 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชิ้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Spread to The Pareto-Optimal Set.....	189
5.25 ผลการวิเคราะห์ ANOVA ขนาดปัญหา 205 ชิ้นงานในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนองคือ Ratio to The Pareto-optimal set....	189
5.26 ผลการวิเคราะห์ ANOVA กรณีมีการกำหนดค่าจำนวนฝูง (Swarm) ในวิธีการหาค่าเหมาะสมแบบฝูงอนุภาค เมื่อตัวแปรตอบสนอง คือ Ratio to The Pareto-Optimal Set	190
5.27 การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II และ DPSO.....	191
6.1 โครงสร้างของอัลกอริทึม PSONK.....	197
6.2 การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชิ้นงานของ Jackson (1956).....	199
6.3 วงล้อสุ่ม.....	203
6.4 สายการประกอบตัวผู้ที่มีสถานีนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	208
6.5 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	214
6.6 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	215
6.7 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	216
6.8 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	218
6.9 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	219
6.10 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	221
6.11 สายการประกอบตัวผู้ที่มีสถานีนานของสตริงคำตอบที่ 1.....	242
6.12 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	243
6.13 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	245
6.14 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1.....	246
6.15 ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2.....	247
6.16 ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด.....	249

ภาพที่	หน้า
6.17	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด..... 251
6.18	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบที่ดีที่สุด..... 252
6.19	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK 262
7.1	ก่อนและหลังการแลนเปลี่ยนตำแหน่งด้วยวิธี 2-Opt..... 265
7.2	ขั้นตอนการทำงานของ PSONK ร่วมกับเมมเมติกอัลกอริทึม..... 271
7.3	การสร้างแผนภาพความสัมพันธ์รวม (Combined Relations Precedence Diagram) ของปัญหาตัวอย่างขนาด 11 ชั้นงานของ Jackson (1956)..... 273
7.4	วงล้อรูเล็ตในการสุ่มเลือกชั้นงาน..... 277
7.5	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 1 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt..... 281
7.6	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 2 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt..... 281
7.7	การค้นหาเฉพาะที่ในสตริงคำตอบที่ 3 ในฝูงที่ 1 ด้วยวิธี 2-Opt..... 282
7.8	สายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1..... 286
7.9	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1..... 294
7.10	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2..... 296
7.11	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1..... 299
7.12	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2..... 301
7.13	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด..... 305
7.14	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด..... 309
7.15	สายการประกอบตัวยู่ที่มีสถานีนงานขนานของสตริงคำตอบที่ 1..... 333
7.16	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1..... 335
7.17	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2..... 336
7.18	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 1..... 337
7.19	ค่า Dummy Fitness ของสตริงคำตอบในฝูงที่ 2..... 338
7.20	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด..... 340
7.21	ค่า Dummy Fitness ของประชากรทั้งหมด..... 341
7.22	การกำหนดค่าความแข็งแรงในการเลือกสตริงคำตอบ..... 343
7.23	การเปรียบเทียบคำตอบอัลกอริทึม COMSOAL, NSGA-II, PSO, PSONK และ M-PSONK..... 353

ภาพที่	หน้า
8.1 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 11 ชั้นงาน.....	355
8.2 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 25 ชั้นงาน.....	355
8.3 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 61 ชั้นงาน.....	356
8.4 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 111 ชั้นงาน.....	356
8.5 ผลการทำ Pilot Run ของปัญหาขนาด 205 ชั้นงาน.....	357
8.6 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ชั้นงาน (รอบเวลา= 6).....	360
8.7 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ชั้นงาน (รอบเวลา= 6.3).....	361
8.8 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 11 ชั้นงาน (รอบเวลา= 6.6).....	361
8.9 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ชั้นงาน (รอบเวลา= 10).....	367
8.10 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ชั้นงาน (รอบเวลา= 12).....	368
8.11 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 25 ชั้นงาน (รอบเวลา= 14).....	368
8.12 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ชั้นงาน (รอบเวลา= 3.3).....	373
8.13 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ชั้นงาน (รอบเวลา= 3.36).....	374
8.14 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 61 ชั้นงาน (รอบเวลา= 3.38).....	374
8.15 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ชั้นงาน (รอบเวลา= 6016).....	380
8.16 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ชั้นงาน (รอบเวลา= 5670).....	380
8.17 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 111 ชั้นงาน (รอบเวลา= 5230).....	381

ภาพที่	หน้า
8.18 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ชั้นงาน (รอบเวลา= 7049).....	387
8.19 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ชั้นงาน (รอบเวลา= 5003).....	387
8.20 การเปรียบเทียบอัลกอริทึมทั้ง 5 อัลกอริทึม ในปัญหา 205 ชั้นงาน (รอบเวลา= 4849).....	388