การประยุกต์ใช้พัซซี่ลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

นางสาวภัททิตา สุวรรณรุจิ

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2540

ISBN 974-638-103-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

26 S.A. 2544

I17972656

5

AN APPLICATION OF FUZZY LOGIC WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING FOR JOB ROUTING IN A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM

Miss Pattita Suwanruji

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Graduate School
Chulalongkorn University
Academic Year 1997

ISBN 974-638-103-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้ฟัซซีลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น
โดย	นางสาวภัททิตา สุวรรณรุจิ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	อาจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ ศุภวัฒน์ ชุติวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

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

.....อาจารย์ที่ปรึกษา
(อาจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. มานพ เรี่ยวเดชะ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เหรียญ บุญดีสกุลโชค)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

ภัททิตา สุวรรณรุจิ : การประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกกับการตัดสินใจแบบหลายปัจจัยสำหรับการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (AN APPLICATION OF FUZZY LOGIC WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING FOR JOB ROUTING IN A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM)
อ. ที่ปรึกษา : อาจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา , 295 หน้า. ISBN 974-638-103-2.

ความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานเป็นคุณสมบัติสำคัญที่ทำให้ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นมีความสามารถในการตอบสนองต่อความคับคั่งของระบบอันเนื่องมาจากเครื่องจักรเสียและภาระงานที่มากเกินไป ประโยชน์ของความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงานในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะถูกนำมาใช้อย่างเต็มที่เมื่อระบบนั้นมีการจัดเส้นทางเดินของงานอย่างมีประสิทธิภาพ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้สร้างกฎการจัดเส้นทางเดินของงานโดยการประยุกต์ใช้การตัดสินใจแบบลำดับขั้นแบบฟัซซี่ (FuzzyAHP) โดยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP ที่พัฒนาขึ้นมานั้นจะสร้างดัชนีการเลือกสำหรับทางเลือกแต่ละทางจากคุณลักษณะของทางเลือกอันได้แก่ ปริมาณงานในแถวคอยของเครื่องจักร ความน่าจะเป็นที่ชิ้นงานจะได้เข้าผลิตที่เครื่องจักรก่อนเครื่องจักรเสีย และเวลาที่เครื่องจักรใช้ในการผลิตชิ้นงาน ด้วยวิธีการของ FuzzyAHP ทำให้สามารถสร้างความสัมพันธ์ระหว่างคุณลักษณะของทางเลือกกับดัชนีการเลือกได้โดยผ่านความรู้และประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงการสร้างดัชนีทางเลือกจากวิธีการทางคณิตศาสตร์ที่ซับซ้อนและยุ่งยากได้ นอกจากนั้นแล้ว เพื่อให้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานมีลักษณะเป็นแบบพลวัต การวิจัยนี้จึงพัฒนาความสำคัญของคุณลักษณะของทางเลือกเป็นแบบไม่ตายตัวและสามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามความเร่งด่วนของชิ้นงาน

ในงานวิจัยฉบับนี้ได้เสนอกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีพื้นฐานมาจากวิธีวิเคราะห์แบบลำดับขั้นแบบฟัซซี่ 3 กฎ อันได้แก่ FuzzyAHP FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบดั้งเดิมอันได้แก่ WINQ NINQ SPT และ RAN กฎต่าง ๆ เหล่านี้ เป็นกฎที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมการผลิต เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานพิจารณาจาก เวลาในการไหลของชิ้นงานโดยเฉลี่ย (Mean flow time) เวลาที่ชิ้นงานล่าช้าเฉลี่ยต่อชิ้นงานทั้งหมด (Mean tardiness) ผลรวมของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จก่อนหรือหลังกำหนดส่งต่อชิ้นงานทั้งหมด (Mean lateness) สัดส่วนของชิ้นงานล่าช้า (Proportion of tardy jobs) และการใช้สอยของระบบ (System utilization) ผลการทดลองพบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ประสิทธิภาพของระบบทางด้าน Mean tardiness และ System utilization ที่ดีกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อระดับนัยสำคัญเป็น 5% สำหรับ Mean flow time และ Mean lateness พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ค่าเฉลี่ยของเกณฑ์วัดประสิทธิภาพทั้งสองที่ดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ WINQ และ NINQ สำหรับ Proportion of tardy jobs พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ NINQ ให้ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs ดีที่สุด แต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ และ WINQ เมื่อพิจารณาจากผลการทดลองแล้ว สามารถสรุปได้ว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ เป็นกฎที่มีประสิทธิภาพดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่น

ภาควิชา ..วิศวกรรมอุตสาหการ..
สาขาวิชา ..วิศวกรรมอุตสาหการ..
ปีการศึกษา ..2540..

ลายมือชื่อนิสิต ..ภัททิตา..
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา ..
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม ..

พิมพ์ต้นฉบับบทคัดย่อวิทยานิพนธ์ภายในกรอบสีเขียวนี้เพียงแผ่นเดียว

C816523 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD: PART ROUTING / FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM / FUZZYAHP
PATTITA SUWANRUJI : AN APPLICATION OF FUZZY LOGIC WITH MULTI-CRITERIA DECISION MAKING FOR JOB ROUTING IN A FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM. THESIS ADVISOR : PARAMES CHUTIMA, Ph.D. 295 pp. ISBN 974-638-103-2.

Routing flexibility provides the ability for the Flexible Manufacturing System (FMS) to efficiently encounter traffic problems caused by machine breakdown, excessive workload, etc. The advantages of imposing routing flexibility can be fully obtained by implementing competent part routing rules. In this study, Fuzzy Analytical Hierarchy Process (FuzzyAHP) is applied to form several part routing rules. The FuzzyAHP-based part routing rules select the machine with highest selection index assigned from the attributes of alternate machines: workload on machine buffer, processing time, and the probability that the part being routed to the alternate machine can be processed before the machine fails. By means of FuzzyAHP, the burdensome mathematical model can be avoided by extracting the relationship between the attributes from human experience and knowledge instead. To increase the robustness of FuzzyAHP-based part routing rules, the relationships between the attributes are dynamically changed according to urgency of the part being routed.

Three FuzzyAHP-based part routing rules are proposed, i.e., FuzzyAHP, FuzzyAHP-NF, and FuzzyAHP-WINQ. These rules are compared with conventional part routing rules, i.e., WINQ, NINQ, SPT, and RAN. The measures of performance are mean flow time, mean tardiness, mean lateness, proportion of tardy jobs, and system utilization. For mean tardiness and system utilization, FuzzyAHP-WINQ performs significantly better than other rules (significance level = 5%). FuzzyAHP-WINQ has the best average values of mean flow time and mean lateness; however, they are not significantly different from those of NINQ and WINQ. Although NINQ has the best average proportion of tardy jobs, it is not significantly different from those of FuzzyAHP-WINQ and WINQ. From the experimental results, it can be concluded that FuzzyAHP-WINQ is the most efficient rule compared with the other rules being tested.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต ปัทมัฏฐา

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 2540 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยความช่วยเหลืออย่างดียิ่งของ อาจารย์ ดร. ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งได้ให้คำแนะนำและข้อคิดเห็นต่างๆ ในการวิจัยมาด้วยดีตลอด

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณคุณรจนาฏ ไกรปัญญาพงศ์ ที่กรุณาช่วยเหลือในการจัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

ท้ายนี้ ผู้วิจัยใคร่ขอกราบขอบพระคุณบิดา-มารดา ซึ่งสนับสนุนในด้านการเงินและให้กำลังใจแก่ผู้วิจัยเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญตาราง..... ญ

สารบัญรูป..... ฐ

บทที่

1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย..... 3

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย..... 3

1.4 ประโยชน์ที่ได้รับ..... 5

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย..... 5

1.6 สรุปเนื้อหาในงานวิจัย..... 5

2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินของงาน..... 7

2.1 งานวิจัยที่ยืนยันประสิทธิภาพของระบบที่มีความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน..... 7

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการวัดความยืดหยุ่นของเส้นทางเดินของงาน..... 8

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินของงาน 9

2.4 สรุป..... 15

3 การประยุกต์ใช้การวิเคราะห์แบบลำดับขั้นแบบฟัซซี่ในการสร้างกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 17

3.1 ทฤษฎีเกี่ยวกับฟัซซี่เซ็ท..... 17

3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์แบบลำดับขั้นแบบฟัซซี่ (Fuzzy AHP)..... 19

3.3 กระบวนการในการสร้างกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้การวิเคราะห์แบบลำดับขั้นแบบฟัซซี่..... 21

3.4 สรุป..... 61

สารบัญ (ต่อ)

4 การปรับปรุงกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 63
4.1 การเปรียบเทียบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP เปรียบเทียบกับแบบสุ่ม..... 63
4.2 การวิเคราะห์สาเหตุที่ทำให้ประสิทธิภาพของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP ไม่น่าพึงพอใจ..... 64
4.3 การปรับปรุงการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 68
4.4 สรุป..... 82
5 การจำลองแบบปัญหา..... 84
5.1 วิธีการสร้างตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 84
5.2 การวิเคราะห์ตัวแทนของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 85
5.3 การจำลองแบบปัญหา..... 86
5.4 สรุป..... 113
6 การออกแบบการทดลอง..... 115
6.1 ลักษณะการทำงานของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (System configuration) 115
6.2 เวลาในการปฏิบัติงาน (Operation time) และเวลาในการปรับตั้งเครื่องจักร (Set up time)..... 121
6.3 จำนวนขั้นตอนในการปฏิบัติงาน..... 122
6.4 เปอร์เซ็นต์การใช้สอยของระบบเบื้องต้น..... 123
6.5 อัตราเครื่องจักรเสีย (Machine breakdown rate)..... 127
6.6 กำหนดส่งชิ้นงาน..... 128
6.7 กฎการจัดตารางงาน..... 131
6.8 เกณฑ์ในการวัดประสิทธิภาพของระบบ..... 131
6.9 กฎในการจัดเส้นทางเดินของงาน..... 132
6.10 สมมติฐานของปัญหาที่พิจารณาในงานวิจัย..... 133
6.11 สรุป..... 134
7 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 136
7.1 ผลของปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ และกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยร่วมต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ..... 137

สารบัญ (ต่อ)

7.2 การทดสอบปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเท่านั้น ภายใต้การทดลองแฟคทอเรียล..... 159
7.3 สรุป..... 161
8 สรุป..... 163
8.1 สรุป..... 163
8.2 ข้อดีและข้อเสียของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีรากฐานมาจาก FuzzyAHP..... 166
8.3 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต..... 167
รายการอ้างอิง..... 169
ภาคผนวก..... 176
ภาคผนวก ก..... 176
ภาคผนวก ข..... 189
ภาคผนวก ค..... 191
ภาคผนวก ง..... 218
ภาคผนวก จ..... 244
ภาคผนวก ฉ..... 249
ภาคผนวก ช..... 276
ภาคผนวก ซ..... 281
ประวัติผู้วิจัย..... 295

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญตาราง

		หน้า
ตารางที่ 3.1	ช่วงของคุณลักษณะ	29
ตารางที่ 3.2	คะแนนคุณลักษณะของทางเลือก	37
ตารางที่ 3.3	ตัวอย่างการคำนวณค่าเอนโทรปีของคุณลักษณะ W ตามรูป 3.11	41
ตารางที่ 3.4	ตัวอย่างการคำนวณฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W_i ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดของงานในระบบน้อยและพิจารณาเครื่องจักรเสีย	43
ตารางที่ 3.5	สเกลของ Satty พร้อมกับสเกลตัวเลขแบบฟัซซี่	47
ตารางที่ 3.6	ตัวอย่างทางเลือกของชิ้นงาน	50
ตารางที่ 3.7	ฟังก์ชั่นคะแนนของคุณลักษณะและคะแนนของทางเลือก	52
ตารางที่ 3.8	ผลการคำนวณฟัซซี่ของคุณลักษณะ W และ Pr	53
ตารางที่ 3.9	คะแนนรวมของคุณลักษณะ W และ Pr และสัดส่วนคะแนนของแต่ละทางเลือกของคุณลักษณะ W และ Pr	55
ตารางที่ 3.10	ผลการคำนวณค่าสัดส่วนคุณลักษณะ P	56
ตารางที่ 3.11	สัดส่วนแบบฟัซซี่ของคุณลักษณะ P ของแต่ละทางเลือก	56
ตารางที่ 3.12	น้ำหนักคุณลักษณะเฉลี่ย	58
ตารางที่ 3.13	แสดงผลการคำนวณค่าดัชนีทางเลือกของเครื่องจักร 1 2 3 และ 4	58
ตารางที่ 4.1	ผลการทดสอบเบื้องต้นเปรียบเทียบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP เทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบสุ่ม	64
ตารางที่ 4.2	ตัวอย่างการตัดสินใจเลือกเครื่องจักร 3 เครื่อง	65
ตารางที่ 4.3	ผลการทดลองการข่มกันของคุณลักษณะ	67
ตารางที่ 4.4	ตัวอย่างการตัดสินใจเลือกเครื่องจักร 2 เครื่อง	68
ตารางที่ 4.5	รายการทางเลือกใหม่สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF	70
ตารางที่ 4.6	ดัชนีการเลือกที่คำนวณโดยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF	70
ตารางที่ 4.7	ผลของการเปรียบเทียบ Mean flow time ของกฎ FuzzyAHP-WINQ ที่มีค่า d ต่างกันที่สภาวะต่างๆของระบบ	74

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 4.8	ผลของการเปรียบเทียบ Mean Tardiness ของกฎ FuzzyAHP-WINQ ที่มีค่า d ต่างกันที่สภาวะต่างๆของระบบ.....	75
ตารางที่ 4.9	ผลของการเปรียบเทียบ Mean lateness ของกฎ FuzzyAHP-WINQ ที่มีค่า d ต่างกันที่สภาวะต่างๆของระบบ.....	76
ตารางที่ 4.10	ผลของการเปรียบเทียบ Proportion of tardy jobs ของกฎ FuzzyAHP-WINQ ที่มีค่า d ต่างกันที่สภาวะต่างๆของระบบ.....	77
ตารางที่ 4.11	ผลของการเปรียบเทียบ System utilization ของกฎ FuzzyAHP-WINQ ที่มีค่า d ต่างกันที่สภาวะต่างๆของระบบ.....	78
ตารางที่ 4.12	ค่า d ที่ใช้กับกฎ FuzzyAHP-WINQ ในแต่ละสภาวะ.....	79
ตารางที่ 4.13	รายการทางเลือกใหม่(2) สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ.....	80
ตารางที่ 4.14	ดัชนีการเลือกที่คำนวณโดยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ.....	81
ตารางที่ 5.1	คุณลักษณะเฉพาะตัวและกิจกรรมขององค์ประกอบภายใน.....	91
ตารางที่ 5.2	ผลระยะเวลาไม่คงตัวและระยะเวลาที่ต้องใช้ในแต่ละการทำซ้ำที่จะนำไปใช้กับการทดลองจริงที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ.....	108
ตารางที่ 6.1	ระยะทางขนส่งระหว่างสถานีงานของเครื่องจักรและจุดต่างๆในระบบสำหรับระบบแบบง่าย(เมตร).....	119
ตารางที่ 6.2	ระยะทางขนส่งระหว่างสถานีงานของเครื่องจักรและจุดต่างๆในระบบสำหรับระบบแบบซับซ้อน(เมตร).....	120
ตารางที่ 6.3	จำนวนชิ้นงานในระบบที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ.....	125
ตารางที่ 6.4 ก	เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานล่าช้าที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำ-โหลดงานในระบบ.....	130
ตารางที่ 6.4 ข	เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานล่าช้าที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำ-โหลดงานในระบบ.....	130
ตารางที่ 6.4 ค	เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานล่าช้าที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำ-โหลดงานในระบบ.....	130

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ 6.4 ง เปอร์เซ็นต์ชิ้นงานล่าช้าที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำ-โหลดงานในระบบ..... 131

ตารางที่ 7.1 ผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้วย ANOVA..... 137

ตารางที่ 7.2 ผลของ Duncan's multiple range test..... 159

ตารางที่ ง.1 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 219

ตารางที่ ง.2 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 220

ตารางที่ ง.3 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 221

ตารางที่ ง.4 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 222

ตารางที่ ง.5 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 223

ตารางที่ ง.6 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 224

ตารางที่ ง.7 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 225

ตารางที่ ง.8 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 226

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ ง.9 ความสัมพันธ์ของคะแนนของSW กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 227

ตารางที่ ง.10 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 228

ตารางที่ ง.11 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 229

ตารางที่ ง.12 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP..... 230

ตารางที่ ง.13 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 232

ตารางที่ ง.14 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 233

ตารางที่ ง.15 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 234

ตารางที่ ง.16 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 235

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ ง.17 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 236

ตารางที่ ง.18 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 237

ตารางที่ ง.19 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 238

ตารางที่ ง.20 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 239

ตารางที่ ง.21 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 240

ตารางที่ ง.22 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ W กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 241

ตารางที่ ง.23 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ Pr กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 242

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ ง.24 ความสัมพันธ์ของคะแนนของ S กับฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและ โหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินทางของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 243

ตารางที่ จ.1 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 244

ตารางที่ จ.2 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 245

ตารางที่ จ.3 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 245

ตารางที่ จ.4 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 246

ตารางที่ จ.5 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 246

ตารางที่ จ.6 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 247

ตารางที่ จ.7 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 247

ตารางที่ จ.8 น้ำหนักความสำคัญของคุณลักษณะที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 248

ตารางที่ ช.1 ผล ANOVA ของประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean flow time เมื่อ α = 5%..... 278

ตารางที่ ช.2 ผล ANOVA ของประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean tardiness เมื่อ α = 5%..... 278

ตารางที่ ช.3 ผล ANOVA ของประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean lateness เมื่อ α = 5%..... 279

ตารางที่ ช.4 ผล ANOVA ของประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean proportion of tardy jobs เมื่อ α = 5%..... 279

ตารางที่ ช.5 ผล ANOVA ของประสิทธิภาพของระบบด้าน System Utilization เมื่อ α = 5%..... 279

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ ซ.1 Mean flow time ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 281

ตารางที่ ซ.2 Mean flow time ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 281

ตารางที่ ซ.3 Mean flow time ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 282

ตารางที่ ซ.4 Mean flow time ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 282

ตารางที่ ซ.5 Mean tardiness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 283

ตารางที่ ซ.6 Mean tardiness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 283

ตารางที่ ซ.7 Mean tardiness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 284

ตารางที่ ซ.8 Mean tardiness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 284

ตารางที่ ซ.9 Mean lateness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 285

ตารางที่ ซ.10 Mean lateness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 285

ตารางที่ ซ.11 Mean lateness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 286

ตารางที่ ซ.12 Mean lateness ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 286

ตารางที่ ซ.13 Proportion of tardy jobs ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 287

ตารางที่ ซ.14 Proportion of tardy jobs ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 287

ตารางที่ ซ.15 Proportion of tardy jobs ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 288

สารบัญตาราง(ต่อ)

ตารางที่ ซ.16 Proportion of tardy jobs ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 288

ตารางที่ ซ.17 System Utilization ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 289

ตารางที่ ซ.18 System Utilization ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 289

ตารางที่ ซ.19 System Utilization ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 290

ตารางที่ ซ.20 System Utilization ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 290

ตารางที่ ซ.21 เวลารวมที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดทั้งหมด ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย... 291

ตารางที่ ซ.22 เวลารวมที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดทั้งหมด ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก... 291

ตารางที่ ซ.23 เวลารวมที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดทั้งหมด ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย... 292

ตารางที่ ซ.24 เวลารวมที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดทั้งหมด ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก... 292

ตารางที่ ซ.25 จำนวนชิ้นงานที่ทำเสร็จที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 293

ตารางที่ ซ.26 จำนวนชิ้นงานที่ทำเสร็จที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 293

ตารางที่ ซ.27 จำนวนชิ้นงานที่ทำเสร็จที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 294

ตารางที่ ซ.28 จำนวนชิ้นงานที่ทำเสร็จที่สภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 294

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 3.1 เซ็ทของอุณหภูมิต่ำและสูงแบบดั้งเดิมและแบบฟัซซี่ 17

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างโครงสร้างการตัดสินใจแบบลำดับขั้น..... 19

รูปที่ 3.3 แกนเวลาการเสียของเครื่องจักร..... 23

รูปที่ 3.4 โครงสร้างกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 26

รูปที่ 3.5 รูปแบบการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นของประชากรในช่วงแรกมากและเบาบางลงในช่วงท้าย แบบที่ 1 (คุณลักษณะ W) 30

รูปที่ 3.6 รูปแบบการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นของประชากรในช่วงแรกมากและเบาบางลงในช่วงท้าย แบบที่ 2 (คุณลักษณะ P) 30

รูปที่ 3.7 รูปแบบการกระจายตัวที่มีความหนาแน่นของประชากรในช่วงแรกมากและเบาบางลงในช่วงท้าย แบบที่ 3 (คุณลักษณะ S บางสภาวะ) 31

รูปที่ 3.8 รูปแบบการกระจายตัวของคุณลักษณะ S บางสภาวะ 32

รูปที่ 3.9 รูปแบบการกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr 33

รูปที่ 3.10 ขั้นตอนการสร้างฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกโดยวิธี Inductive reasoning..... 34

รูปที่ 3.11 ตัวอย่างการแบ่งประเภทข้อมูลเมื่อความซับซ้อนของระบบสูง โหลดงานในระบบมาก สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 38

รูปที่ 3.12 การแบ่งประเภทของ Sc(S) ที่สภาวะโหลดของงานในระบบน้อยและความซับซ้อนของระบบสูง 40

รูปที่ 3.13 แสดงการแบ่งช่วงข้อมูลซ้ำๆโดยหลักการเอนโทรปีน้อยที่สุด 41

รูปที่ 3.14 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนน W_i ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำ โหลดงานในระบบน้อย และพิจารณาเครื่องจักรเสีย 42

รูปที่ 3.15 แสดงการกระจายข้อมูลคะแนนของ P 45

รูปที่ 3.16 แสดงเมตริกซ์การเปรียบเทียบ 47

รูปที่ 3.17 ขั้นตอนการคำนวณดัชนีการเลือกของแต่ละทางเลือก 51

รูปที่ 3.18 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง โหลดงานในระบบมากและพิจารณาเครื่องจักรเสีย 53

รูปที่ 3.19 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง โหลดงานในระบบมากและพิจารณาเครื่องจักรเสีย 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 3.20 ความเป็นสมาชิกของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง โหลดงานในระบบมากและพิจารณาเครื่องจักรเสีย 57

รูปที่ 3.21 แสดงค่า F_αของฟัซซีเซ็ท A และ B 59

รูปที่ 3.22 แสดงค่า F_αของฟัซซีเซ็ท A และ B ในกรณีที่ไม่สามารถเปรียบเทียบความแตกต่างระหว่างเซ็ท A และ B 60

รูปที่ 3.23 ค่า F_α ของดัชนีการเลือกของเครื่องจักรที่ 1 2 3 และ 4 โดยที่ $\alpha = 0.9$..... 60

รูปที่ 4.1 ขั้นตอนการตัดสินใจโดยใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF 69

รูปที่ 4.2 ขั้นตอนการตัดสินใจเลือกเส้นทางเดินของงานโดยใช้กฎ FuzzyAHP-WINQ.... 72

รูปที่ 5.1 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานในส่วนของชิ้นงาน 88

รูปที่ 5.2 แผนภูมิขั้นตอนการทำงานในส่วนของพาหนะขนส่ง 90

รูปที่ 5.3 Block diagram ในส่วนของแบบจำลองในโปรแกรม SIMAN 93

รูปที่ 5.4 Element ในส่วนของการทดลองในโปรแกรม SIMAN 93

รูปที่ 5.5 ตัวอย่างไฟล์ตัวหนังสือ 94

รูปที่ 5.6 ตัวอย่างผลของ คำสั่ง STEP 95

รูปที่ 5.7 ตัวอย่างผลของคำสั่ง SHOW และ VIEW 96

รูปที่ 5.8 ตัวอย่างผลของคำสั่ง SET WATCH 96

รูปที่ 5.9 ตัวอย่างผลคำสั่ง SET TRSCE 97

รูปที่ 5.10 ตัวอย่างการกระจายของคุณลักษณะ W..... 98

รูปที่ 5.11 การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 1..... 99

รูปที่ 5.12 การกระจายตัวของคุณลักษณะ Pr รูปแบบที่ 2..... 100

รูปที่ 5.13 รูปแบบการกระจายตัวของความน่าจะเป็นที่เครื่องจักรจะเสียหลังเวลา Tnow. 101

รูปที่ 5.14 การกระจายตัวของคุณลักษณะ S รูปแบบที่ 1..... 102

รูปที่ 5.15 การกระจายตัวของคุณลักษณะ S รูปแบบที่ 2..... 102

รูปที่ 5.16 การออกแบบการทดลองแบบแฟคตอเรียลในการทดสอบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ..... 104

รูปที่ 5.17 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย 109

รูปที่ 5.18 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย..... 109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 5.19 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก 110

รูปที่ 5.20 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก..... 110

รูปที่ 5.21 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 111

รูปที่ 5.22 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย..... 111

รูปที่ 5.23 แสดงการทำ Cumulative average สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 112

รูปที่ 5.24 Correlogram สำหรับสภาวะความซับซ้อนของระบบสูงและโหลดงานในระบบมาก..... 112

รูปที่ 6.1 ผังงานของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นแบบง่าย..... 117

รูปที่ 6.2 ผังงานของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นแบบซับซ้อน..... 118

รูปที่ 6.3 โหลดงานในระบบของระบบที่มีความซับซ้อนต่ำ..... 126

รูปที่ 6.4 Mean flow time ของระบบที่มีความซับซ้อนต่ำ..... 126

รูปที่ 6.5 โหลดงานในระบบของระบบที่มีความซับซ้อนสูง..... 127

รูปที่ 6.6 Mean flow time ของระบบที่มีความซับซ้อนสูง..... 127

รูปที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time..... 139

รูปที่ 7.2 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness..... 139

รูปที่ 7.3 ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs..... 139

รูปที่ 7.4 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time..... 141

รูปที่ 7.5 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness..... 141

รูปที่ 7.6 ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs..... 142

รูปที่ 7.7 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time..... 144

รูปที่ 7.8 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness..... 145

รูปที่ 7.9 ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs..... 146

รูปที่ 7.10 ปริมาณชิ้นงานเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ส่วนกลางที่สภาวะต่างๆ..... 148

รูปที่ 7.11 ปริมาณชิ้นงานที่ทำเสร็จโดยเฉลี่ยที่สภาวะต่างๆ..... 148

รูปที่ 7.12 ค่าเฉลี่ยของ Mean lateness..... 150

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ 7.13 ค่าเฉลี่ยของ Mean lateness..... 152

รูปที่ 7.14 ค่าเฉลี่ยเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนด/จำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนด..... 153

รูปที่ 7.15 ค่าเฉลี่ยของ System Utilization..... 155

รูปที่ 7.16 ค่าเฉลี่ยของ System Utilization..... 155

รูปที่ 7.17 ค่าเฉลี่ยของ System Utilization..... 158

รูปที่ ค.1 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 192

รูปที่ ค.2 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 192

รูปที่ ค.3 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 193

รูปที่ ค.4 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 193

รูปที่ ค.5 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 194

รูปที่ ค.6 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 194

รูปที่ ค.7 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 195

รูปที่ ค.8 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 195

รูปที่ ค.9 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 196

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.10 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 196
รูปที่ ค.11 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 197
รูปที่ ค.12 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 197
รูปที่ ค.13 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 198
รูปที่ ค.14 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 198
รูปที่ ค.15 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 199
รูปที่ ค.16 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 199
รูปที่ ค.17 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 200
รูปที่ ค.18 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP 200
รูปที่ ค.19 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 201
รูปที่ ค.20 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 201
รูปที่ ค.21 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 202

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.22 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 202

รูปที่ ค.23 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 203

รูปที่ ค.24 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบFuzzyAHP 203

รูปที่ ค.25 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 204

รูปที่ ค.26 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 204

รูปที่ ค.27 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 205

รูปที่ ค.28 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 205

รูปที่ ค.29 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 206

รูปที่ ค.30 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 206

รูปที่ ค.31 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 207

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.32 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 208

รูปที่ ค.33 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 209

รูปที่ ค.34 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 209

รูปที่ ค.35 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 210

รูปที่ ค.36 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 210

รูปที่ ค.37 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 211

รูปที่ ค.38 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 211

รูปที่ ค.39 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 212

รูปที่ ค.40 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 212

รูปที่ ค.41 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 213

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ค.42 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 213
รูปที่ ค.43 ความถี่ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 214
รูปที่ ค.44 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 214
รูปที่ ค.45 ความถี่ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 215
รูปที่ ค.46 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 215
รูปที่ ค.47 ความถี่ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 216
รูปที่ ค.48 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 216
รูปที่ ค.49 ความถี่ของคุณลักษณะ P..... 217
รูปที่ ค.50 กราฟความถี่สัมพัทธ์ของคุณลักษณะ P..... 217
รูปที่ ง.1 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 218
รูปที่ ง.2 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 220

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ง.3 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 221

รูปที่ ง.4 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 222

รูปที่ ง.5 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 223

รูปที่ ง.6 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 224

รูปที่ ง.7 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 225

รูปที่ ง.8 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 226

รูปที่ ง.9 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 227

รูปที่ ง.10 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 228

รูปที่ ง.11 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 229

รูปที่ ง.12 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP..... 230

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ง.13 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 231
รูปที่ ง.14 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 233
รูปที่ ง.15 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 234
รูปที่ ง.16 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 235
รูปที่ ง.17 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 236
รูปที่ ง.18 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำ และโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 237
รูปที่ ง.19 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 238
รูปที่ ง.20 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 239
รูปที่ ง.21 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง และโหลดงานในระบบน้อยสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 240
รูปที่ ง.22 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ W ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูง และโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 241

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ ง.23 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ Pr ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 242

รูปที่ ง.24 ฟังก์ชั่นความเป็นสมาชิกของคะแนนของ S ที่สภาวะความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบมากสำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ..... 243

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย