การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นภายใต้สภาวะการเร่งงาน

นางสาวชญานี มีทรัพย์หลาก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2546
ISBN 974-17-4100-6
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A COMPARISON OF DISPATCHING RULES OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM UNDER EXPEDITING CONDITIONS

Miss Chayanee Meesaplak

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
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2003

ISBN 974-17-4100-6

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นภายใต้สภาวะการเร่งงาน
โดย	นางสาวชญานี มีทรัพย์หลาก
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์)

..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ชญานี มีทรัพย์หลาก: การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นภายใต้สภาวะการเร่งงาน. (A COMPARISON OF DISPATCHING RULES OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM UNDER EXPEDITING CONDITIONS) อ. ที่ปรึกษา :, 167 หน้า. ISBN 974-17-4100-6.

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นภายใต้สภาวะการเร่งงาน โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) งานวิจัยนี้นอกจากจะศึกษากฎการจ่ายงานที่ใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดความสำคัญของงานแล้ว ยังพิจารณาถึงกฎที่นำเอาค่าใช้จ่ายที่สำคัญเข้ามาพิจารณาด้วยคือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานล่าช้า (Cost of Tardiness) โดยการทดลองดำเนินการภายใต้ปัจจัย ดังนี้ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร (Dispatching Rules) กฎการเลือก AGV (AGV Selection Rules) กฎการกำหนดส่งมอบงาน (Due-Date Assignment Rules) และสภาวะการเร่งงาน (Expediting Conditions) โดยมีดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ (Mean Flowtime) ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า (Mean Tardiness) ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Average Total Cost) และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร (Average Machine Utilization) ผลการทดลองพบว่าทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นประสิทธิภาพของระบบด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรของปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎการเลือก AGV นอกจากนี้ยังได้ทำการเปรียบเทียบกฎ First-In-First-Out (FIFO) และ First-In-First-Out Slack Expedite (FIFOSLACKEX) โดยวัดผลประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ จากผลการทดลองโดยวิธี Duncan's Multiple Range Test พบว่ากฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX ภายใต้ภาระงานของเครื่องจักรน้อย เป็นสภาวะที่ดีที่สุดในการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมด ทั้งในการกำหนดความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากและน้อย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2546 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

4570268021 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEY WORD: DISPATCHING RULES/ FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM/ COMPUTER SIMULATION

CHAYANEE MEESAPLAK: A COMPARISON OF DISPATCHING RULES OF FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM UNDER EXPEDITING CONDITIONS. THESIS ADVISOR: ASSOC.PROF.PARAMES CHUTIMA, Ph.D, 167 pp. ISBN 974-17-4100-6.

This paper attempts to investigate the performance of a flexible manufacturing system under expediting conditions by using computer simulation techniques. This research not only studies dispatching rules time-based criteria but also it considers dispatching rules based on the important of cost-based criteria, i.e., cost of tardiness. The experiments are conducted under various factors, i.e., dispatching rules, AGV selection rules, due-date assignment rules, and expediting conditions. The performance measures consist of mean flowtime, mean tardiness, average total cost, and average machine utilization. The simulation results indicate that all factors affect every performance measurement for 95% significance level, except average machine utilization of dispatching rules and AGV selection rules. Furthermore, the experiment compares the performance measures between First-In-First-Out, FIFO dispatching rule and First-In-First-Out Slack Expedite, FIFOSLACKEX dispatching rule. The results by using Duncan's Multiple Range Test show that FIFOSLACKEX dispatching rule under light machine workload is the best condition when considering mean tardiness and total cost in both loose and light due-date assignment rules.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Department Industrial Engineering Student's signature.....
Field of study Industrial Engineering Advisor's signature. .....
Academic year 2003 Co-advisor's signature.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือ และการให้คำปรึกษาของ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่ให้คำแนะนำและข้อคิดต่าง ๆ ตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ชูเวช ชาญสง่าเวช ประธานการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์จิรพัฒน์ เงาประเสริฐวงศ์ และ อาจารย์ ดร.สีรง ปรีชานนท์ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะสำหรับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

ขอขอบคุณบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้อนุเคราะห์ทุนเฉลิมฉลอง 72 พรรษา สำหรับเป็นทุนอุดหนุนการศึกษา และทุนอุดหนุนการวิจัยในครั้งนี้

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยของกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และน้องสาวที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ซ
สารบัญรูป..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 2
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษาและวิจัย 3
1.3 ขอบเขตของการศึกษาและวิจัย 3
1.4 ขั้นตอนการศึกษาและวิจัย 5
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 5
1.6 สรุปเนื้อหาในงานวิจัย 5
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 7
2.1 บทนำ 7
2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 7
2.2.1 ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น 7
2.2.2 การจัดตารางการผลิต 10
2.2.3 การสร้างแบบจำลองปัญหา 13
2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 16
2.3.1 การจัดตารางการผลิตในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 16
2.3.2 ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 17
2.3.3 วิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต..... 18
2.3.4 การจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นและการผลิตแบบตามงานเพื่อศึกษากฎการจัดตาราง..... 18
2.3.5 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นและการผลิตแบบตามงานเพื่อศึกษากฎการจ่ายงานของ AGV..... 22
2.4 สรุป 25

สารบัญ

หน้า

บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองปัญหา 26
3.1 บทนำ 26
3.2 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน..... 27
3.3 การสร้างแบบจำลอง 32
3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 34
3.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง 39
3.6 การออกแบบการทดลอง 39
3.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง 40
3.8 การดำเนินการทดลอง 42
3.9 การตีความผลการทดลอง 43
3.10 การจัดทำเอกสารการใช้งาน 43
3.11 สรุป 43
บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง 44
4.1 บทนำ 44
4.2 ลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น 44
4.3 จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบ 48
4.4 การกำหนดเวลาส่งมอบชิ้นงาน 50
4.5 สภาวะการเร่งงาน 52
4.6 กฎการจ่ายงานที่ใช้ในการทดลอง 52
4.7 เกณฑ์การวัดสมรรถนะของกฎการจ่ายงาน..... 54
4.8 ปัจจัยการทดลอง..... 55
4.9 สรุป 56
บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 58
5.1 ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ 64
5.1.1 เมื่อพิจารณาจากค่า F-Ratio..... 64
5.1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก..... 65
5.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยร่วม..... 77
5.2 ผลกระทบของการใช้กฎการเลือก AGV กฎการกำหนดส่งมอบงาน และ
กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่สภาวะการเร่งงานต่าง ๆ..... 85
5.2.1 สภาวะปกติ..... 85

สารบัญ

หน้า

5.2.2 สภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 10% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 10%..... 86
5.2.3 สภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 10% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 20%..... 86
5.2.4 สภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 20% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 10%..... 87
5.2.5 สภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 20% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 20%..... 88
5.3 สรุป..... 89
บทที่ 6 กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX..... 91
6.1 บทนำ..... 91
6.2 แนวคิดในการทดลอง..... 91
6.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง..... 94
6.3.1 ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ.... 94
6.3.2 สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด..... 104
6.3.3 การวิเคราะห์ความไวของสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของระบบ..... 110
6.4 สรุป..... 116
บทที่ 7 สรุป 118
7.1 สรุป..... 118
7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต 121

รายการอ้างอิง..... 122
ภาคผนวก..... 126
ภาคผนวก ก ผลการวิเคราะห์ Duncan's Multiple Range Test ที่สภาวะต่าง ๆ..... 127
ภาคผนวก ข ตัวอย่างไฟล์ของแบบจำลองปัญหาที่ทำการศึกษา..... 155

ประวัติผู้เขียน..... 167

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 แสดงงานสถิติวิจัยของปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบ FMS..... 17

ตารางที่ 2.2 แสดงสถิติของตัววัดประสิทธิภาพที่ถูกใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิต ในระบบ FMS..... 18

ตารางที่ 3.1 องค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบที่การศึกษา..... 27

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของจำนวนและชนิดของชิ้นงาน..... 47

ตารางที่ 4.2 ตารางแสดงเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และเปอร์เซ็นต์การใช้งาน ของเครื่องจักร กับจำนวนชิ้นงานในระบบ..... 49

ตารางที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน..... 63

ตารางที่ 6.1 ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มี จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %..... 106

ตารางที่ 6.2 ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มี จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %..... 107

ตารางที่ 6.3 ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มี จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %..... 108

ตารางที่ 6.4 ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มี จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %..... 109

ตารางที่ 6.5 แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อใช้กฎการจ่ายงานแบบ FIFO และ FIFOEX เมื่อระยะเวลาที่ถูกเร่งงานเปลี่ยนแปลงไป..... 111

ตารางที่ 6.6 แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อใช้กฎการจ่ายงานแบบ FIFO และ FIFOEX เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งงานเปลี่ยนแปลงไป..... 114

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 2.1 แสดงจุดการตัดสินใจของการจัดตารางการผลิต..... 16
รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทำงานของชิ้นงาน..... 29
รูปที่ 3.2 ขั้นตอนการทำงานของ AGV..... 31
รูปที่ 3.3 ตัวอย่างของ Block Diagram ในโปรแกรม ARENA..... 33
รูปที่ 3.4 ตัวอย่างของ Element ในโปรแกรม ARENA..... 34
รูปที่ 3.5 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Step และ GO..... 35
รูปที่ 3.6 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Break และ Cancel Break..... 36
รูปที่ 3.7 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Watch และ Cancel Watch..... 37
รูปที่ 3.8 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Trace..... 38
รูปที่ 3.9 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Show Command และ View Command..... 39
รูปที่ 3.10 กราฟ Moving Average ของการทำงานทดลองเบื้องต้น (Pilot Run)..... 41
รูปที่ 3.11 กราฟ Correlogram ของการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run)..... 42
รูปที่ 4.1 แผนผังระบบผลิต..... 45
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานในระบบกับ
เปอร์เซ็นต์การใช้งานของเครื่องจักร..... 49
รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานในระบบกับ
เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 50
รูปที่ 5.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 59
รูปที่ 5.2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 60
รูปที่ 5.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 61
รูปที่ 5.4 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร..... 62
รูปที่ 5.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับ
เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 66
รูปที่ 5.6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับ
เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 66
รูปที่ 5.7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับ
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 67

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับ
ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร..... 67
รูปที่ 5.9 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับ
เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 69
รูปที่ 5.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับ
เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 69
รูปที่ 5.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับ
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 70
รูปที่ 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับ
ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร..... 70
รูปที่ 5.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับ
เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 72
รูปที่ 5.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับ
เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 72
รูปที่ 5.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับ
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 73
รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับ
ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร..... 73
รูปที่ 5.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทดลองกับ
เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 75
รูปที่ 5.18 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทดลองกับ
เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 75
รูปที่ 5.19 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทดลองกับ
ค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 76
รูปที่ 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการทดลองกับ
ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร..... 76
รูปที่ 5.21 ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาใน
ด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 78
รูปที่ 5.22 ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาใน
ด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 80

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 5.23 ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาใน
ด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 82

รูปที่ 5.24 ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาใน
ด้านประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร..... 84

รูปที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 95

รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก
เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ..... 96

รูปที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 98

รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลักเมื่อพิจารณา
ด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า..... 99

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อพิจารณา
ด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 100

รูปที่ 6.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก
เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด..... 101

รูปที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพ
การใช้งานของเครื่องจักร..... 102

รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลักเมื่อพิจารณา
ด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร..... 103

รูปที่ 6.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากับ
สภาวะการเร่งงานเมื่อเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป..... 112

รูปที่ 6.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับ
สภาวะการเร่งงานเมื่อเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป..... 112

รูปที่ 6.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
ระหว่างกฎการจ่ายงานทั้ง 2 แบบกับสภาวะการเร่งงาน
เมื่อเวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป..... 113

รูปที่ 6.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากับ
สภาวะการเร่งงานเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป..... 114

รูปที่ 6.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับ
สภาวะการเร่งงานเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป..... 115

สารบัญรูป

หน้า

รูปที่ 6.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่าง
ระหว่างกฎการจ่ายงานทั้ง 2 แบบกับสภาวะการเร่งงาน
เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลง..... 115

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

ปัจจุบันความต้องการของลูกค้าได้มีการเปลี่ยนแปลงมากขึ้น โดยความต้องการดังกล่าวมีแนวโน้มที่จะเป็นความต้องการที่มีลักษณะเฉพาะบุคคลมากขึ้น มีคุณภาพสูงขึ้นของผลิตภัณฑ์ ซึ่งนำไปสู่ผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายมากขึ้น โดยความหลากหลาย ความซับซ้อน และความแม่นยำของผลิตภัณฑ์เหล่านี้ได้เพิ่มขึ้นไปสู่การแข่งขันระดับนานาชาติ ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องลดเวลาในการผลิต รวมทั้งต้นทุนในการผลิตลง การลดต้นทุนในการผลิตนั้นมีผลให้เกิดความต้องการด้านการพัฒนาเทคโนโลยี การผลิตและวิธีการผลิตที่มีปริมาณน้อยลงจากเดิมแต่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากขึ้น จึงมีการพัฒนาระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System, FMS) ขึ้นสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีปริมาณการผลิตและความหลากหลายในระดับปานกลาง เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว โดยมีคำนิยมจำนวนมากของระบบ FMS ได้ถูกนิยามไว้ คำนิยามที่ดีอันหนึ่งคือ *"ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นคือระบบที่ประกอบด้วยเครื่องจักรกลเอ็นซี ระบบเคลื่อนย้ายวัสดุอัตโนมัติ และอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ อีกมากมาย อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบนี้จะถูกควบคุมและเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เพื่อที่จะผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนของการผลิตและความหลากหลายปานกลาง โดยมีลำดับในการผลิตเป็นแบบสุ่ม"* (ปารเมศ ชุติมา, 2544)

ในอุตสาหกรรมการผลิตการจัดตารางการผลิตได้เข้ามามีบทบาทโดยกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules) ถูกนำมาใช้ในการแก้ความขัดแย้งที่เกิดขึ้นเมื่อมีงานตั้งแต่ 2 งานขึ้นไปคอยรับบริการจากเครื่องจักรเครื่องเดียวกัน เพื่อตัดสินใจว่าจะเลือกทำงานใดก่อนหรือหลัง ซึ่งจะทำให้บรรลุถึงประสิทธิภาพสูงสุดของการทำงาน โดยในการจัดตารางการผลิตบนระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นนั้น จำนวนจุดในการตัดสินใจจะมีมากกว่าในระบบผลิตแบบตามงาน (Job Shop) (Chan, Chan, and Lau, 2002) โดยปกติการตัดสินใจของการทำงานในระบบการผลิตยืดหยุ่นได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การวางแผน และการจัดตารางการผลิต ซึ่งส่วนของการจัดตารางการผลิตนั้นมี 6 จุดการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน Automated Guided Vehicle, AGV และเครื่องจักร ได้แก่ การเลือกของ AGV โดยชิ้นงาน การเลือกของเครื่องจักรโดยชิ้นงานบน AGV การเลือกชิ้นงานโดยเครื่องจักร การเลือกของเครื่องจักรโดยชิ้นงานที่แถวคอยขาออก การเลือกชิ้นงานโดย AGV และการเลือกเครื่องจักรโดย AGV (Tang, Yih and Liu, 1993)

นอกจากนี้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ การจำลองแบบปัญหา เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งถูกนำมาใช้ในการออกแบบแบบจำลองของระบบงานจริง แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่าง ๆ

ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ โดยวัตถุประสงค์ในการจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อทำการทดลองกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ทำให้เราสามารถประเมินความสามารถของกฎการจ่ายงานที่ต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัววัดสมรรถนะที่ต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้เทคนิคการจำลองนี้ทำให้เราไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานจริงเพื่อทำการทดลอง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานในระบบจริงหลายปีให้เหลือเพียงไม่กี่นาทีของระยะเวลาการทำงานของคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะตรวจสอบผลลัพธ์อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของการดำเนินงานและกฎการจ่ายงานหลายชนิดได้อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดลองกับระบบจริง ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถนำเอาไปใช้เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบได้อย่างลึกซึ้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบได้ในอนาคต

จากอดีตจนถึงปัจจุบัน ได้มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษากฎการจัดตารางโดยใช้แบบจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น และระบบการผลิตแบบตามสั่ง เช่น Sabuncuoglu and Hommertzheim (1992) ศึกษาปัญหาของการจัดตารางเครื่องจักร และ AGV โดยใช้แบบจำลองปัญหาการผลิตยืดหยุ่น ต่อมาในปี 1995 ได้ศึกษาเพิ่มเติมในประสิทธิภาพของกฎที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบ ภายใต้สภาวะการทดลองต่าง ๆ นอกจากนั้นในปี 1998 Sabuncuoglu ได้ศึกษาต่อภายใต้สภาวะการทดลองใหม่ โดยวัตถุประสงค์ในการทดลองคือ การวัดความไวของกฎที่เปลี่ยนแปลงในการกระจายความน่าจะเป็นของเวลาทำงาน อัตราการเสียของเครื่องจักร และชนิดของการจัดลำดับความสำคัญของงานขนส่งให้กับ AGV และในปี 1999 Sabuncuoglu and Karabuk ศึกษาปัญหาการจัดตาราง/การจัดตารางใหม่ โดยทดสอบภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน รวมทั้งศึกษาผลกระทบของความแปรปรวนของ เวลาในการผลิต และการเสียของเครื่องจักร นอกจากนี้ Hoffmann and Scudder (1983) ศึกษาอิทธิพลของกฎการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน โดยพิจารณาในด้านต้นทุน และในด้านเวลาในการนำมาใช้เป็นตัววัด โดยใช้แบบจำลองปัญหาในการทดลอง และในปี 1985 นักวิจัยทั้งคู่ก็ได้ศึกษาเพิ่มเติมของผลกระทบของกฎการจัดตารางที่รวมกันของความสำคัญของเวลาและต้นทุนเพื่อให้ได้การจัดตารางที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่จะมุ่งเน้นการศึกษาไปที่ระบบซึ่งมีการกำหนดเวลาในการส่งมอบที่ตายตัว แต่ในความเป็นจริงนั้นอาจมีเหตุการณ์บางอย่างที่ทำให้เวลาส่งมอบเดิมที่ถูกกำหนดเอาไว้ตั้งแต่แรกนั้นถูกปรับให้กระชั้นขึ้น หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งก็คือ ลูกค้าต้องการสินค้าที่สั่งไว้ก่อนกำหนดส่งมอบเดิม ทั้งนี้ลูกค้าอาจจะต้องการสินค้าทั้งหมดหรือบางส่วนก็ได้ ดังนั้นโรงงานจึงต้องทำให้การเร่งงานขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และยังเป็นการเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้าอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับลูกค้าที่มีความสำคัญสูงต่อธุรกิจ

เช่น ลูกค้าที่มีการสั่งซื้อสินค้าเป็นจำนวน/มูลค่ามาก มีความสัมพันธ์ที่ดีเป็นเวลานาน จ่ายเงินเร็ว เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันในการตอบสนองต่อลูกค้าแต่ละรายก็เป็นได้ แต่ผลกระทบที่ตามมาก็คือ โรงงานอาจจะต้องวางแผนการผลิตใหม่เพื่อทำให้ตารางการผลิตยังคงรักษาประสิทธิภาพสูงสุดเอาไว้ นอกจากนั้นแล้วการเร่งงานยังอาจจะมีผลกระทบโดยตรงต่องานที่กำลังดำเนินอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการทำงานดั้งเดิมอีกด้วย

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบกฎการจ่ายงาน ทั้งภายใต้สภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงาน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ AGV เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) งานวิจัยนี้นอกจากจะศึกษากฎการจ่ายงานที่ใช้ระยะเวลาเป็นตัวกำหนดความสำคัญของงานแล้ว ยังพิจารณาถึงกฎที่นำเอาค่าใช้จ่ายที่สำคัญต่างๆ เข้ามาพิจารณาด้วย คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากงานล่าช้า (Cost of Tardiness) โดยดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบประกอบด้วย ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ (Mean Flowtime) ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า (Mean Tardiness) ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Average Total Cost) และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร (Average Machine Utilization)

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของกฎการจ่ายงานที่พิจารณาในด้านของเวลาและค่าใช้จ่ายที่ขึ้นกับความสำคัญของลูกค้า ทั้งภายใต้สภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงาน ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์

1.3 ขอบเขตงานวิจัย

1 ทำการศึกษาภายใต้ปัจจัยการทดลองดังต่อไปนี้

1.1 กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร

- FIFO (First In First Out)
- SPT (Shortest Processing Time)
- WSPT (Weighted Shortest Processing Time)
- EDD (Earliest Due Date)
- TEC (Total Expected Cost)

1.2 กฎการเลือก AGV

- SDS (Shortest Distance to Station)
- CYC (Cyclic Priority)
- RAN (Random Priority)

1.3 กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

- กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (Total Work, TWK)
- กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (Number of Operations, NOP)
- กำหนดให้มีค่าคงที่ (Constant, CON)
- กำหนดแบบสุ่ม (Random, RAN)

1.4 สภาวะการเร่งงาน

- สภาวะปกติ
- สภาวะการเร่งงาน
  - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ 20 %
  - ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10% และ 20 %

2 ทำการศึกษาเฉพาะกรณีศึกษาที่ประกอบด้วยสถานีงาน 5 สถานีงาน เครื่องจักร 4 เครื่อง (ดัดแปลงจากงานวิจัยของ Liu and Duh, 1992) และมี AGV เป็นระบบขนถ่ายวัสดุโดยมี 4 ตัว (ดัดแปลงจาก Sabuncuoglu and Hommertzheim, 1995)

3 ในการศึกษาและวิจัยนี้ ประสิทธิภาพที่จะใช้วัดของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นในด้านต่าง ๆ คือ

3.1 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ (Mean Flow Time)

3.2 ค่าเฉลี่ยของเวลาที่งานเสร็จล่าช้า (Mean Tardiness)

3.3 ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Average Total Cost) โดยที่

Total Cost = Holding Cost + (Cost of Tardiness × Weight)

3.4 ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร (Average Machine Utilization)

1.4 ขั้นตอนในการวิจัย

1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
2 วิเคราะห์กฎของงาน และวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง
3 ออกแบบแบบจำลองโดยใช้การจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์
4 บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองโดยใช้เทคนิคทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์
5 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ
6 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1 ทราบถึงผลกระทบของกฎการจัดตารางการผลิตต่าง ๆ เมื่อมีสภาวะการเร่งงานขึ้น
2 ทราบถึงผลกระทบของกฎการจัดตารางการผลิตต่าง ๆ โดยพิจารณาด้านค่าใช้จ่าย
3 สามารถนำผลที่ได้ไปใช้สำหรับงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องได้

1.6 สรุปเนื้อหาในงานวิจัย

- บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทนี้เป็นการอธิบายและสรุปเกี่ยวกับระบบผลิตแบบยืดหยุ่น การจัดตารางการผลิต และการจำลองแบบปัญหา รวมทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- บทที่ 3 การสร้างแบบจำลองปัญหา เป็นการอธิบายเกี่ยวกับวิธีการสร้างแบบจำลองปัญหาโดยใช้คอมพิวเตอร์ ซึ่งงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ARENA version 5.0 ในการสร้างแบบจำลอง
- บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง เป็นการกำหนดพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลอง รวมทั้งอธิบายเกี่ยวกับรายละเอียดของปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิต
- บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นการแสดงผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโดยการจำลองปัญหา และทำการวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้จากการทดลอง โดยนำวิธีการวิเคราะห์ความแปรแรวน (Analysis of Variance: ANOVA) มาใช้ในการวิเคราะห์ผลของปัจจัยหลัก (Main Effects) และปัจจัยร่วม (Interaction) ระหว่างปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ และวิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่ากฎใดเป็นกฎที่ดีที่สุด

- บทที่ 6 กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX เป็นการทดลองเพิ่มเติมเพื่อศึกษากฎการจ่ายงานที่สามารถประยุกต์ใช้ในอุตสาหกรรมการผลิตได้สะดวกมากขึ้น และทดลองหาสภาวะที่เหมาะสม รวมทั้งการวิเคราะห์ค่าความไวในการนำกฎดังกล่าวมาใช้
- บทที่ 7 บทสรุป เป็นการกล่าวถึงงานวิจัยทั้งหมดที่ได้ดำเนินการมา และข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ได้ศึกษาเกี่ยวกับกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้แบบจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ ดังนั้นในบทที่ 2 จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้กับงานวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ได้แก่ ทฤษฎีระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ทฤษฎีการจัดตารางการผลิต และการสร้างการจำลองปัญหา นอกจากนี้มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่ได้ทำการศึกษาเพิ่มเติมเพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัย

2.2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.2.1 ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System หรือ FMS) ได้กำเนิดขึ้นครั้งแรกในทวีปยุโรปประมาณปีค.ศ. 1960 เพื่อใช้ในการตัดเฉือนโลหะ โดยมีคำนิยมจำนวนมากของระบบ FMS ได้ถูกนิยามไว้เช่น

Nanua Singh (1996) ได้ให้คำนิยามของ FMS ไว้ว่า คือ ระบบการผลิตอัตโนมัติที่ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง เพื่อผลิตงานที่มีปริมาณการผลิต และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ในระดับปานกลาง

นอกจากนี้ยังมีคำนิยามอื่น ๆ อีกเช่น

FMS ถูกนิยามในฐานะระบบการผลิตแบบอัตโนมัติที่ประกอบด้วยเครื่องจักรที่สามารถทำหน้าที่ได้หลายอย่าง โดยเครื่องจักรเหล่านี้ถูกเชื่อมต่อภายในกับระบบการขนส่งวัสดุแบบอัตโนมัติ ซึ่งทั้งหมดนี้ถูกควบคุมโดยระบบคอมพิวเตอร์ (Lee and kim, 1999)

FMS คือระบบที่ถูกประกอบด้วยกลุ่มของเครื่องจักร Numerically Controlled (NC) ที่ติดกับระบบการขนส่งวัสดุแบบอัตโนมัติ ที่อยู่ภายใต้การควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ (Farling, Moster and Mahmoodi, 2001)

FMS เป็นกลุ่มของเครื่องจักร CNC (Computer Numerical Control) ที่ถูกเชื่อมต่อโดยระบบการขนถ่ายวัสดุแบบอัตโนมัติ ซึ่งการปฏิบัติงานจะถูกเชื่อมต่อโดยการความคุมของระบบคอมพิวเตอร์ (Byrkett, Ozden and Patton, 1988)

Ranky (1983) กล่าวว่า FMS อาจถูกนิยามในฐานะระบบที่เกี่ยวข้องกับการปฏิบัติการข้อมูลที่ถูกกระจายไปในระดับสูง และการไหลของวัสดุแบบอัตโนมัติโดยใช้เครื่องจักร เซลล์การประกอบ หุ่นยนตร์อุตสาหกรรม เครื่องจักรตรวจสอบ และอื่น ๆ ที่ถูกควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ร่วมกับคอมพิวเตอร์ที่ประสานกับระบบการขนส่งวัสดุและระบบการเก็บวัสดุ

คำนิยามที่ดีอันหนึ่งคือ ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นคือระบบที่ประกอบด้วยเครื่องจักรกลเอ็นซี ระบบเคลื่อนย้ายวัสดุอัตโนมัติ และอุปกรณ์เสริมต่าง ๆ อีกมากมาย อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ประกอบขึ้นเป็นระบบนี้จะถูกควบคุมและเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เพื่อที่จะผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนของการผลิตและความหลากหลายปานกลาง โดยมีลำดับในการผลิตเป็นแบบสุ่ม (ปารเมศ ชุติมา, 2544)

วัตถุประสงค์หลักที่สำคัญของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นได้แก่

1. การปรับปรุงการควบคุมการดำเนินการ
2. การลดแรงงานทางตรง โดยลดจำนวนพนักงานคุมเครื่อง การลดความจำเป็นที่จะต้องใช้พนักงานคุมเครื่องที่มีความชำนาญสูง
3. การปรับปรุงการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงในระยะสั้นและระยะยาว
4. การเพิ่มการใช้งานเครื่องจักรให้เป็นประโยชน์ เช่น การลดเวลาจัดตั้งเครื่อง
5. การลดจำนวนพัสดุคงคลัง

ระบบการขนถ่ายวัสดุ

วัตถุประสงค์ของการขนถ่ายวัสดุเพื่อทำการขนย้ายวัตถุดิบ งานระหว่างกระบวนการ สินค้าสำเร็จรูป เครื่องมือ และสิ่งอื่น ๆ ที่ต้องการ จากตำแหน่งหนึ่งไปสู่อีกตำแหน่งหนึ่ง เพื่อที่จะช่วยให้การทำงานของระบบผลิตสะเดวกและมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น

โดยชนิดของอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุที่เหมาะสมต่อการทำงานในระบบอัตโนมัติคือ

- ระบบสายพานลำเลียง
- ระบบ AGVs (Automated Guided Vehicle System)

ระบบการขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ

ระบบ AGVs (Automated Guided Vehicle System) เป็นระบบขนถ่ายวัสดุที่ใช้ทำงานได้โดยอิสระต่อกัน ขับเคลื่อนด้วยตัวเอง ซึ่งถูกนำทางด้วยเส้นทางขนส่งที่ผังอยู่บนพื้นโรงงาน รถจะใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ที่ติดตั้งอยู่บนตัวรถซึ่งจะทำให้รถวิ่งได้ประมาณ 8 – 10 ชั่วโมง การกำหนดเส้นทางขนส่งของระบบ AGV นี้อาจทำได้โดยใช้สายไฟฟ้าฝังอยู่กับพื้นโรงงาน หรือใช้สีสะท้อนทาบนพื้นโรงงาน โดยรถจะใช้เซนเซอร์เป็นอุปกรณ์ในการนำทาง AGV

การนำทางและกำหนดเส้นทางเดินของ AGV

ประกอบด้วย

1. การนำทางและกำหนดเส้นทางเดินของ AGV
   คำว่า “ระบบนำทาง” หมายถึงการกำหนดเส้นทางขนส่งวัสดุของ AGV และการที่ระบบควบคุมทำให้ AGV เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางนั้น ๆ โดยมีอยู่ 2 หลักการที่สามารถนำมาใช้ในการกำหนดเส้นทางขนส่งวัสดุของ AGV นั้นคือ การฝังสายไฟฟ้าไว้ในร่องบนพื้นดิน การทาสีบนพื้น ระหว่างวิธีทั้งสองนี้ วิธีการแรกได้รับความนิยมมากกว่าวิธีการที่สอง

2. การควบคุมการจราจรและความปลอดภัย
   วัตถุประสงค์ของการควบคุมการจราจรก็เพื่อป้องกันการชนกันในขณะที่ AGV วิ่งอยู่บนเส้นทางนำทางเดียวกัน วิธีการควบคุมการจราจรคือ Blocking System ซึ่งได้มีการพัฒนาขึ้นเป็นจำนวนมาก แต่วิธีที่น่าสนใจมี 2 วิธีคือ
   - วิธีตรวจจับรถที่อยู่ข้างหน้า (On-Board Vehicle Sensing หรือ Forward Sensing) จะเกี่ยวข้องกับการใช้ระบบเซนเซอร์บางรูปแบบในการตรวจจับว่าบนเส้นทางนำทางเส้นเดียวกันนั้นมี AGV วิ่งอยู่ข้างหน้า AGV ตัวที่กำลังพิจารราอยู่หรือไม่ เมื่อเซนเซอร์ที่อยู่บน AGV ตรวจจับว่ามีสิ่งกีดขวางอยู่ข้างหน้า AGV ก็จะหยุดการเคลื่อนที่ลง และเมื่อสิ่งกีดขวางได้ถูกเคลื่อนย้ายออกไปหมดแล้ว AGV ก็จะเคลื่อนที่ต่อไป
   - วิธีกันโซน (Zone Blocking) จะทำการแบ่งผังเส้นทางการขนส่งของ AGV ออกเป็นโซนที่แตกต่างกัน แล้วใช้กฎที่ว่าจะไม่ยอมให้มี AGV 2 ตัวอยู่ในโซนใด ๆ ในเวลาเดียวกัน ขนาดของโซนจะต้องยาวพอเพียงที่จะรองรับความยาวของ AGV ได้ สำหรับด้านอื่น ๆ ที่ควรพิจารณาประกอบการหาขนาดของโซนคือ จำนวนของ AGV ที่วิ่งอยู่ในระบบ ขนาด และความซับซ้อนของผังเส้นทางขนถ่ายของ AGV และควรออกแบบให้มีจำนวนโซนให้น้อยที่สุดเท่าที่เป็นไปได้

3. การบริหารระบบ
   การบริหารการทำงานของ AGV โดยหลักการแล้วจะเกี่ยวข้องกับการส่ง (Dispatching) AGV ไปยังตำแหน่งในระบบที่ต้องการ ในขณะที่ต้องการอย่างรวดเร็วและอย่างมีประสิทธิภาพ หน้าที่เกี่ยวกับการจัดการระบบจะขึ้นอยู่กับความเชื่อถือได้ของการทำงานที่เกิดขึ้นในระบบอื่น ๆ ในทางปฏิบัติจะมีวิธีการมากมายในการส่ง AGV ซึ่งวิธีการเหล่านี้ส่วนมากแล้วจะพัฒนาขึ้นมาเพื่อทำให้ AGV มีการ

ตอบสนองต่อความต้องการได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพสูงสุด วิธีการส่ง AGV มีดังนี้คือ

- ควบคุมจากแผงควบคุมที่อยู่บน AGV (On-Board Control Panel)
- เรียกจากสถานีที่อยู่ห่างไกล (Remote Call Station)
- ควบคุมโดยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Central Computer Control)

2.2.2 การจัดตารางการผลิต

Baker (1943) ได้ให้ความหมายของการจัดตารางว่า เป็นการจัดสรรทรัพยากรภายในเวลาที่มีอยู่ เพื่อดำเนินงานต่าง ๆ

ตัวแปรหรือพารามิเตอร์

ในการจัดตารางการผลิต จะต้องมีตัวแปรหรือพารามิเตอร์พื้นฐานในการจัดตารางการผลิตที่เกี่ยวข้องอยู่เสมอ ตัวแปรพื้นฐานมีดังต่อไปนี้

1. เวลางานเสร็จสิ้น (Complete Time) หมายถึงเวลาเสร็จสิ้นของการทำงาน j นั้น ๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ C_j
2. เวลาดำเนินงาน (Processing Time) หมายถึงเวลาที่ใช้ในการทำงาน j นั้น ๆ ที่ทรัพยากร k แทนด้วยสัญลักษณ์ T_{jk}
3. เวลางานพร้อมทำงาน (Ready Time) หมายถึงเวลาที่พร้อมในการทำงาน j นั้น ๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ r_j
4. เวลากำหนดส่ง (Due Date) หมายถึงกำหนดเวลาที่เสร็จสิ้นการทำงาน j นั้น ๆ แทนด้วยสัญลักษณ์ D_j

เกณฑ์วัดสมรรถนะของกฎการจ่ายงาน

เกณฑ์ (Criteria) สำหรับวัดสมรรถนะของการจัดตารางเป็นเครื่องมือในการประเมินวิธีจัดตารางที่แตกต่างกัน เกณฑ์เหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยนักวิจัยจำนวนมาก เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงวัตถุประสงค์ของการจัดตารางที่ขณะใดขณะหนึ่ง และยังใช้ในการประเมินประสิทธิผลของกฎการจ่ายงานที่แตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้นจึงทำให้เกณฑ์เหล่านี้มีความหลากหลาย นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การจัดตารางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เกณฑ์ที่อิงฐานเวลา (Time-Based Criteria) เช่น เกณฑ์ที่อิงกับเวลาเสร็จงาน งานระหว่างกระบวนการ หรือการใช้งานเครื่องจักร เป็นต้น

2. เกณฑ์ที่อิงฐานเวลาส่งมอบ (Due-Date Based Criteria) เช่น เกณฑ์ที่อิงกับเวลาสายของงาน เวลาล่าช้าของงาน หรือจำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันตามกำหนด เป็นต้น

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต คือการกำหนดว่าในการจัดตารางการผลิตนั้น ๆ ต้องการเป้าหมายหรือวัตถุประสงค์อย่างไร เช่น ต้องการส่งมอบงานให้ทันตามกำหนดเวลา มีอัตราการใช้งานเครื่องจักรมากที่สุด เป็นต้น วัตถุประสงค์โดยทั่วไปสำหรับการจัดตารางการผลิต สามารถจำแนกตามตัววัดผล ได้ดังต่อไปนี้

1. เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาการไหลของงานในระบบ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.1

$$\overline{F} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} F_j \qquad \textbf{(2.1)}$$

โดยที่ $F_j = C_j - r_j$

F_j หมายถึง เวลาการไหลของงาน j

C_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j เสร็จสิ้น

r_j หมายถึง เวลาที่การทำงาน j พร้อมที่จะทำงาน

n หมายถึง จำนวนงานทั้งหมด

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

2. เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้าของงานในระบบ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.2

$$\overline{T} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^{n} T_j \qquad \textbf{(2.2)}$$

โดยที่ $T_j = \max\{0, L_j\}$

L_j หมายถึง ระยะเวลาที่งานเสร็จก่อนหรือหลังเวลากำหนดส่งงาน

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

3. จำนวนงานล่าช้า หมายถึง จำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันเวลากำหนดส่งมอบสามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.3

$$N_T = \sum_{j=1}^{n} \delta(T_j) \qquad \textbf{(2.3)}$$

โดยที่ $\delta(T_j) = 1$ เมื่อ $Tj > 0$

$\delta(T_j) = 0$ เมื่อ $Tj \leq 0$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตนี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าจำนวนงานล่าช้าต่ำ

4. อัตราการใช้งานเครื่องจักร หมายถึง สัดส่วนระหว่างเวลาที่เครื่องจักรทำงานกับเวลามากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2.4

$$U = \frac{W}{A} \qquad \textbf{(2.4)}$$

โดยที่ U หมายถึง อัตราการใช้งานเครื่องจักร

W หมายถึง เวลาที่เครื่องจักรทำงาน

A หมายถึง เวลามากที่สุดที่เครื่องจักรสามารถทำงานได้

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าอัตราการใช้งานเครื่องจักรสูง

การกำหนดเวลาส่งมอบ

วิธีการกำหนดเวลาส่งมอบและความกระชั้น (Tightness) ของเวลาส่งมอบจะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบและสมรรถนะในเชิงเปรียบเทียบของกฎการจ่ายงาน วิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบของงานสามารถทำได้จากทั้งภายนอกและภายในระบบ

วิธีการในการกำหนดเวลาส่งมอบมี 4 แนวทางที่ใช้กันอย่างแพร่หลายคือ

1. กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (Total Work, TWK) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด โดยอาจจะใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน (ค่าคงที่) คูณกับภาระงานทั้งหมด และใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเวลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน

2. กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (Number of Operations, NOP) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของการดำเนินงานทั้งหมด โดยอาจจะใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน(ค่าคงที่) คูณกับจำนวนการดำเนินงานทั้งหมด และใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน
3. กำหนดให้มีค่าคงที่ (Constant, CON) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้มีระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง และค่าคงที่นี้จะใช้กับทุกงาน
4. กำหนดแบบสุ่ม (Random, RAN) กำหนดเวลาส่งมอบของงานโดยใช้วิธีการสุ่ม

2.2.3 การสร้างแบบจำลองปัญหา

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ โดยกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

ดังนั้นกระบวนการจำลองแบบปัญหาจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลองและการนำแบบจำลองมาใช้งานวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีนั้นจะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริงได้

การจำลองแบบปัญหา ปัจจุบันได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เป็นผลเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการคำนวณผล ถึงแม้ว่าการจำลองแบบปัญหานั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่ คือ ความถูกต้องของแบบจำลองซึ่งจะต้องอาศัยความชำนาญในด้านการจำลองแบบปัญหาและระบบจริง โดยแบบจำลองปัญหาที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะสร้างให้เหมือนกับระบบจริงทุกประการได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดบางอย่างของระบบถูกตัดออกไปบ้าง แต่ระบบจริงกับระบบแบบจำลองปัญหานั้นจะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติซึ่งจะสามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้นการจำลบองแบบปัญหามีไว้สำหรับศึกษาระบบ ไม่ใช่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ และสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองแบบปัญหาเป็นการเก็บข้อมูลในอดีต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองแบบปัญหาจะมีความคลาดเคลื่อนหรือแตกต่างกันได้จากระบบจริง ดังนั้นผู้ที่วิเคราะห์ระบบจะต้องมีความเข้าใจในระบบและสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อระบบด้วยเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบจริง ดังนั้นในการจำลองแบบปัญหาใด ๆ ควรจะต้องคำนึงถึงความจำเป็นด้วย

ควรจะจำลองแบบปัญหากับระบบที่มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่น เช่น การคำนวณ เป็นต้น

แบบจำลองหมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง

ประเภทของแบบจำลองในการจำลองแบบปัญหา

1. แบบจำลองทางกายภาพ
2. แบบจำลองอะนาลอก
3. เกมการบริหาร
4. แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์
5. แบบจำลองทางคณิศาสตร์

โครงสร้างของแบบจำลองนั้นควรประกอบด้วย

1. องค์ประกอบ
2. ตัวแปรและพารามิเตอร์
3. ฟังชั่นความสัมพันธ์
4. ขอบข่ายจำกัด
5. ฟังชั่นเป้าหมาย

ขั้นตอนในการสร้างแบบจำลองปัญหาประกอบด้วย

1. *การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน* ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนที่สำคัญที่สุดในการจำลองแบบปัญหา ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่าง ๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน
2. *การสร้างแบบจำลอง* จากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษาเขียนแบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมของระบบงานตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา
3. *การจัดเตรียมข้อมูล* เป็นวิเคราะห์หาข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นสำหรับแบบจำลองและจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้
4. *การแปรรูปแบบจำลอง* เป็นการแปลงแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
5. *การทดสอบความถูกต้อง* เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้

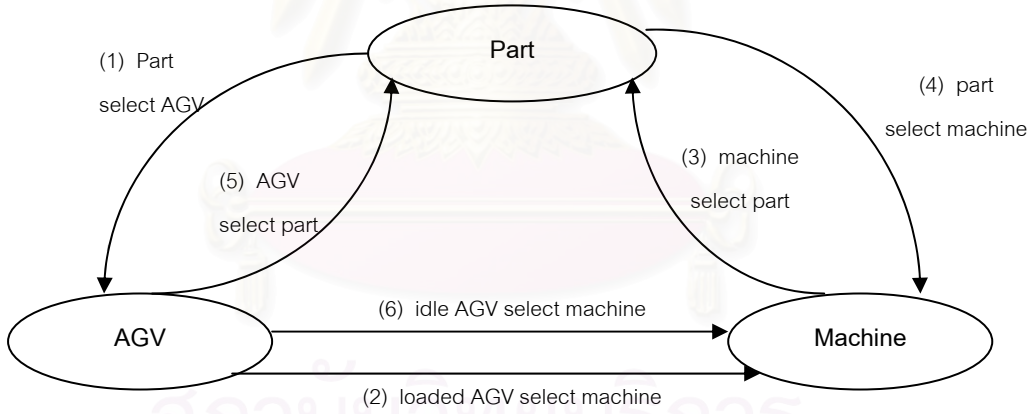
6. *การออกแบบการทดลอง* เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
7. *การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง* เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นแต่เพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม กล่าวคือได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้ในราคาที่เหมาะสม
8. *การดำเนินการทดลอง* เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่าง ๆ ที่ต้องการและความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง
9. *การตีความผลการทดลอง* จากผลการทดลอง ตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร
10. *การนำไปใช้ จากผลการทดลอง* เลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบงานจริง
11. *การจัดทำเป็นเอกสารใช้งาน* เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 การจัดตารางการผลิตในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

การจัดตารางการผลิตบนระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นนั้นมีความยุ่งยาก และซับซ้อนมากกว่าการจัดตารางการผลิตแบบตามงาน เนื่องจากมีจำนวนจุดในการตัดสินใจจะมีมากกว่าในระบบผลิตแบบตามงาน (Chan, Chan, and Lau, 2002) โดยปกติการตัดสินใจของการทำงานในระบบการผลิตยืดหยุ่นได้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ส่วนด้วยกัน คือ การวางแผน และการจัดตารางการผลิต ซึ่งส่วนของการจัดตารางการผลิตนั้นมี 6 จุดการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน Automated Guided Vehicle และเครื่องจักร ได้แก่ การเลือกของ AGV โดยชิ้นงาน การเลือกของเครื่องจักรโดยชิ้นงานบน AGV การเลือกชิ้นงานโดยเครื่องจักร การเลือกของเครื่องจักรโดยชิ้นงานที่แถวคอยขาออก การเลือกชิ้นงานโดย AGV และการเลือกเครื่องจักรโดย AGV ดังรูปที่ 2.1 (Tang, Yih and Liu, 1993)



รูปที่ 2.1 *แสดงจุดการตัดสินใจของการจัดตารางการผลิต*

2.3.2 ปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

คำจำกัดความของปัญหากฎการจัดตารางในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นคือ ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มี J เครื่องจักรศูนย์กลาง และมีความต้องการที่จะผลิตชิ้นงานที่มีจำนวน QK โดยมีความแตกต่างของชิ้นงาน K ชนิด ชิ้นงานควรจะถูกจัดเรียงอย่างไรทั้งในการเข้าสู่ระบบ และการถูกจัดเส้นทางจากเครื่องจักรหนึ่งไปยังเครื่องจักรหนึ่งตามลำดับเพื่อที่จะให้งานเสร็จสมบูรณ์ทั้งหมดโดยมีค่า makespan สั้นที่สุด (Denzier and Boe, 1987) ได้ศึกษากฎการจัดตารางการผลิตสำหรับระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยใช้แบบจำลองปัญหา ซึ่งระบบประกอบด้วย 16 Computer Numerical Controlled Machines (CNC) โดยการวัดค่าประสิทธิภาพระบบเมื่อใช้กฎการโหลดชิ้นงานแบบฮิวริสติกที่แตกต่างกันไป ผลการทดลองสรุปว่ากฎการโหลดชิ้นงานแบบฮิวริสติกทำให้ประสิทธิภาพของระบบมีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

นอกจากนี้ Chan, Chan and Lau, 2002 ได้รวบรวมสถิติงานวิจัยของปัญหาการจัดตารางการผลิตและตัววัดประสิทธิภาพในระบบ FMS โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2

1. *ประเภทปัญหาการจัดตารางการผลิต (Scheduling problem)*

ตารางที่ 2.1 *แสดงงานสถิติวิจัยของปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบ FMS*

Scheduling problem	Number of publications	Period
Parts Dispatching	36	1979 – 2000
Machine Selection	8	1981 – 2000
AGV Scheduling	4	1986 – 1998
Others	5	1986 - 1997

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2. ตัววัดประสิทธิภาพที่ถูกใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิต (Performance measures)

***ตารางที่ 2.2** แสดงสถิติของตัววัดประสิทธิภาพที่ถูกใช้ในปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบ FMS*

Performance measures	Number of publications	Period
Flow time related	36	1979 – 2000
Tardiness or tardy job related	19	1983 – 2000
Utilization related (including system, machine, station, etc.)	14	1979 – 1995
Cost related	6	1983 – 2000
Inventory related	6	1981 – 1995
Others	12	1981 - 1995

2.3.3 วิธีการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิต

โดยทั่วไปวิธีในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตนั้นมีหลายวิธี ซึ่งสามารถจัดวิธีการในการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบ่งเป็น 6 ประเภท (Basnet and Mize, 1994) ได้แก่

1. Mathematical programming approach
2. Multi-criteria decision making approach
3. Heuristics oriented approach
4. Control theoretic approach
5. Simulation based approach
6. Artificial Intelligence (AI) based approach

2.3.4 การจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นและการผลิตแบบตามงานเพื่อศึกษากฎการจัดตาราง

ในการจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อทำการทดลอง ทำให้เราสามารถประเมินความสามารถของกฎการจ่ายงานที่ต่างกัน ภายใต้เงื่อนไขการทำงานที่แตกต่างกัน โดยใช้ตัววัดสมรรถนะที่ต่างกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งการใช้เทคนิคการจำลองนี้ทำให้เราไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานจริงเพื่อทำการทดลอง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานในระบบจริงหลายปี

ให้เหลือเพียงไม่กี่นาทีของระยะเวลาการทำงานของคอมพิวเตอร์ได้ ดังนั้นเราจึงสามารถที่จะตรวจสอบผลลัพธ์อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของการดำเนินงานและกฎการจ่ายงานหลายชนิดได้อย่างรวดเร็วโดยไม่จำเป็นต้องทำการทดลองกับระบบจริง ผลลัพธ์เหล่านี้สามารถนำเอาไปใช้เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบได้อย่างลึกซึ้ง ซึ่งจะทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบได้ในอนาคต

มีนักวิจัยหลายท่านที่ได้ทำการศึกษากฎการจัดตารางโดยใช้แบบจำลองระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น และระบบการผลิตแบบตามงานเช่น Sabuncuoglu and Hommertzheim (1992) ศึกษาปัญหาของการจัดตารางเครื่องจักร และ AGV โดยใช้ แบบจำลองปัญหาการผลิตยืดหยุ่น ซึ่งศึกษาถึงอิทธิพลของกฎการจัดตารางบนเครื่องจักร และ AGV ที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานใช้ในระบบ โดยกฎการจัดตารางสำหรับเครื่องจักร (M/C Scheduling Rule) ที่ใช้ได้แก่ SPT (Shortest Processing Time), SPT.TOT (Smallest Value of Operation Time Multiplied by Total Operation Time), SPT/TOT (Smallest Value of Operation Time Divided by Total Operation Time), LPT.TOT (Largest Value of Operation Time Multiplied by Total Operation Time), LPT/TOT (Largest Value of Operation Time Divided by Total Operation Time), LWKR (Least Amount of Work Remaining), MWKR (Most Amount of Work Remaining), FOPNR (Fewest Number of Operations Remaining), MOPNR (Most Number of Operations Remaining), FIFO (FIRST IN FIRST OUT), FAFS (First Arrived First Served) และกฎการจัดตารางสำหรับ AGV ได้แก่ FIFO, LOQS (Largest Output Queue Size), LQS (Largest Queue Size), STD (Shortest Travel Distance), FOPNR, LWKR โดยทำการทดลองด้วย 3 ปัจจัย คือ ระดับภาระงานของเครื่องจักร และ AGV, จำนวนชิ้นงานที่สามารถอยู่ได้ในแถวคอย และระดับความเร็วของ AGV ซึ่งในการทดลองนี้ไม่ได้พิจารณาในเรื่องของเวลาส่งมอบ จากการทดลองพบว่า เมื่อภาระงานของเครื่องจักร และ AGV เพิ่มขึ้น ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบจะเพิ่มขึ้นด้วย และค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบนี้จะมีความไวมากต่อความแปรปรวนของการกระจายเวลาในการผลิต และเมื่อความสามารถของแถวคอยลดลง ระบบจะมีเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานใช้ในระบบมากขึ้น นอกจากนี้ยังพบอีกว่า SPT และ SPT.TOT เป็นกฎที่ดีที่สุด แต่ในหลาย ๆ กรณี SPT จะดีกว่า SPT.TOT

ต่อมาในปี 1995 Sabuncuoglu and Hommertzheim ได้ศึกษาเพิ่มเติมในประสิทธิภาพของกฎที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบ ภายใต้สภาวะการทดลองต่าง ๆ โดยใช้แบบจำลองปัญหาการผลิตยืดหยุ่นแบบเดิม ซึ่งในการศึกษานี้ได้ใช้ค่าเฉลี่ยของเวลาทำงานเสร็จล่าช้า เป็นตัววัดประสิทธิภาพ โดยกฎการจัดตารางที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่องมอบ ได้แก่ CON (Constant), SLK (เวลาในการผลิตทั้งหมดของชิ้นงานรวมกับค่าระยะเวลาหย่อนคงที่), TWK (Total Work), NOP (Total Number of Operations), PPW (เวลาในการผลิตทั้งหมดของชิ้นงานรวมกับเวลาในการคอย) และกฎการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรได้แก่ EDD (Earliest Due Date), SLK (Smallest Remaining Slack), SCR (Smallest Critical Ratio), S/OPN (Smallest Remaining

Slack per Operation), MOD (Smallest Modified Operation Due Date) นอกจากนี้ยังได้วิเคราะห์ความไวของภาระงานความสามารถของบัฟเฟอร์ของ AGV และการกระจายความน่าจะเป็นของเวลาในการทำงาน เพื่อให้ได้ความคงทนของกฎการจ่ายงานที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบ จากการทดลองพบว่าไม่มีกฎการจัดตารางที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบ หรือกฎการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักรที่จะเป็นกฎที่เด่นชัด ด้วยเวลาในการผลิตที่มีการกระจายแบบปกติ ขณะที่ค่าความแปรปรวนของการกระจายเวลาในการผลิต หรือความสามารถของแถวคอยเพิ่มขึ้น หรือ ภาระงานของ AGV ลดลง ประสิทธิภาพของกฎจึงจะมีความแตกต่างกัน นอกจากนี้พบว่าในกรณีของเวลาในการผลิตที่มีการกระจายความน่าจะเป็นแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล TWK เป็นกฎการจัดตารางที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบที่ให้ค่าเฉลี่ยของงานล่าช้าต่ำสุด และในกรณีของกฎการจัดตารางการผลิตของเครื่องจักร MOD จะให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่งานเสร็จล่าช้าที่ดีกว่า

นอกจากนี้ Sabuncuoglu (1998) ได้ศึกษาต่อภายใต้สภาวะการทดลองใหม่ โดยยังคงใช้แบบจำลองปัญหาการผลิตยืดหยุ่น และกฎที่ทดสอบเหมือนเดิม แต่วัตถุประสงค์ในการทดลองคือ การวัดความไวของกฎที่เปลี่ยนแปลงใน การกระจายความน่าจะเป็นของเวลาทำงาน อัตราการเสียของเครื่องจักร และชนิดของการจัดลำดับความสำคัญของงานขนส่งให้กับ AGV จากการทดลองพบว่าผลกระทบของการเสียของเครื่องจักรนั้นมากกว่า การเสียของ AGV และค่าของเวลาการไหลเฉลี่ยมีผลต่อความแปรปรวนของการกระจายเวลาในการผลิต นอกจากนี้ยังพบอีกว่าประสิทธิภาพของระบบมีความไวมากต่อชนิดของการจัดลำดับความสำคัญของงานขนส่งให้กับ AGV

และในปี 1999 Sabuncuoglu and Karabuk ศึกษาปัญหาการจัดตาราง/การจัดตารางใหม่ ในแบบจำลองปัญหาระบบการผลิตยืดหยุ่น โดยทดสอบภายใต้สภาวะการทดลองที่แตกต่างกัน รวมทั้งศึกษาผลกระทบของความแปรปรวนของ เวลาในการผลิต และการเสียของเครื่องจักร จากผลการทดลองพบว่า การจัดตารางใหม่ในทุกครั้งที่เครื่องจักรเสียจะไม่เป็นประโยชน์เสมอไป และกฎการจ่ายงานจะมีความคงทนต่อความแปรปรวนของเวลาในการผลิตมากกว่าวิธีการจัดตาราง

นอกจากนี้ Montazeri and Wassenhove (1990) ได้ศึกษาประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานต่าง ๆ โดยใช้ modular simulator โดยมีตัววัดประสิทธิภาพได้แก่ เวลาคอยต่อชิ้นงาน ประสิทธิภาพของเครื่องจักร ประสิทธิภาพของบัฟเฟอร์, Shuttle และ Carrier ในปี 1993 Tang, Yih and Liu ได้ศึกษาเฉพาะในส่วนของการจัดตารางการผลิต โดยตั้ง 6 จุดการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับชิ้นงาน AGV และเครื่องจักร โดยมีตัววัดประสิทธิภาพคือ เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาเฉลี่ยที่งานล่าช้า เวลาที่งานเสร็จล่าช้ามากที่สุด ประสิทธิภาพของระบบ จำนวนของเครื่องจักที่ถูกล็อค ขนาดของบัฟเฟอร์ และการทำงานในกระบวนการ ผลการทดลองพบว่าผลกระทบของกฎการจ่ายงานต่าง ๆ ของจุดตัดสินใจมีองศาความแตกต่างของอิทธิพลบนเกณฑ์ต่าง ๆ โดยไม่มีเกณฑ์ใดเพียงอย่างเดียวที่เด่นชัดเสมอไปในทุก ๆ สภาวการณ์

ผลงานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ไม่ได้พิจารณากฎการจัดตารางการผลิตที่พิจารณาปัจจัยด้านต้นทุนหรือค่าใช้จ่าย ซึ่งงานวิจัยที่พิจารณาในด้านนี้พบในงานวิจัยของ Hoffmann and Scudder (1983) ศึกษาอิทธิพลของกฎการตัดสินใจที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน โดยมีกฎที่พิจารณาในด้านต้นทุน และด้านเวลาได้ถูกนำมาใช้เป็นตัววัด โดยใช้แบบจำลองปัญหาในการทดลอง กฎที่แตกต่างกันถูกทำการทดสอบโดยมี 4 กฎที่เกี่ยวข้องกับเวลาได้แก่ SPT, EDD, MNSTUP (Minimum Setup Time) และ CRRAT (Critical Ratio) และกฎที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนได้แก่ MXPROF (Most Profit Job in Queue), DOLSHP (Highest Selling Price Job), IPDOL (Highest Current Value Job) และ VALADD (Greatest Value Added Job in Previous Operations) จากการทดลองพบว่าโดยภาพรวม CRRAT จะให้ประสิทธิภาพที่ดีมาก และต่อมาในปี 1985 Hoffmann and Scudder ศึกษาต่อถึงผลกระทบของกฎการจัดตารางที่รวมกันของความสำคัญของเวลา และต้นทุนเพื่อให้ได้การจัดตารางที่มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้นกว่าเดิม โดยใช้ 13 กฎการจัดตารางในการทดสอบ โดยมีกฎที่เกี่ยวข้องกับเวลาอย่างเดียวได้แก่ SPT, SPTTRN (SPT Truncated at a Maximum of 75 Hours Waiting in the Current Queue) และ CRRAT กฎที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนอย่างเดียวได้แก่ MXPROF, MXPRFTRN (MXPROF Truncated ที่ค่า w เท่ากับ 75 ชั่วโมงของการคอยในแถวคอยปัจจุบัน), VALADD และ VLADRAT (Greatest Value Added Job in a Ratio Form) กฎการจัดตารางแบบผสม ได้แก่ MXPCRT (ถ้า CRRAT $\leq$ 1 ใช้กฎ CRRAT ถ้า CRRAT $>$ ใช้กฎ MXPROF), VLADCRT (ถ้า CRRAT $\leq$ 1 ใช้กฎ CRRAT ถ้า CRRAT $>$ ใช้กฎ VALADD), CRRATP (ถ้าไม่มีงานชิ้นงานใดในแถวคอยที่จะให้กำไรตั้งแต่ 600 เหรียญดอลลาร์ขึ้นไป ใช้กฎ CRRAT ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ใช้กฎ MXPROF), CRRATV (ถ้าไม่มีงานชิ้นงานใดในแถวคอยที่จะให้กำไรตั้งแต่ 600 เหรียญดอลลาร์ขึ้นไป ใช้กฎ CRRAT ถ้าไม่เป็นเช่นนั้น ใช้กฎ VALADD), PRF/OPT (อัตราส่วนระหว่างกำไรของชิ้นงานต่อเวลาของการตั้งเครื่องและเวลาในการผลิตปัจจุบัน) และ PRF/TOPT (อัตราส่วนระหว่างกำไรของชิ้นงานต่อเวลาทั้งหมดที่เหลือของการตั้งเครื่องและเวลาในการผลิต) ผลการทดลองพบว่ากฎที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนจะให้ผลที่ดี นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่พิจารณาตัววัดประสิทธิภาพโดยมีเรื่องต้นทุนเข้ามาเกี่ยวข้อง คืองานวิจัยของ Kim and Bobrowski (1994) ศึกษาเกี่ยวกับปัญหาการจัดตารางการผลิตในระบบผลิตแบบตามงานที่เวลาในการตั้งเครื่องขึ้นกับลำดับการผลิต โดยทำการจัดและทดสอบกฎการจัดตารางการผลิตโดยพิจารณาทั้งเวลาในการตั้งเครื่อง และ ข้อมูลเวลาส่งมอบงาน โดยกฎการจัดตารางเหล่านี้ถูกประเมินในสภาพแวดล้อมการจัดตารางแบบพลวัตที่ถูกกำหนดโดยความกระชั้นของกำหนดส่ง (Due-Date Tightness) เวลาในการตั้งเครื่อง และโครงสร้างต้นทุน (Cost Structure)

2.3.5 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นและการผลิตแบบตามงานเพื่อศึกษากฎการจ่ายงานของ AGV

ในการจัดตารางการผลิตของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นนอกจากจะพิจารณาถึงกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแล้ว AGV ยังเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการพิจารณาถึงกฎการจ่ายงานของ AGV ซึ่ง Co and Tanchoco (1991) ได้จัดประเภทของกลยุทธ์ในการจัดการ AGV ดังนี้

1. Dispatching เป็นกระบวนการในการเลือกและจ่ายงานให้กับพาหนะ โดยสภาวะของการจ่ายงานมีลักษณะตามการรวมกันของปัจจัยต่าง ๆ ดังนี้

- ระดับของการควบคุมอัตโนมัติ
    - Manual
    - Automatic
- จุดของการรับการส่งของชิ้นงานโดยพาหนะ
    - One-to-One
    - One-to-Many
    - Many-to-One
    - Many-to-Many
- สถานะของพาหนะ
    - พาหนะที่ไม่ถูกสั่งงาน และไม่ว่าจะถูกพิจารณาสำหรับการสั่งงาน
    - พาหนะที่ไม่ถูกสั่งงานขณะนี้เท่านั้นที่จะถูกจ่ายงาน
- ธรรมชาติของความต้องการการขนส่ง
    - Static Or Steady State
    - Stochastic
- ความสามารถในการขนส่งของพาหนะ
    - Single Load
    - Multiple Load

2. Routing เป็นการเลือกของเส้นทางเฉพาะที่ถูกให้กับพาหนะเพื่อไปยังจุดหมาย

3. Scheduling เป็นการหาเวลาในการเข้า และการออกของพาหนะที่แต่ละจุดเพื่อไม่ให้มีการชนกันของพาหนะเกิดขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้การจัดลำดับของ AGV และชิ้นงานนั้นกฎที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกและจัดลำดับสามารถแบ่งได้ 2 แบบ (Egbelu and Tanchoco, 1984) คือ

1. กฎการตัดสินใจโดยพิจารณาสถานีงาน (A Workcentre Initiated Task Assignment rule : WITA) เป็นกฎการตัดสินใจในการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งจากกลุ่มของพาหนะที่ว่าง เพื่อไปรับชิ้นงานที่ถูกกำหนดให้ ณ แถวคอยขาออกของเครื่องจักร โดยมีกฎต่าง ๆ ที่ใช้ในการตัดสินใจดังนี้
    - กฎการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งแบบสุ่ม (Random Vehicle rule: RV) กฎนี้จะเป็นการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งโดยวิธีแบบสุ่มเพื่อกำหนดให้ไปรับงาน โดยไม่มีการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างตำแหน่งที่พาหนะสำหรับขนส่งตั้งอยู่กับตำแหน่งที่ต้องการพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุ
    - กฎการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งที่อยู่ใกล้ที่สุด (Nearest Vehicle rule: NV) กฎนี้จะทำการคำนวณระยะทางระหว่างตำแหน่งที่ชิ้นงานต้องการพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุ กับตำแหน่งของพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุทุกตำแหน่ง ซึ่งตำแหน่งที่มีระยะทางสั้นที่สุดจะได้รับบริการก่อน
    - กฎการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งที่ว่างนานที่สุด (Longest Idle Vehicle rule: LIV) กฎนี้จะทำการกำหนดลำดับความสำคัญมากที่สุดให้แก่พาหนะสำหรับขนส่งที่มีเวลาว่างมากที่สุดก่อน
    - กฎการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุด (Least Utilized Vehicle rule: LUV) กฎนี้ใช้หลักการเลือกพาหนะสำหรับขนส่งที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยสุดเพื่อให้เกิดค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยจะเลือกพาหนะที่ใช้เวลาในการทำงานน้อยที่สุดจากพาหนะที่ว่างทั้งหมด กฎการตัดสินใจข้อนี้จะเป็นภาระงานที่สมดุลท่ามกลางพาหนะสำหรับขนส่งในระบบ

2. กฎการตัดสินใจโดยพิจารณาพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุ (A Vehicle Initiated Task Assignment rule: VITA) เป็นการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกสถานีงานจากกลุ่มสถานีงานที่มีความต้องการพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุพร้อม ๆ กัน การตัดสินใจจะพิจารณาพาหนะสำหรับขนส่งวัสดุเพียงตัวเดียวแต่มีหลายสถานีงาน โดยมีกฎต่าง ๆ ดังนี้
    - กฎการเลือกสถานีงานแบบสุ่ม (Random Work rule: RW) กฎนี้จะมีการนำสถานีงานที่ต้องการพาหนะสำหรับขนส่งมารวมกัน จากนั้นทำ

การเลือกสถานีงานมาหนึ่งสถานงานแบบสุ่มเพื่อกำหนดให้พาหนะสำหรับขนส่งไปดำเนินการที่จุดนั้น

- กฎการตัดสินใจโดยใช้เวลาในการเคลื่อนที่สั้นที่สุดหรือระยะทางสั้นที่สุด (Shortest Travel Time/ Distance rule: STT/D) พื้นฐานของกฎนี้คือเพื่อต้องการลดเวลาสูญเปล่าในการเคลื่อนที่ของพาหนะสำหรับขนส่งให้น้อยที่สุดโดยพาหนะสำหรับขนส่งจะบริการสถานีงานที่อยู่ใกล้กับพาหนะสำหรับขนส่งมากที่สุดก่อน
- กฎการเลือกสถานีงานที่มีขนาดแถวคอยขาออกมากที่สุด (Maximum Outgoing Queue Size: MOQS) กฎนี้จะพิจารณาที่แถวคอยขาออกของทุกสถานีงาน จากนั้นจะทำการเลือกชิ้นงานในแถวคอยขาออกที่มีจำนวนชิ้นงานมากที่สุดก่อน

โดยมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาเกี่ยวกับปัญหาของ AGVs ได้แก่

งานวิจัยของ Cheng (1986) ได้ศึกษากฎการจ่ายงานของ AGV ในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยได้ทดลองกฎทั้งหมด 4 กฎ ได้แก่ FAFS – select the first available AGV, MIT – select the AGV with the most cumulative idle time, STT – select the AGV with the shortest travel time และ LTT – select the AGV with the longest travel time โดยมีตัววัดประสิทธิภาพคือ อัตราการผลิตโดยรวม ค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของสถานีงาน และค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพของ AGV จากผลการทดลองพบว่า STT เป็นกฎที่ดีที่สุด รองลองมาคือ MIT, FAFS และ LTT ตามลำดับ นอกจากนี้ยังมีปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นคือ จำนวนของ AGV ในระบบ และความเร็วของ AGV นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยของ รจนาฎ ไกรปัญญาพงศ์, 2541 ศึกษาเกี่ยวกับปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ AGV เป็นวัสดุขนถ่ายอัตโนมัติ โดยใช้การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม SIMAN ซึ่งพิจารณา จำนวน AGV กฎการรับงาน กฎการจัดลำดับ กฎการส่งงาน ขนาดของแถวคอย ผลการทดลองสรุปได้ว่า ปัจจัยทุกปัจจัยมีผลกระทบต่อตัววัดผล ยกเว้น ปัจจัยด้านกฎการรับงาน ซึ่งไม่มีผลกระทบต่อตัววัดผลในด้านจำนวนชิ้นงานในบัฟเฟอร์ส่วนกลาง และกฎที่ดีที่สุดสำหรับดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบทุกด้านคือ FSNS (First Serve Next Station), FIFO (FIRST IN FIRST OUT), ND (Nearest Destination)

นอกจากนี้ Liu and Duh, 1992 ได้ศึกษาการออกแบบ AGV และกฎการจ่ายงานโดยวิธี two-stage คือวิธีการวิเคราะห์ และวิธีการจำลองแบบปัญหา โดยเริ่มแรกจะใช้วิธีการวิเคราะห์จะทำการหาพารามิเตอร์ของระบบและลดจำนวนจำนวนของกรณีต่าง ๆ เพื่อให้ได้จำนวน AGV ที่ถูกต้องการสำหรับวิธีการจำลองแบบปัญหา ต่อมาใช้วิธีการจำลองแบบปัญหาโดยมีตัววัดประสิทธิภาพคือสถานการณ์แถวคอยในระบบกับกฎการจ่ายงานของ AGV ต่าง ๆ และเปรียบเทียบ makespan สำหรับวิธีการของการจ่ายงานต่าง ๆ ซึ่งกฎการจ่ายงานของ AGV

ได้แก่ STT/D (Shortest Travel Time/Distance), MOQS (Maximum Outgoing Queue Size) และ กฎผสมระหว่าง 2 กฎข้างต้น จากการทดลองพบว่าวิธีการ two-stage นี้เป็นวิธีการที่ดีสำหรับการออกแบบ AGV เพราะเป็นการประหยัดเวลาในการจำลองแบบปัญหา ในการเลือกกฎการจ่ายงานของ AGV จะต้องเปรียบเทียบระหว่างเกณฑ์ต่าง ๆ ในการออกแบบให้ AGV มีประสิทธิภาพ และกฎผสมจะเป็นกฎที่ดีกว่ากฎ STT/D หรือ MOQS สำหรับ AGV ในปี 1996 Klein and Kim ได้ทำการศึกษากฎการจ่ายงานของ AGV แบบ single-attribute ประกอบด้วยกฎ STT/D (Shortest Travel Time/Distance), MQS (Maximum Queue Size) และ LWT (Longest Waiting Time) และ แบบ multi-attribute ประกอบด้วยกฎ SAWM (Simple Additive Weighting Method), YAGER (Yager's multi-attribute decision making method), MAWM (Modified additive weighting method) และ MMM (Max-Max method) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบซึ่งได้แก่ ความยาวของแถวคอยและเวลาในการคอยโหลดในแต่ละแผนก เวลาในการเดินทางของพาหนะ และเวลาที่ชิ้นงานเสร็จสมบูรณ์ ผลการทดลองพบว่ากฎการจ่ายงานของ AGV แบบ multi-attribute มีความคงทน (robust) และดีกว่ากฎแบบ single-attribute

ในเรื่องของคุณสมบัติ (Configuration) ของ AGVs เป็นปัจจัยหนึ่งที่สำคัญเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อระบบ งานวิจัยของ Farling Mosier and Mahmoodi (2001) ได้ทำการศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพ configuration ของ AGVs 3 ประเภท ภายใต้สภาวะการทดลองต่าง ๆ ซึ่งผลการทดลองพบว่าขนาดของระบบ เวลาในการโหลดและอันโหลด และอัตราการเสียของเครื่องจักร เป็นปัจจัยที่มีผลต่อการทำงานของระบบที่ถูกพิจารณา

2.4 สรุป

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นระบบการผลิตเพื่อตอบสนองความต้องการสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ระดับสูง แต่มีความต้องการในระดับปานกลาง รวมทั้งตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงทั้งในระยะสั้นและระยะยาว โดยมีระบบการขนถ่ายวัสดุที่สำคัญคือ ระบบการขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ หรือ AGVs ซึ่งเป็นระบบที่ทำงานได้โดยอิสระต่อกันและขับเคลื่อนด้วยตัวเอง นอกจากนี้ในเรื่องของการจัดตารางการผลิตได้เข้ามามีบทบาทเพื่อดำเนินการจัดตารางการผลิตให้ได้เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้ โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาเพื่อดำเนินการทดลองในการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบและประเมินผลการทดลองเพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินงานจริงได้

บทที่ 3

การสร้างแบบจำลองปัญหา

3.1 บทนำ

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่าง ๆ โดยกระบวนการออกแบบแบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่าง ๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ ดังนั้นกระบวนการจำลองแบบปัญหาจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลองและการนำแบบจำลองมาใช้งานวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีนั้นจะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริงได้

การจำลองแบบปัญหา ปัจจุบันได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่าง ๆ อย่างแพร่หลาย เป็นผลเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางเทคโนโลยีคอมพิวเตอร์ที่ช่วยในการคำนวณผล ถึงแม้ว่าการจำลองแบบปัญหานั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก แต่ยังมีข้อจำกัดอยู่ คือ ความถูกต้องของแบบจำลองซึ่งจะต้องอาศัยความชำนาญในด้านการจำลองแบบปัญหาและระบบจริง โดยแบบจำลองปัญหาที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะสร้างให้เหมือนกับระบบจริงทุกประการได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดบางอย่างของระบบถูกตัดออกไปบ้าง แต่ระบบจริงกับระบบแบบจำลองปัญหานั้นจะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติซึ่งจะสามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้นการจำลบองแบบปัญหามีไว้สำหรับศึกษาระบบ ไม่ใช่การหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ และสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองแบบปัญหาเป็นการเก็บข้อมูลในอดีต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองแบบปัญหาจะมีความคลาดเคลื่อนหรือแตกต่างกันได้จากระบบจริง ดังนั้นผู้ที่วิเคราะห์ระบบจะต้องมีความเข้าใจในระบบและสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อระบบด้วยเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบจริง ดังนั้นในการจำลองแบบปัญหาใด ๆ ควรจะต้องคำนึงถึงความจำเป็นด้วยควรจะจำลองแบบปัญหากับระบบที่มีความยุ่งยากในการวิเคราะห์ด้วยเทคนิคอื่น เช่น การคำนวณ เป็นต้น (ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ, 2537)

3.2 การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน

ขั้นตอนนี้เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการทดลอง โดยในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากฎการจัดงาน (Scheduling Rules) ภายใต้การเร่งงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ช่วยในการศึกษา

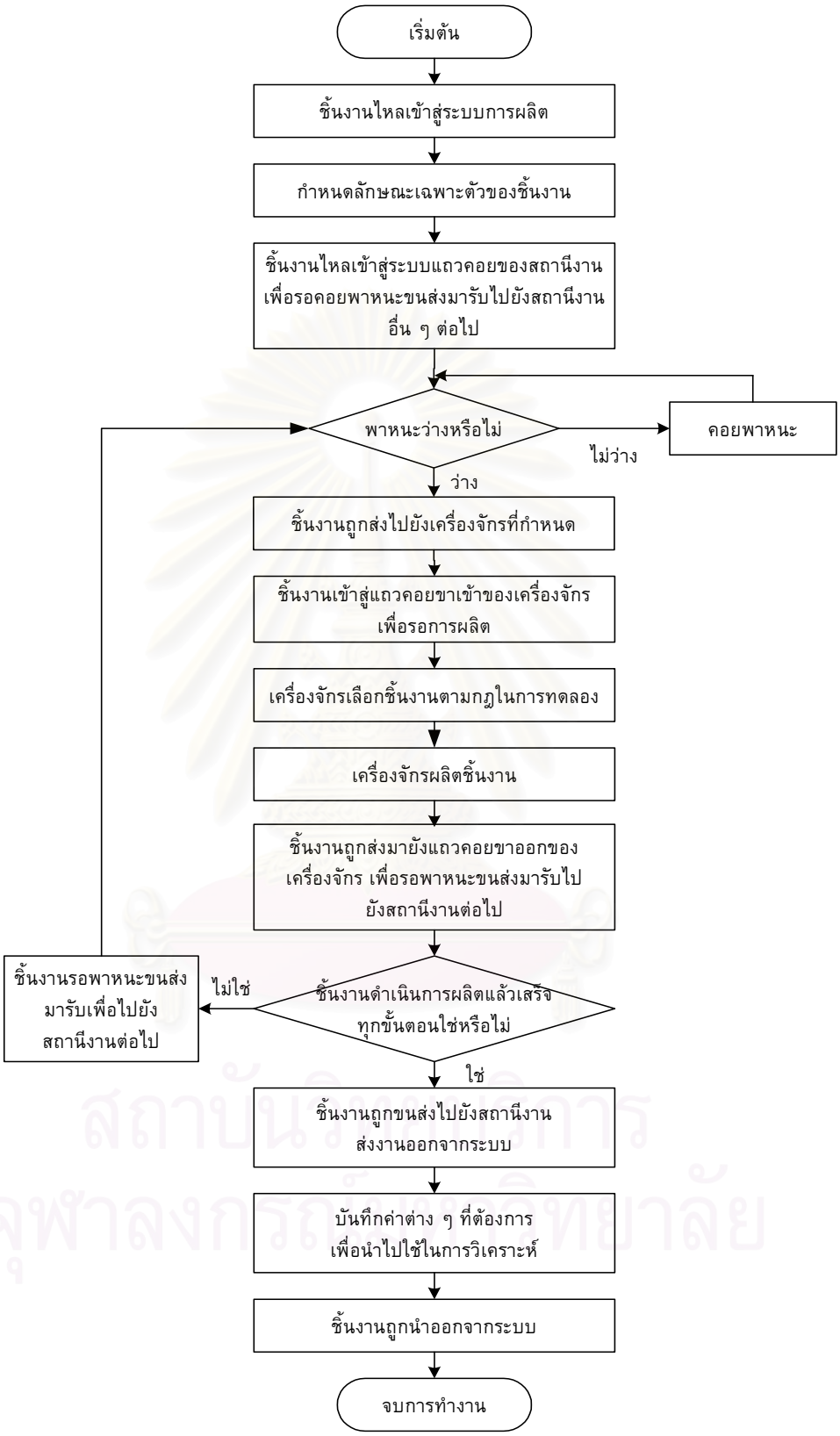
ระบบงาน หมายถึง กลุ่มขององค์ประกอบ (Elements) ที่มีความสัมพันธ์กัน โดยที่ความหมายของระบบงานบอกเฉพาะว่าระบบงานมีลักษณะอย่างไรโดยไม่ได้บอกลักษณะที่แน่ชัด ดังนั้นเมื่อจะทำการศึกษาระบบงานใดระบบงานหนึ่งจึงจำเป็นที่จะต้องบอกลักษณะที่ชัดเจนของระบบงานที่กำลังศึกษา การบอกลักษณะที่แจ้งชัดของระบบงานมักจะบอกโดยการกำหนดขอบเขตของระบบงาน (System boundaries) ซึ่งก็คือ การกำหนดองค์ประกอบของระบบ การแสดงความสัมพันธ์ระหว่างองค์ประกอบ และการกำหนดองค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่นอกระบบแต่มีผลกระทบต่อการทำงานของระบบ องค์ประกอบอื่น ๆ ที่อยู่นอกระบบนี้ เรียกโดยรวมว่าสิ่งแวดล้อมระบบงาน (System environment) องค์ประกอบต่าง ๆ ทั้งภายในและภายนอกระบบงานจะมีลักษณะเฉพาะตัว (Attributes) ที่ทำให้เกิดกิจกรรม (Activities) และกิจกรรมเหล่านั้นภายใต้เงื่อนไขบางประการจะก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสถานะภาพของระบบงาน (System status) ดังนั้นนอกจากการกำหนดขอบเขตของระบบงานแล้วยังต้องกำหนดลักษณะเฉพาะตัวขององค์ประกอบ กิจกรรมที่จะเกิดขึ้นจากองค์ประกอบ ซึ่งแสดงได้ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 *องค์ประกอบ ลักษณะเฉพาะตัว และกิจกรรมของระบบที่ทำการศึกษา*

องค์ประกอบ	ลักษณะเฉพาะตัว	กิจกรรม
ชิ้นงาน	จำนวนขั้นตอนการผลิต เครื่องจักรในการผลิตชิ้นงาน กำหนดส่ง เวลาที่ใช้ในระบบ เวลาที่งานเสร็จแล้ว	อยู่ระหว่างการผลิต
เครื่องจักร	เวลาที่ใช้ในการผลิต ประสิทธิภาพในการทำงานของเครื่องจักร	ทำงาน ว่าง
แถวคอย	ความจุ จำนวนชิ้นงานในแถวคอย	มีที่ว่างในแถวคอย เต็ม
พาหนะขนส่ง	จำนวน ความเร็ว ความสามารถในการรับชิ้นงาน ขนาด	ทำงาน ว่าง
แผนผังการเดินทางของพาหนะขนส่ง	รูปแบบ ระยะทาง ทิศทางการเดินทาง	เป็นแผนผังการเดินทางของพาหนะขนส่ง
สถานที่จอดพาหนะขนส่ง	ความจุ ตำแหน่ง	มีพาหนะขนส่งจอดอยู่ ว่าง

นอกจากนี้เรายังสามารถเขียนหน้าที่และความสัมพันธ์ขององค์ประกอบของระบบงานในลักษณะการเคลื่อนที่ของชิ้นงานผ่านกระบวนการต่าง ๆ ในระบบได้ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 และกระบวนการทำงานของ AGVs ได้ดังรูปที่ 3.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

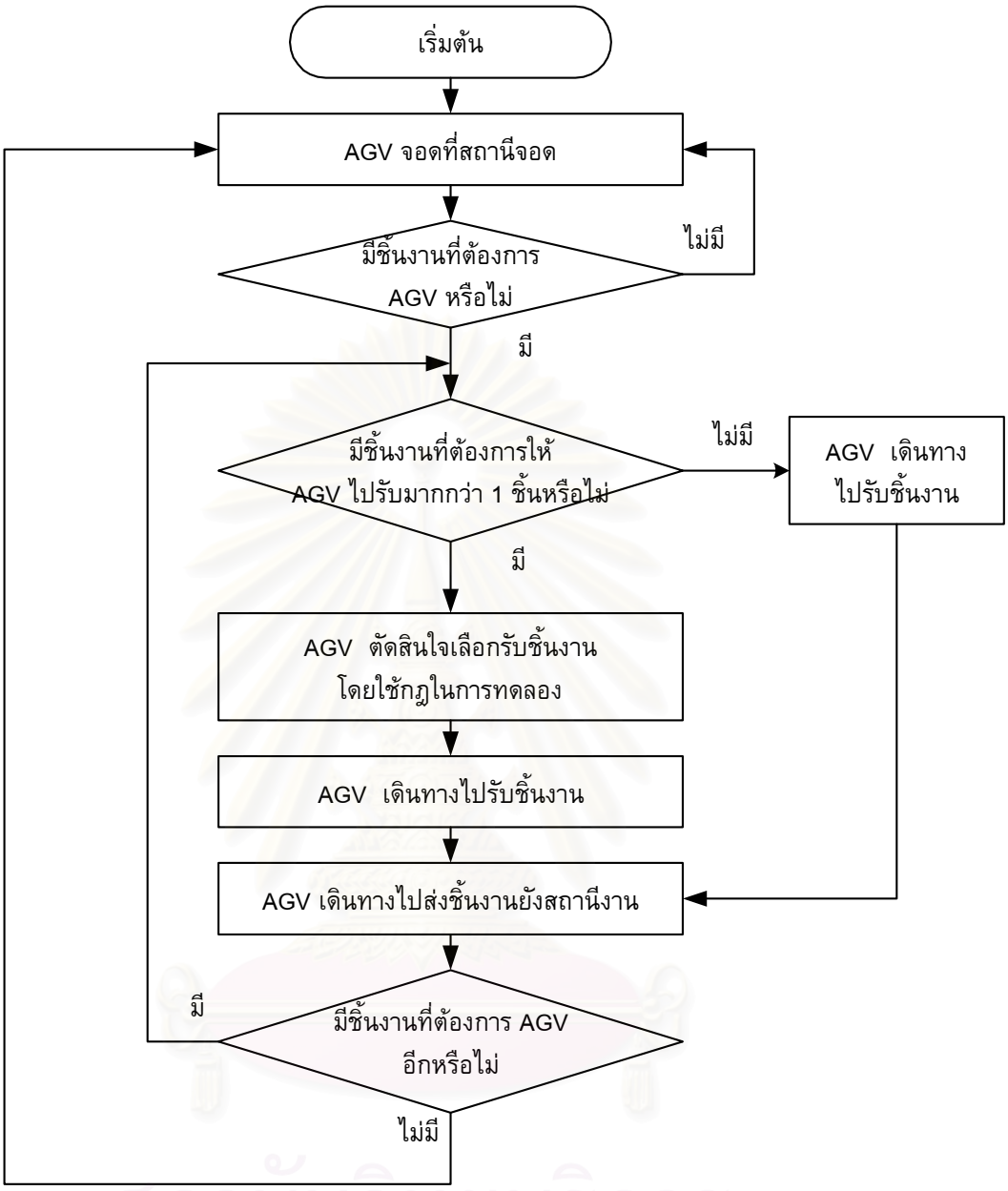


***รูปที่ 3.1** ขั้นตอนการทำงานของชิ้นงาน*

จากรูปที่ 3.1 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานได้ดังนี้

1. เริ่มต้นจากการสร้างชิ้นงาน และชิ้นงานไหลเข้าสู่ระบบการผลิต
2. กำหนดค่าต่าง ๆ ที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของชิ้นงาน เช่น ชนิดของชิ้นงาน ชนิดของลูกค้า จำนวนขั้นตอนในการผลิต เวลาในการผลิตแต่ละขั้นตอน เครื่องจักรที่ต้องดำเนินการผลิตชิ้นงาน กำหนดส่งมอบชิ้นงาน เป็นต้น
3. หลังจากนั้นชิ้นงานจะไหลของสู่แถวคอยของสถานีรับงานเพื่อรอคอยให้ AGV มารับไปยังสถานีงานที่ต้องการ
4. เมื่อ AGV ว่าง มันจะเดินทางมารับชิ้นงานแล้วนำไปส่งยังสถานีงานที่ต้องการ ถ้ากรณีที่ AGV ไม่ว่าง ชิ้นงานจะรออยู่ในแถวคอยของ AGV
5. เมื่อ AGV นำชิ้นงานไปส่งยังสถานีงานที่กำหนดแล้ว ชิ้นงานจะเข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักรเพื่อรอการผลิต
6. เมื่อเครื่องจักรว่าง เครื่องจักรจะทำการเลือกชิ้นงานในแถวคอยมาผลิต โดยเลือกจากกฎต่าง ๆ ที่ใช้ทดลอง
7. เครื่องจักรผลิตชิ้นงานตามเวลาในการผลิตที่กำหนดไว้
8. เมื่อเครื่องจักรผลิตชิ้นงานเสร็จ ชิ้นงานจะถูกส่งมายังแถวคอยขาออกของเครื่องจักร เพื่อรอพาหนะขนส่งมารับไปยังสถานีงานต่อไป
9. ในกรณีที่ชิ้นงานดำเนินการผลิตยังไม่เสร็จ ชิ้นงานรอ AGV มารับเพื่อไปยังสถานีงานต่อไป
10. ในกรณีที่ชิ้นงานดำเนินการผลิตเสร็จทุกขั้นตอนแล้ว ชิ้นงานถูกขนส่งไปยังสถานีงานส่งงานออกจากระบบ
11. ระบบจะบันทึกค่าต่าง ๆ ที่ต้องการเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์
12. ชิ้นงานจะถูกนำออกจากระบบ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 *การทำงานของ AGV*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากรูปที่ 3.2 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานได้ดังนี้

1. เริ่มต้นจาก AGV จอดอยู่ที่สถานีจอด (Staging Area)
2. เมื่อมีชิ้นงานที่ต้องการ AGV จะมีการตรวจสอบว่ามีชิ้นงานที่มากกว่า 1 ชิ้นงานที่ต้องการให้ AGV ไปรับหรือไม่
3. ถ้ามีชิ้นงานเพียง 1 ชิ้นงาน AGV จะเดินทางไปรับชิ้นงานนั้น และเดินทางไปส่งชิ้นงานยังสถานีงานที่ชิ้นงานต้องการ
4. ถ้ามีชิ้นงานมากกว่า 1 ชิ้นงานที่ต้องการ AGV ตัว AGV จะตัดสินใจเลือกรับชิ้นงานโดยเลือกใช้กฎที่ใช้ในการทดลอง และเดินทางไปส่งชิ้นงานนั้นยังสถานีงานที่ชิ้นงานต้องการ
5. เมื่อ AGV เดินทางไปส่งชิ้นงานเสร็จเรียบร้อยแล้ว จะมีการตรวจสอบดูว่ายังมีชิ้นงานใดที่ต้องการ AGV อีกหรือไม่ ถ้าไม่มี AGV จะกลับไปสู่สถานีจอด ถ้ามีชิ้นงานที่ต้องการอีก จะดำเนินการตามข้อที่ 2 อีก

3.3 การสร้างแบบจำลอง

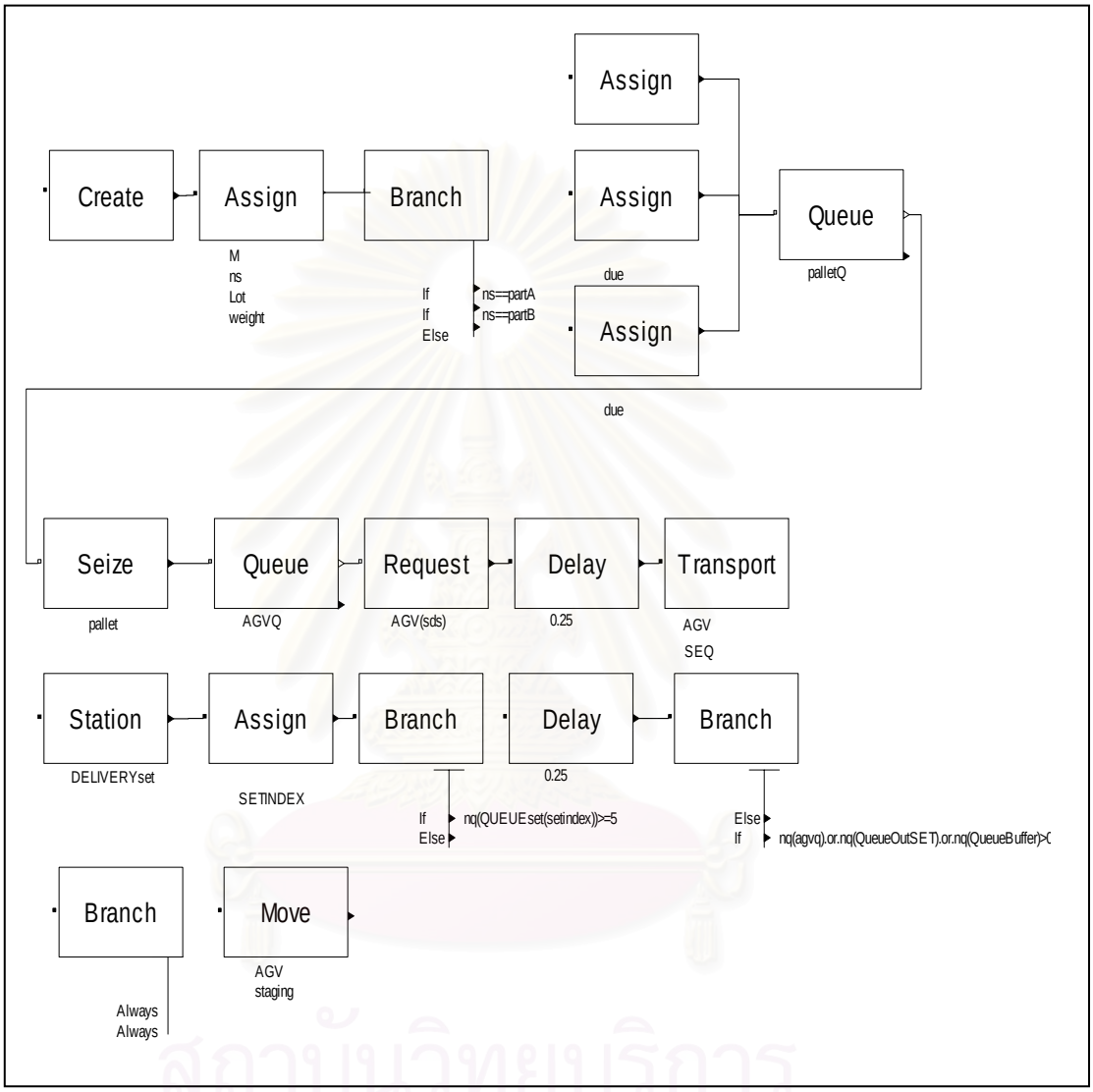
การที่จะสามารถสร้างแบบจำลองที่นำไปใช้ในการจำลองแบบปัญหาได้ ผู้สร้างต้องมีความเข้าใจในระบบงานจริงเนื่องจากความรู้ ความเข้าใจในระบบงานจริงเป็นหัวใจสำคัญของการสร้างและการใช้แบบจำลอง ผู้ที่ไม่มีความเข้าใจในระบบงานจริงจะไม่สามารถสร้างแบบจำลองซึ่งใช้แทนระบบงานนั้น ๆ ได้

แบบจำลอง หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง ที่สร้างขึ้นเพื่อใช้ศึกษาแทนระบบงานจริง ซึ่งอาจเนื่องมาจากยังไม่มีระบบนั้นเกิดขึ้นจริง หรือมีระบบงานจริงแต่เป็นการยากที่จะทำการศึกษา

การสร้างแบบจำลองด้วยคอมพิวเตอร์สำหรับงานวิจัยครั้งนี้ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARENA Version 5.01 โดยจะมีส่วนประกอบที่สำคัญ 2 ส่วน คือ Model และ Experiment ซึ่งแบบจำลองทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกันโดยมีรายละเอียดดังนี้

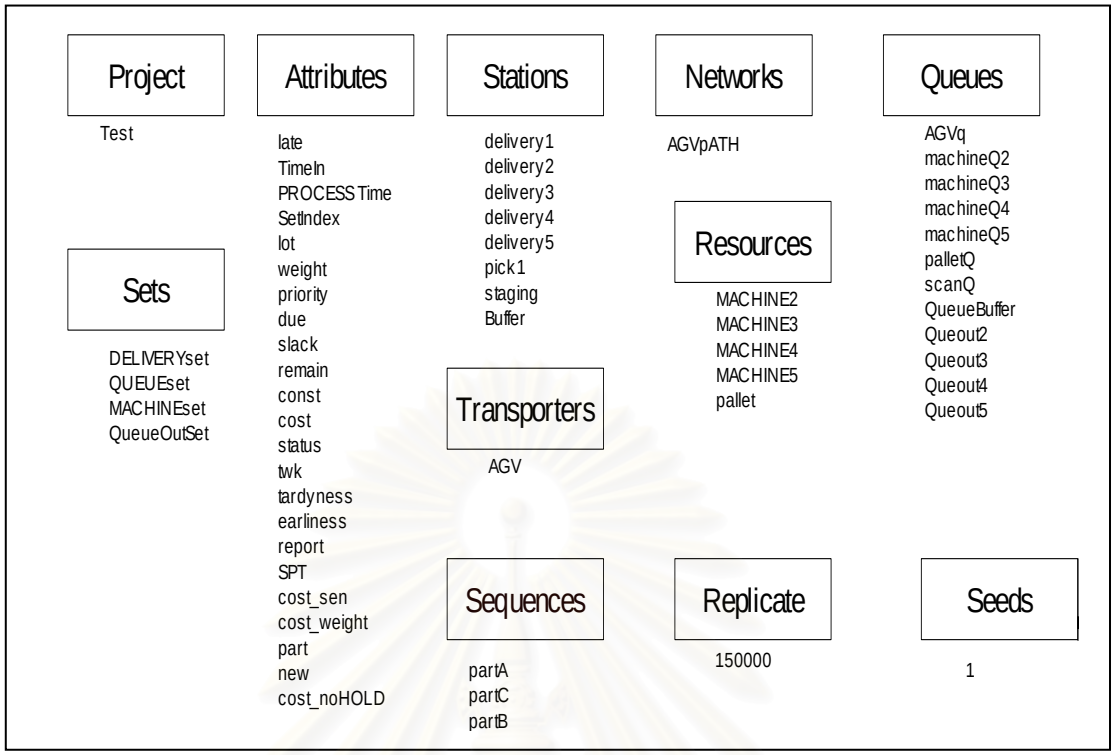
- Model จะเป็นส่วนที่ใช้อธิบายส่วนประกอบของระบบที่เราทำการศึกษา รวมทั้งใช้อธิบายความสัมพันธ์ของขั้นตอนต่าง ๆ ของระบบที่ทำการศึกษา โดยคำสั่งต่าง ๆ จะอยู่ในรูปของ Block Diagram (แสดงดังรูปที่ 3.3) ซึ่งแสดงแผนภาพการไหลของ Entity ที่เคลื่อนที่ในระบบ และแผนภาพดังกล่าวจะสร้างต่อกันเป็นลำดับตามขั้นตอนการทำงานของระบบจริง โดยมีลูกศรแสดงลำดับของ Block และแสดงการไหลของ Entity จาก Block หนึ่งไปยังอีก Block หนึ่ง ซึ่ง Block แต่ละอันจะประกอบด้วยชื่อของ Block และรายละเอียดของคำสั่งนั้น

- Experiment เป็นส่วนในการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ของการสร้างแบบจำลอง เช่น การกำหนดค่าของตัวแปรต่าง ๆ การกำหนดระยะเวลาในการทำการทดลอง ซึ่งแสดงตัวอย่างของส่วน Element ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.3 *ตัวอย่างของ Block Diagram ในโปรแกรม ARENA*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



***รูปที่ 3.4** ตัวอย่างของ Element ในโปรแกรม ARENA*

3.4 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

หลังจากทำการสร้างแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นถูกต้องตามที่ต้องการหรือไม่ เพื่อเป็นกระบวนการในการสร้างความมั่นใจให้กับผู้สร้างและผู้ใช้แบบจำลองว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นจะเป็นผลที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง

ในโปรแกรม ARENA จะมีคำสั่งต่าง ๆ ที่ช่วยในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองอยู่หลายคำสั่ง ดังต่อไปนี้

- Step Command และ Go Command

  โดยคำสั่ง Step จะเป็นคำสั่งที่ใช้แสดงการไหลทีละขั้นตอนของชิ้นงานที่ผ่าน Block ต่าง ๆ โดยการไหลนี้จะไหลตามลำดับของการสร้าง Block โดยการใช้ Step 1 ครั้ง โปรแกรมจะแสดงเวลาที่ชิ้นงานไหลผ่าน Block นั้น และรายละเอียดของ Block ที่ชิ้นงานไหลผ่าน ทำให้สามารถตรวจสอบขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองได้อย่างละเอียด แต่ถ้าต้องการตรวจสอบแบบจำลองบางช่วงเวลาสามารถใช้คำสั่ง Go Until แล้วตามด้วยเวลาที่ต้องการจะรันโปรแกรมผ่านช่วงเวลา

ที่ไม่ต้องการแล้วหยุดที่เวลาที่ต้องการ หลังจากนั้นสามารถใช้คำสั่ง Step ต่อไปได้โดยไม่ต้องเสียเวลา Step ในช่วงที่ไม่ต้องการซึ่งเป็นการเสียเวลา ทำให้การตรวจสอบแบบจำลองทำได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการใช้ Step อย่างเดียว ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Step และ Go แสดงดังรูปที่ 3.5

```
0.0>st
SIMAN Run Controller.
        *  1 ToStart     CREATE,35:,1:NEXT(ToBegin);
0.0>st
        *  2 ToBegin     ASSIGN:
                                 M=pick1:
                                 ns=DISC(0.3,partA,0.6,partB,1.0,partC,1):
                                 Weight=DISC(0.2,1,0.4,2,0.6,3,0.8,4,1.0,5):
                                 MARK(TimeIn);
0.0>go until 200
Break at time: 200.0
200.0>st
        * 67 17$          TRANSPORT:AGV,deliverySET(setindex);
```

รูปที่ 3.5 *ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Step และ Go*

- Set และ Cancel Command

  คำสั่ง Set เป็นคำสั่งที่ใช้ในการกำหนดให้โปรแกรมทำตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนคำสั่ง Cancel นั้นเป็นการใช้เพื่อยกเลิกคำสั่ง Set ซึ่งสามารถดำเนินการได้ดังนี้

  1. Set Break เป็นคำสั่งที่ใช้สำหรับการกำหนดจุดหยุดชั่วคราว ณ Block ที่กำหนด เพื่อตรวจสอบสถานะหรือการทำงานของชิ้นงานที่ Block นั้น ๆ และเมื่อต้องการยกเลิกคำสั่งนี้ใช้ Cancel Break แล้วตามด้วยชื่อ Block ที่ต้องการยกเลิก หลังจากนั้นสามารถใช้คำสั่ง Step หรือคำสั่งอื่น ๆ ต่อไปเพื่อตรวจสอบการทำงานของแบบจำลองได้ และเมื่อเราไม่ต้องการให้โปรแกรมหยุดทำงานชั่วคราวที่ Block นั้นเราสามารถใช้คำสั่ง Cancel Break แล้วตามด้วยชื่อ Block ที่ต้องการให้หยุด ซึ่งสามารถ Cancel ทีละ

Block หรือทีละหลาย Block ได้ ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set และ Cancel Command แสดงดังรูปที่ 3.6

```
200.12685>set break 55
***       Break set on block 55

200.12685>go
Break on current block.
          *          55 27$          DISPOSE:Yes;

235.5924>st
About to execute guided transport event

235.6024>cancel break 55
***       Break cancelled on block 55
```

รูปที่ 3.6 *ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Break และ Cancel Break*

2. Set Watch ใช้สำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหรือเงื่อนไขต่าง ๆ ที่ต้องการ SIMAN จะสั่งให้โปรแกรมหยุดทำงานชั่วคราวเมื่อเงื่อนไขที่กำหนดมีค่าเปลี่ยนไป ทำให้สามารถตรวจสอบค่าต่าง ๆ ที่ต้องการได้ หากต้องการยกเลิกคำสั่งนี้ให้ใช้ Cancel Watch แล้วตามด้วยเงื่อนไขที่ต้องการยกเลิก ตัวอย่างการใช้คำส่ง Set Watch และ Cancel Watch แสดงได้ดังรูปที่ 3.7

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
2250.6782>set watch nq(machineQ3)
Set Watch Expression:
Expr#  Stop    Entity   Value          Expression
   1     Y          5.0              nq(machineQ3)

2250.6782>go
***      nq(machineQ3)
         Changed value at time 2250.9942
         Old value = 5.0          New value = 4.0

2250.9942>go
***      nq(machineQ3)
         Changed value at time 2251.6504
         Old value = 4.0          New value = 5.0

2251.6504>cancel watch nq(machineQ3)
***      1 watch expressions cancelled.
```

รูปที่ 3.7 *ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Watch และ Cancel Watch*

3. Set Trace การใช้คำสั่งนี้จะคล้ายกับการใช้ Step แต่การใช้ Step 1 ครั้งจะแสดง Block ที่ชิ้นงานไหลผ่านเพียง 1 Block เท่านั้น แต่การ Set trace 1 ครั้ง จะแสดง Block ทั้งหมดที่ชิ้นงานหนึ่ง ๆ ไหลผ่าน หรือแสดง Block ต่าง ๆ ที่ชิ้นงานไหลผ่านในช่วงเวลาที่กำหนด ตัวอย่างการใช้คำส่ง Set Trace แสดงได้ดังรูปที่ 3.8

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
2357.6594>set trace entity 17
***     Trace set on entity 17

2357.6594>go
Time: 2357.9022 Entity: 17
        22 10$          BRANCH
                                Selecting at most 2 of 2 branches
                                ALWAYS: Entity 17 sent to BRANCH1
                                Entity 20 created
                                ALWAYS: Entity 20 sent to calculate
        23 branch1      BRANCH
                                Selecting at most 2 of 2 branches
                                IF: Entity 17 sent to FREEAGV2
         9 FREEAGV2     FREE
                                AGV(4) freed
                                AGV number available increased to 1
                                Entity 7 removed from queue QueueBuffer
                                Tally QueueBuffer.WaitingTime recorded 0.24283775
        10 8$           DISPOSE
                                Disposing entity 17
***     nq(machineQ3)
        Changed value at time 2538.0298
        Old value = 4.0         New value = 5.0
```

รูปที่ 3.8 *ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Trace*

4. Show Command และ View Command โดย Show Command เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงค่าของตัวแปรหรือเงื่อนไขต่าง ๆ ณ เวลานั้น ๆ แต่การใช้คำสั่ง Show นั้นจะมีข้อจำกัดคือจะแสดงค่าได้เฉพาะเงื่อนไขที่กำหนดเท่านั้น ส่วน View Command จะแสดงรายละเอียดของข้อมูลมากกว่าเกี่ยวกับสถานะของระบบ ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Show Command และ View Command แสดงดังรูปที่ 3.9

```
1000.0>show nq(agvQ)
    nq(agvQ) =      0
1000.0>show nq(machineQ5)
    nq(machineQ2) =        1

1000.0>view counters.
```

COUNTERS

Identifier	Count	Limit
EarlyJOB	64	Infinite
TardyJOB	2	Infinite
TotalJOB	66	Infinite

รูปที่ 3.9 Show Command และ View Command

3.5 การตรวจสอบความสมเหตุสมผลของแบบจำลอง

การทดสอบความสมเหตุสมผลเป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้ผู้เขียนและผู้ใช้แบบจำลองมั่นใจว่าแบบจำลองที่ได้นั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงตามวัตถุประสงค์ของการศึกษาได้หรือไม่ โดยเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้จากแบบจำลองกับระบบงานจริงว่ามีความสอดคล้องกันหรือไม่ แต่เนื่องจากระบบงานจริงของงานวิจัยนี้เป็นเพียงกรณีศึกษา จึงไม่สามารถนำผลการทดลองไปเปรียบเทียบกันได้ ดังนั้นการสร้างแบบจำลองนี้เพื่อให้มีความสมเหตุสมผลทำได้โดยการอ้างอิงข้อมูลต่าง ๆ จากผู้ที่ได้ทำการวิจัยหลาย ๆ ท่านที่ได้รับความเชื่อถือมาทำการสร้างแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้ได้อธิบายรายละเอียดไว้ในบทที่ 4

3.6 การออกแบบการทดลอง

เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ได้ตามที่ต้องการ โดยมีรายละเอียดในบทที่ 4

3.7 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง

เป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับวิเคราะห์ผลเพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับขั้นตอนการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองเป็นเพียงการบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นการบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้งจึงจะได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม

ก่อนดำเนินการทดลองต้องทำการวิเคราะห์ก่อนว่าระบบที่ศึกษามีลักษณะแบบใด ซึ่งโดยทั่วไปสามารถแบ่งระบบได้ 2 แบบคือ

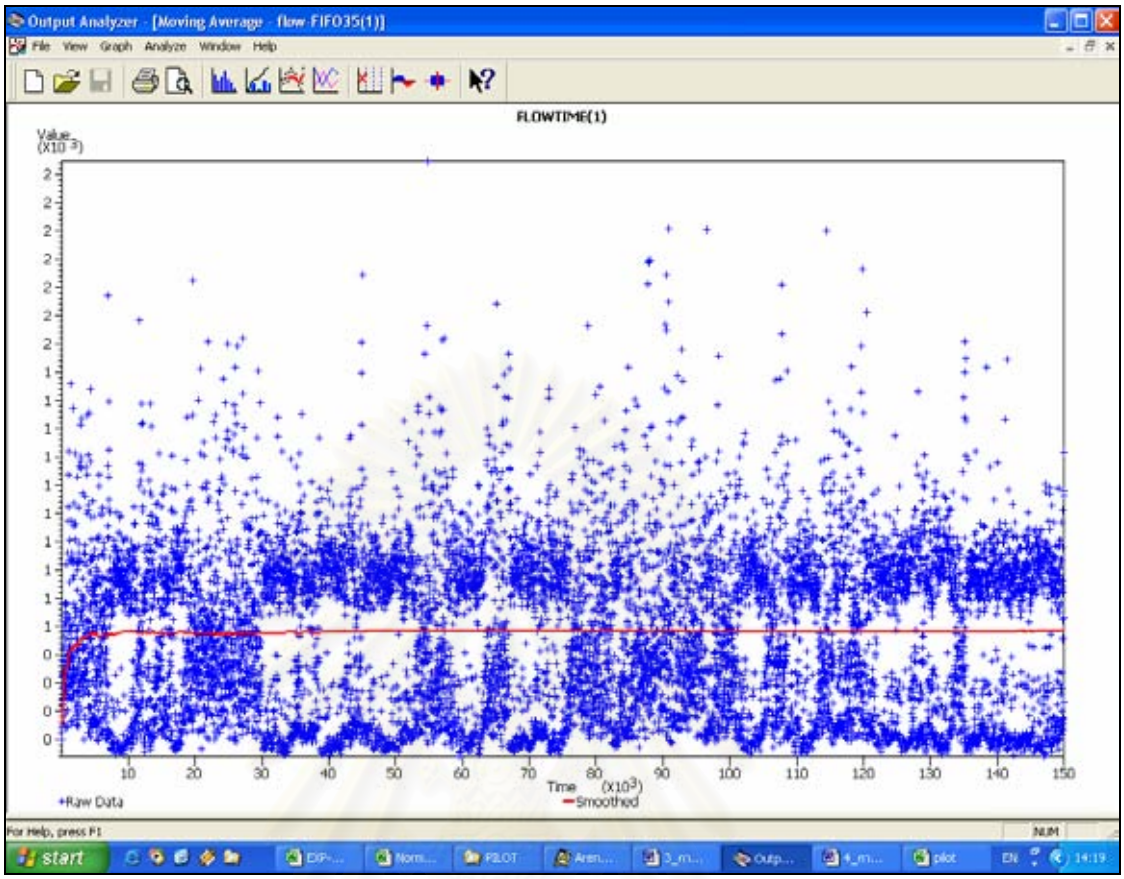
1. Terminating System เป็นระบบที่สามารถกำหนดจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของการทำงานได้ เช่น ธนาคาร จะมีการทำงานในช่วงเวลาที่กำหนดเท่านั้นคือ 8.30 น. ถึง 15.30 น.
2. Non Terminating System เป็นระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดของการทำงานได้

ระบบที่ทำการศึกษาในกรณีเป็นระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมง ซึ่งไม่สามารถกำหนดุจุดสิ้นสุดได้ จึงถือว่าเป็น Non Terminating System โดยจะต้องดำเนินการหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสมเพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่ต้องการทำได้โดยการทำ Pilot Run ซึ่งเป็นการทำการทดลองเบื้องต้นโดยมีวัตถุประสงค์คือ

การหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง

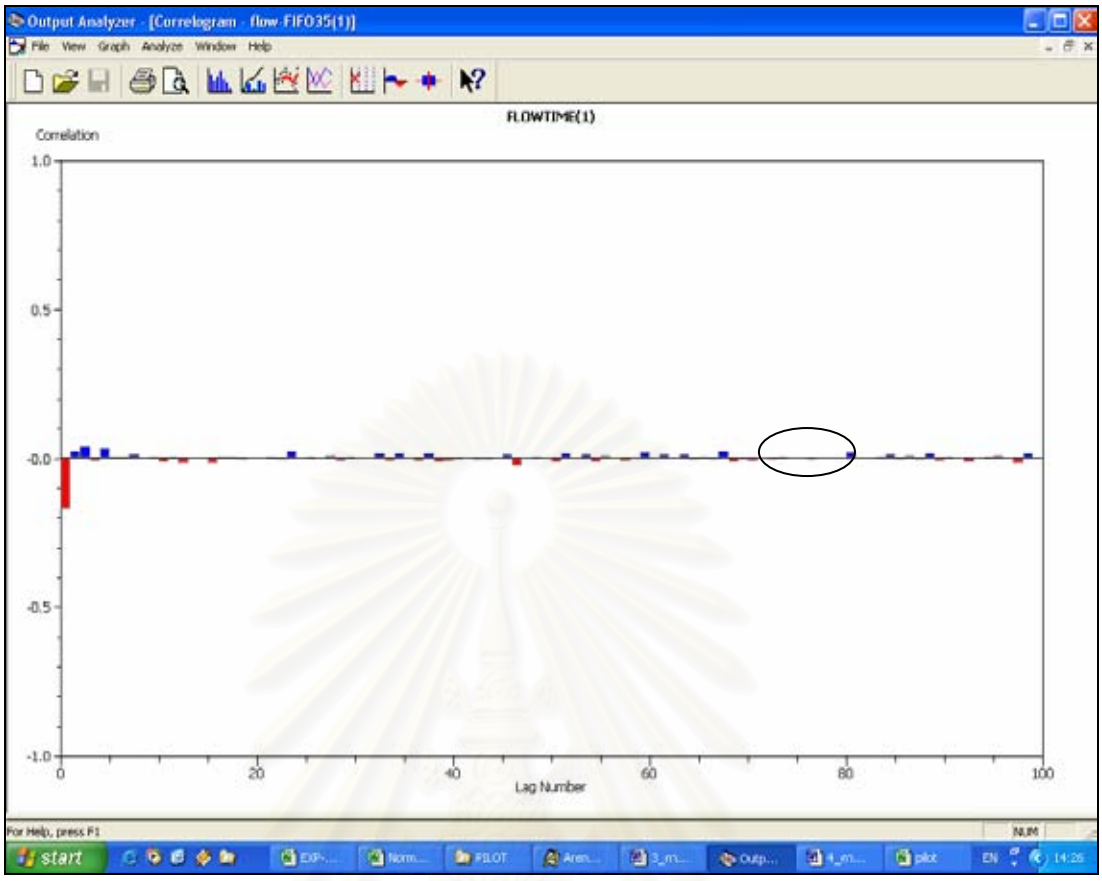
เนื่องจากระบบที่ทำการศึกษาเป็นระบบที่มีการทำงานตลอด 24 ชั่วโมงซึ่งไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดได้จึงถือเป็น Non Terminating System จึงดำเนินการหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสมเพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่ต้องการโดยทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) ซึ่งเป็นการทำการทดลองเบื้องต้นโดยมีวัตถุประสงค์คือ

- เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว เนื่องจากในการทดลองช่วงแรกอาจมีการแกว่งของข้อมูลทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานยังไม่เต็มที่ จึงไม่ควรนำข้อมูลช่วงแรกทำการวิเคราะห์ วิธีการทำคือนำข้อมูล Flowtime มาหา Moving Average แบบ Cumulative ดังรูปที่ 3.10 โดยเวลาที่ทำการทดลองเบื้องต้นเท่ากับ 150,000 นาที และมีจำนวนข้อมูลเท่ากับ 9,420 ข้อมูล จากการทดลองพบว่า จุดที่ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวมีค่าประมาณ 20,000 นาที ดังนั้นช่วงสภาวะคงตัว คือ 20,000 นาที



รูปที่ 3.10 *กราฟ Moving Average ของการทำงานทดลองเบื้องต้น (Pilot Run)*

- เพื่อหาขนาดของจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมต่อการรัน 1 ครั้ง เพื่อต้องการให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งเป็นอิสระต่อการ โดยนำข้อมูล Flowtime มาพล็อตกราฟ Correlogram ดังรูปที่ 3.11 จาก Rule of Thumb (Pegden, et al., 1995) พบว่าจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณ 10 เท่าของจำนวน Lag จะหาได้จากกราฟที่มีค่าใกล้ศูนย์ ในการทดลองนี้ได้จำนวน Lag ประมาณ 75 แต่ในการทดลองนี้จะทำการคูณด้วย 50 เท่าของจำนวน Lag ดังนั้นจำนวนข้อมูลต่อ 1 รอบการทดลองไม่ควรจะน้อยกว่า 3750 ข้อมูล จึงเพียงพอที่จะถือว่าเป็นอิสระแก่กัน ซึ่งจากการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูล 3750 ข้อมูล นั้นจะต้องทำการรันโปรแกรมเป็นเวลา 59,713.4 นาที ดังนั้นจึงใช้เวลาในการรันข้อมูล 150,000 นาที โดยมีเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว 20,000 นาที เวลาในการทดการทดลองจริงคือ 130,000 นาที เท่ากันทุกการทดลอง ซึ่งเป็นระยะเวลาที่มากกว่าระยะเวลาที่ทำให้ข้อมูลเพียงพอที่จะถือว่าเป็นอิสระแก่กัน



รูปที่ 3.11 กราฟ Correlogram ของการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run)

3.8 การดำเนินการทดลอง

เป็นการทำการทดลองจริงเพื่อเก็บผลลัพธ์ต่าง ๆ ที่ได้จากการทดลองสำหรับนำไปใช้ในการวิเคราะห์ผลต่อไป

3.9 การตีความผลการทดลอง

เป็นการนำผลการทดลองมาตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร ซึ่งจะทำการวิเคราะห์และประเมินผลการทดลองในบทที่ 5

3.10 การจัดทำเป็นเอกสารใช้งาน

เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลอง โครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งานและผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงดัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ โดยในการจัดทำเอกสารสำหรับงานวิจัยครั้งนี้เป็นการรวบรวมผลการวิจัยทั้งหมดไว้ในวิทยานิพนธ์

3.11สรุป

แบบจำลองปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้คอมพิวเตอร์ในการช่วยการทำงาน โดยใช้โปรแกรม Arena version 5.0 ในการจำลองแบบปัญหา ซึ่งลักษณะของโปรแกรมจะเป็น Block ที่เรียงตามลำดับการไหลของการทำงาน โดยมีส่วนประกอบ 2 ส่วนคือ Model และ Experiment หลังจากสร้างแบบจำลองขึ้นมาแล้วจะทำการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นถูกต้องตามวัตถุประสงค์หรือไม่ โดยในโปรแกรม ARENA มีคำสั่งต่าง ๆ ที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เช่น Step Command, Set Command และ Show Command เป็นต้น

เมื่อตรวจสอบแบบจำลองเรียบร้อยแล้ว ก่อนดำเนินการทดลองจริงจะต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสม ได้แก่ เวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว โดยทำการทดลองเบื้องต้น 150,000 นาที พบว่าเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 20,000 นาที เวลาที่ใช้ในการทดลองจริง เท่ากับ 130,000 นาที และจำนวนการทำซ้ำเท่ากับ 5

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง

4.1 บทนำ

ในการออกแบบการทดลองจะต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองให้กับแบบจำลองปัญหา ซึ่งได้แก่ ลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น การกำหนดจำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบ การกำหนดส่งชิ้นงาน กฎการจ่ายงาน และเกณฑ์วัดประสิทธิภาพของระบบ ซึ่งพารามิเตอร์บางส่วนได้มาจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และบางส่วนได้มากจากการทดลองเบื้องต้น ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

4.2 ลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

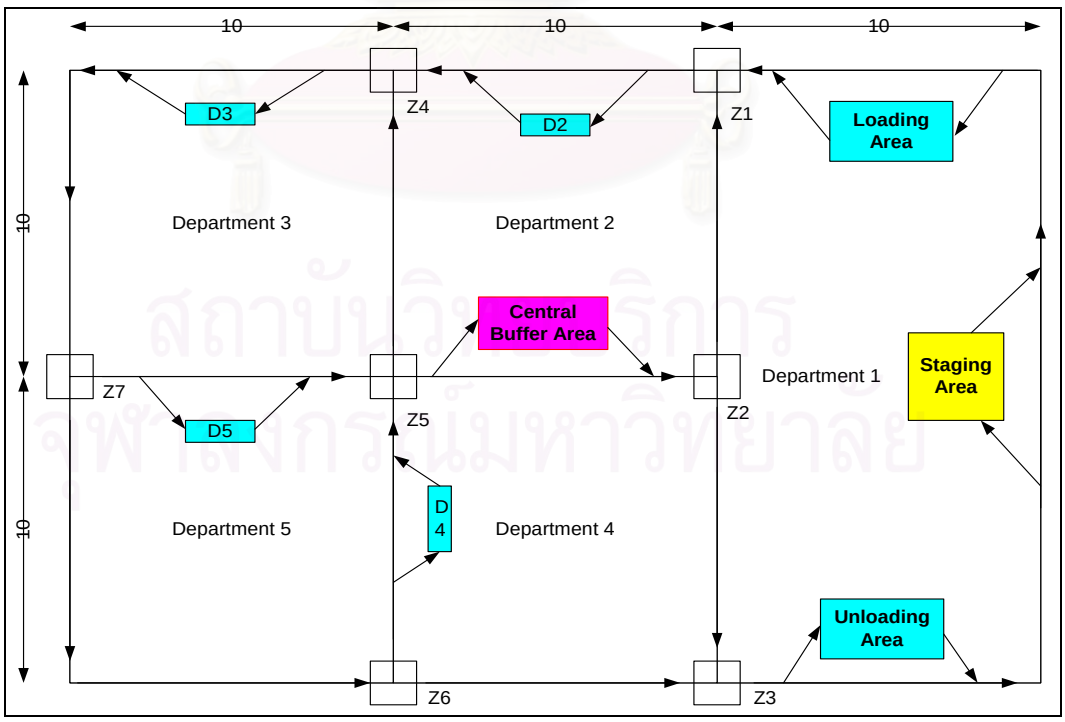
ลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (System Configuration) ในงานวิจัยส่วนมากจะประกอบด้วยจำนวนเครื่องจักรที่แตกต่างกัน ขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของระบบผลิตที่ต้องการศึกษา เช่น

- งานวิจัยของ Sabuncuoglu and Hommertzheim (1992, 1995) และ Sabuncuoglu (1998) ศึกษาระบบผลิตแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยเครื่องจักรหลัก 6 เครื่องที่มีบัฟเฟอร์ขาเข้า (Input Buffer) ที่จำกัด สถานีตรวจสอบ 1 สถานี สถานีการล้าง 1 สถานี สถานีนำชิ้นงานเข้า และออกอย่างละ 1 สถานี
- งานวิจัยของ Sabuncuoglu and Karabuk (1999) ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยเครื่องจักร 6 เครื่องที่มีบัฟเฟอร์ขาเข้าและขาออก (Input/Output Buffer) ที่จำกัด และสถานีนำชิ้นงานเข้าและออก 1 สถานี
- งานวิจัยของ Hoffmann and Scudder (1983, 1985) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 9 เครื่อง
- งานวิจัยของ Park, Lei and Lee (2001) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 9 เครื่อง และมี 2 separate local buffer storage สำหรับชิ้นงานเข้าและออก
- งานวิจัยของ Montazeri and Wassenhove (1990) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 4 เครื่อง
- งานวิจัยของ Farling, Mosier and Mahmoodi (2001) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 3, 6 และ 9 เครื่อง

- งานวิจัยของ Denzler and Boe (1987) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร CNC 16 เครื่อง
- งานวิจัยของ Kim and Bobrowski (1994) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 6 เครื่อง
- งานวิจัยของ Rohleder and Scudder (1992) ศึกษาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 9 เครื่อง
- งานวิจัยของ Liu and Duh (1992) ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยเครื่องจักร 4 เครื่อง และ สถานีนำชิ้นงานเข้าและออก 1 สถานี

ในงานวิจัยนี้จำนวนเครื่องจักรและแผนผังของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นได้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Liu and Duh (1992) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- มี 5 Workstations โดย Workstation 2-5 เป็น M/C Centers และ Workstation 1 เป็น Storage Area
- มี 4 AGVs
- แต่ละ M/C ทำได้แค่ 1 Operations ณ เวลาหนึ่ง ๆ เท่านั้น และมีบัฟเฟอร์ขาเข้า/ขาออก
- แผนผังระบบผลิตที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แผนผังระบบผลิต

จำนวนขั้นตอนในการผลิต (Operation number)

จากการศึกษางานวิจัยต่าง ๆ เกี่ยวกับจำนวนขั้นตอนในการผลิตชิ้นงาน นั้นมีวิธีการกำหนดที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

- งานวิจัยของ Sabuncuoglu and Hommertzheim (1992, 1995) และ Sabuncuoglu (1998) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตมีการกระจายแบบยูนิฟอร์ม ระหว่าง 1 ถึง 6 ขั้นตอน
- งานวิจัยของ Sabuncuoglu and Karabuk (1999) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตชิ้นงาน เท่ากับ 5 และ 6 ด้วยความน่าจะเป็น 0.5 และ 0.5 ตามลำดับ
- งานวิจัยของ Hoffmann and Scudder (1983, 1985) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 7 ขั้นตอน
- งานวิจัยของ Park, Lei and Lee (2001) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตมีค่าอยู่ระหว่าง 2 ถึง 3 ขั้นตอน
- งานวิจัยของ Kim and Bobrowski (1994) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตมีการกระจายแบบจีโอเมตริกซ์มีค่าระหว่าง 1 ถึง 15 ขั้นตอน
- งานวิจัยของ Rohleder and Scudder (1992) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตมีการกระจายแบบยูนิฟอร์มมีค่าระหว่าง 2 ถึง 7 ขั้นตอน
- งานวิจัยของ Liu and Duh (1992) กำหนดให้มีจำนวนขั้นตอนในการผลิตของชิ้นงานแต่ละชนิดเท่ากับ 3 ขั้นตอน โดยมีลำดับในการผลิตของบนเครื่องจักรแต่ละเครื่องแตกต่างกันออกไปตามชนิดของชิ้นงาน

ในงานวิจัยนี้จำนวนจำนวนขั้นตอนในการผลิต และลำดับในการผลิตของบนเครื่องจักรได้ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Liu and Duh (1992) ซึ่งมีส่วนประกอบดังนี้

- จำนวนและชนิดของชิ้นงาน = 3 คือ A B และ C ด้วยความน่าจะเป็น = 0.3, 0.3 และ 0.4 ตามลำดับ โดยมีรายละเอียด ดังนี้ตารางที่ 4.1

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 *แสดงรายละเอียดของจำนวนและชนิดของชิ้นงาน*

ชนิดชิ้นงาน	ลำดับการผลิต	ค่าเฉลี่ยของเวลาในการผลิตบนแต่ละเครื่องจักร	ค่าเฉลี่ยเวลารวมในการผลิต
A	1,2,3,4,1	0,11,21,7,0	39
B	1,3,5,4,1	0,15,15,23,0	53
C	1,4,3,2,5,1	0,10,6,18,17,0	51

หมายเหตุ โดยเวลาในการผลิตมีการกระจายแบบปกติ ที่มีค่าความแปรปรวน = 10 % ของค่าเฉลี่ย

- จำนวนและประเภทของลูกค้า = 5 คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 ด้วยความน่าจะเป็น = 0.2, 0.2, 0.2, 0.2 และ 0.2 ตามลำดับ ซึ่งเป็นตัวแทนเพื่อให้น้ำหนักแก่ลูกค้าแต่ละประเภทแตกต่างกันไปตามความสำคัญ

สมมติฐานของการทดลอง

1. เวลาดำเนินงานสร้างจากการกระจายความน่าจะเป็นที่กำหนดในตารางที่ 4.1
2. เวลาปรับตั้งเครื่องสำหรับแต่ละการดำเนินงานจะไม่ขึ้นกับลำดับงานที่อยู่ก่อนหน้าและถูกรวมเอาไว้แล้วกับเวลาดำเนินงาน
3. เวลาส่งมอบถูกกำหนดให้และมีค่าคงที่
4. มีการยอมให้ลูกค้าเลื่อนเวลาส่งมอบให้กระชั้นเข้ามาได้ตามสัดส่วนที่ใช้ในปัจจัยการทดลองด้านสภาวะการเร่งงาน
5. จุดของการเกิดสภาวะเร่งงานคือ จุดเริ่มต้นของการดำเนินงาน
6. ไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น
7. เวลาขนย้ายชิ้นงานระหว่างเครื่องจักรมีค่าน้อยมากและสามารถตัดทิ้งได้
8. เครื่องจักรทุกเครื่องไม่มีการเสีย
9. ไม่มีงานเสียหรืองานที่ต้องนำกลับไปซ่อมใหม่เกิดขึ้นจากการทำงานของทุกเครื่องจักร
10. งานทั้งชิ้นจะต้องถูกทำให้เสร็จก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องจักรอื่นได้
11. เมื่อชิ้นงานชิ้นแรกดำเนินการเสร็จ งานชิ้นต่อไปจะถูกดำเนินการทันที
12. มีเพียงหนึ่งงานเท่านั้นที่อยู่บนเครื่องจักรได้ที่เวลาใดเวลาหนึ่ง
13. ไม่มีการยกเลิกคำสั่งซื้อจากลูกค้า
14. ค่าทางสถิติจะถูกเก็บหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวแล้ว

นอกจากนี้ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นยังต้องมีระบบขนถ่ายวัสดุเป็นส่วนประกอบ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้ AGV เป็นพาหนะสำหรับขนถ่ายวัสดุ โดยมีรายละเอียดดังนี้

- จำนวน AGV ที่ใช้คือ 4 ตัว โดยแต่ละตัวสามารถรับชิ้นงานได้ 1 ชิ้น
- ความเร็วในการเดินทางของ AGV คือ 200 ฟุตต่อนาที
- AGV สามารถเดินทางได้สองทิศทาง
- AGV แต่ละตัวสามารถทำงานได้อย่างต่อเนื่องโดยไม่มีการเสียหายใด ๆ เกิดขึ้นตลอดระยะเวลาทำการทดลอง
- ในสภาวะเริ่มต้นและเมื่อ AGV ว่างมันจะกลับมาจอดที่จุดจอด (Staging)

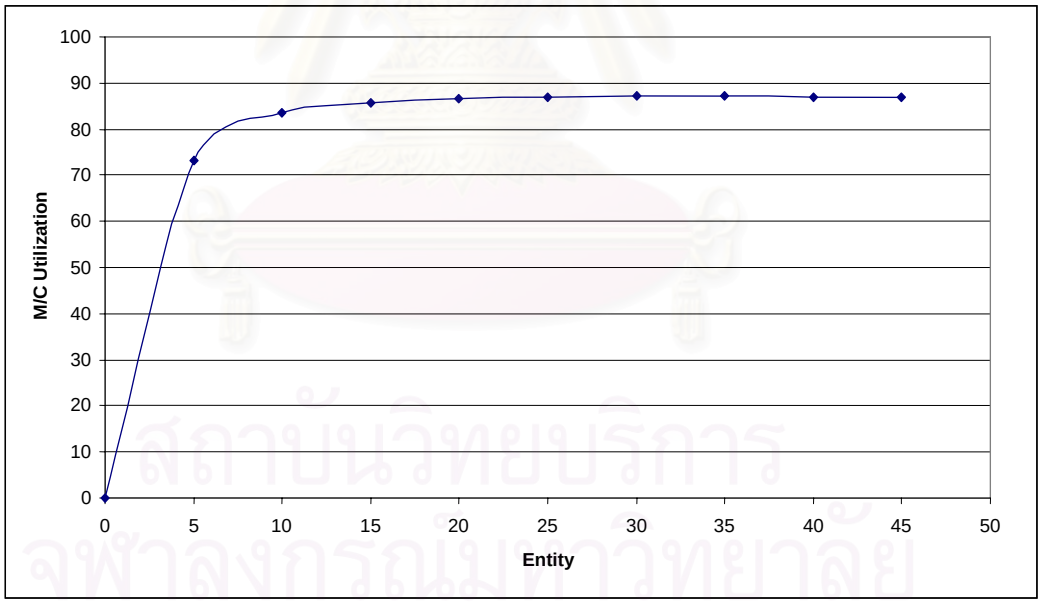
4.3 จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบ

จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบหมายถึง จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบผลิตในช่วงเวลาใด ๆ สาเหตุที่ต้องกำหนดชิ้นงานที่อยู่ในระบบเพราะถ้าจำนวนชิ้นงานในระบบมีน้อยเกินไปอาจทำให้ประสิทธิภาพของระบบลดลง แต่ถ้าจำนวนชิ้นงานในระบบมีมากเกินไปอาจส่งผลให้เกิดการแออัดในระบบ การกำหนดจำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบที่เหมาะสมนั้นขึ้นกับวัตถุประสงค์ของผู้ทำการวิจัยซึ่งมีค่าแตกต่างกันไป ส่วนมากจะพิจารณาจากจำนวนชิ้นงานที่ทำให้ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมีค่าสูงสุด หรือประมาณ 80 เปอร์เซ็นต์ขึ้นไป งานวิจัยครั้งนี้กำหนดให้จำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบที่เหมาะสมโดยให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของจักรมีค่าสูงสุด โดยดำเนินการทดลองเปลี่ยนแปลงจำนวนชิ้นงานครั้งละ 5 ชิ้นงาน แล้วบันทึกค่าประสิทธิภาพของการใช้งานเครื่องจักร และเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ แสดงในตารางที่ 4.2 แล้วนำไป พล็อตกราฟได้ดังรูปที่ 4.2 และ 4.3 ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรสูงสุดที่ 87.1 เปอร์เซ็นต์ หลังจากจุดนี้แล้วประสิทธิภาพของเครื่องจักรเริ่มมีค่าลดลง หรือคงที่ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงเลือกจำนวนชิ้นงานที่เหมาะสมที่อยู่ในระบบคือ 35 ชิ้นงาน ซึ่งให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรเท่ากับ 87.1 เปอร์เซ็นต์

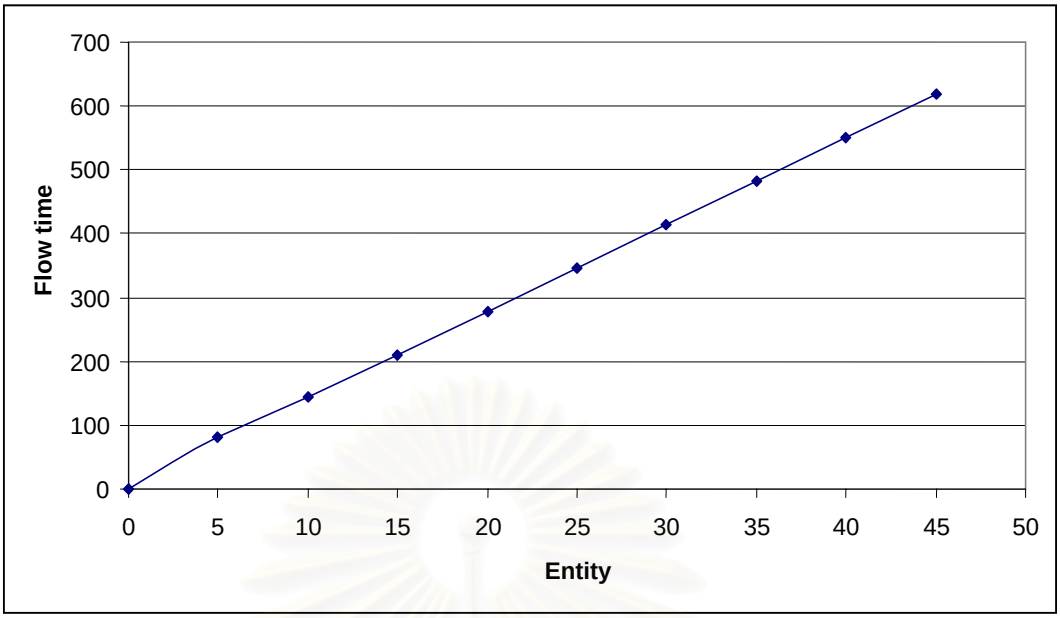
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 *ตารางแสดงเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และเปอร์เซ็นต์การใช้งานของเครื่องจักร กับจำนวนชิ้นงานในระบบ*

จำนวนชิ้นงานในระบบ	เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ	เปอร์เซ็นต์การใช้งานของเครื่องจักร
5	82.1	73.1
10	143.8	83.5
15	210.1	85.8
20	277.7	86.6
25	345.3	86.9
30	413.5	87.0
35	482.9	87.1
40	549.7	87.0
45	619.0	87.0



รูปที่ 4.2 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานในระบบกับเปอร์เซ็นต์การใช้งานของเครื่องจักร*



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนชิ้นงานในระบบกับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

4.4 การกำหนดเวลาส่งมอบชิ้นงาน

วิธีการกำหนดเวลาส่งมอบและความกระชั้น (Tightness) ของเวลาส่งมอบจะส่งผลต่อสมรรถนะของระบบและสมรรถนะในเชิงเปรียบเทียบของกฎการจ่ายงาน ซึ่งวิธีการในการกำหนดเวลาส่งมอบมี 4 แนวทางที่ใช้กันอย่างแพร่หลาย (ปารเมศ, 2546) คือ

1. กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (Total Work, TWK) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด โดยอาจจะใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน(ค่าคงที่) คูณกับภาระงานทั้งหมด และใช้ค่าผลคุณที่ได้นี้เป็นระยะเวลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน
2. กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (Number of Operations, NOP) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของการดำเนินงานทั้งหมด โดยอาจจะใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน(ค่าคงที่) คูณกับจำนวนการดำเนินงานทั้งหมด และใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน
3. กำหนดให้มีค่าคงที่ (Constant, CON) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้มีระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง และค่าคงที่นี้จะใช้กับทุกงาน
4. กำหนดแบบสุ่ม (Random, RAN) กำหนดเวลาส่งมอบของงานโดยใช้วิธีการสุ่ม

โดยในงานวิจัยทั่วไปจะเลือกวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบแบบ TWK ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมมากที่สุด และมีประสิทธิภาพมากที่สุดสำหรับเกณฑ์การวัดผลโดยพิจารณาจากเวลาที่งานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด (Baker, 1943) นอกจากนี้แล้วผลการทดลองของ Sabuncuoglu และ Hommertzheim (1995) สรุปว่าในกรณีที่เวลาในการผลิตมีการกระจายความน่าจะเป็นแบบเอ๊กซ์โปเนนเชียล TWK เป็นวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่งานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุด สำหรับเงื่อนไขส่วนใหญ่ที่ใช้ในการทดลอง และในการทดลองของ Rohleder และ Scudder (1992) ใช้ TWK เป็นวิธีกำหนดเวลาส่งมอบเช่นกัน

สำหรับงานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยใช้วิธีกำหนดส่งชิ้นงานทั้ง 4 แบบข้างต้นเพื่อทดสอบว่าวิธีการกำหนดส่งชิ้นงานจะมีผลต่อประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานต่าง ๆ หรือไม่ โดยวิธีการคือการคูณค่าแฟคเตอร์เข้ากับเวลาทั้งหมดที่ใช้ในการผลิตสำหรับวิธีการแบบ TWK การคูณค่าแฟคเตอร์เข้ากับจำนวนของการดำเนินงานสำหรับวิธีการแบบ NOP การกำหนดค่าคงที่สำหรับวิธีการแบบ CON และกำหนดตัวเลขสุ่มขึ้นมาสำหรับวิธีการแบบ RAN โดยไม่มีการกำหนดตายตัวว่าค่าแฟคเตอร์ หรือค่าคงที่ หรือค่าตัวเลขสุ่ม จะต้องเท่ากับเท่าไร แต่วิธีการหนึ่งที่นิยมคือกำหนดค่าดังกล่าวที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์งานล่าช้าตามที่ต้องการ สำหรับงานวิจัยนี้กำหนดส่งชิ้นงานโดยกำหนดค่าดังกล่าวเพื่อให้ได้จำนวนของงานที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดมีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ และทำให้สามารถพิจารณาในด้านเวลาและค่าใช้จ่ายเมื่องานเสร็จล่าช้าได้ โดยทำการทดลองเพื่อหาค่าคงที่ดังกล่าว สามารถสรุปดังนี้

1. กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (TWK) ใช้ค่าแฟคเตอร์ เท่ากับ 14
2. กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (NOP)ใช้ค่าแฟคเตอร์ เท่ากับ 210
3. กำหนดให้มีค่าคงที่ (CON) ใช้ค่าคงที่ เท่ากับ 720
4. กำหนดแบบสุ่ม (RAN) ใช้โดยกำหนดให้เป็นค่าตัวเลขสุ่ม

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

4.5 สภาวะการเร่งงาน

เป็นปัจจัยที่นำมาใช้ในการทดลองเพื่อศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิต โดยปัจจัยที่ใช้ในการทดลองมีดังนี้

1. สภาวะปกติ
2. สภาวะเร่งงาน
   - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10%
   - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 20%
   - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10%
   - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 20%

4.6 กฎการจ่ายงานที่ใช้ในการทดลอง

1. FIFO (First In First Out)
   เป็นกฎพื้นฐาน โดยให้ความสำคัญกับชิ้นงานที่เข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักรตามลำดับ ชิ้นงานใดเข้าสู่แถวคอยก่อนจะได้รับการบริการก่อน

2. SPT (Shortest Processing Time)
   เนื่องจาก SPT เป็นกฎที่ดีที่สุดในการนำไปใช้งานในกรณีที่เป้าหมายของการจัดตาราง คือการหาเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่า SPT นั้นมีเวลาเฉลี่ยของงานเสร็จล่าช้าต่ำสุดด้วย (Baker, 1943)

3. WSPT (Weighted Shortest Processing Time)
   นอกจากใช้กฎ SPT เป็นกฎในการทดสอบแล้ว ในการทดลองนี้ยังได้ศึกษาภายใต้ระบบที่งานแต่ละชนิดขึ้นกับคุณสมบัติอีกอย่างหนึ่งคือ ความสำคัญของลูกค้าแต่ละราย ซึ่งจะเป็นตัวถ่วงน้ำหนักถึงความสำคัญ โดยถ้าลูกค้าคนใดมีสำคัญมาก จะมีค่าถ่วงน้ำหนักมากตามด้วยเช่นกัน

4. EDD (Earlier Due Date)

เนื่องจากปัจจัยในการจัดตารางอีกอย่างหนึ่งคือ การทำงานให้เสร็จตามกำหนดส่งมอบ ดังนั้นจึงให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับงานที่มีเวลาส่งมอบกระชั้นสุดก่อน และกฎ EDD ยังเป็นกฎที่ง่ายและใช้กันมากในการปฏิบัติ (Rohleder and Scudder, 1992)

5. TEC (Total Expected Cost)

นอกจากเกณฑ์อิงฐานเวลา และเวลาส่งมอบแล้ว ยังมีอีกเกณฑ์หนึ่งในการพิจารณา คือ เกณฑ์อิงค่าใช้จ่าย (Cost Based Criteria) เป็นกฎในการพิจารณาด้วย

ในงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 : กรณีที่คาดว่าชิ้นงานจะถูกผลิตเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด จะคิดค่าของ TEC ดังนี้

TEC (Total Expected Cost) =

Cost of Tardiness X Weight

สามารถหาได้จากสมการที่ 4.1

$$TEC_j = (T_j \times 1 \times W_i) \qquad \textbf{(4.1)}$$

โดยที่

TEC_j หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ถูกคาดหวังที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ j เมื่อผลิตชิ้นงาน j เสร็จล่าช้า

T_j หมายถึง เวลาที่ชิ้นงานที่ j เสร็จล่าช้ากว่ากำหนด

W_i หมายถึง ความสำคัญของลูกค้าประเภท i

1 เป็นค่าใช้จ่ายชิ้นงานที่ j เนื่องจากงานล่าช้าต่อชิ้นต่อ 1 หน่วยเวลา

ภายใต้สมมติฐาน

- ค่าใช้จ่ายเนื่องจากงานล่าช้าจะขึ้นกับประเภทของลูกค้าที่มีความสำคัญ (Weight) ไม่เท่ากัน

กรณีที่ 2 : *คาดว่าชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนด*

TEC (Total Expected Cost) = Lateness

สามารถหาได้จากสมการที่ 4.2

$$TEC_j = \quad L_j \qquad \textbf{(4.2)}$$

โดยที่

TEC_j หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ถูกคาดหวังที่จะเกิดขึ้นกับชิ้นงานที่ j เมื่อผลิตชิ้นงาน j เสร็จก่อนกำหนด

L_j หมายถึง ค่าเวลาสายของชิ้นงานที่ j

4.7 เกณฑ์วัดสมรรถนะของกฎการจ่ายงาน

เกณฑ์ (Criteria) การจัดตารางเป็นเครื่องมือในการประเมินวิธีจัดตารางที่แตกต่างกัน เกณฑ์เหล่านี้ถูกพัฒนาขึ้นตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบันโดยนักวิจัยจำนวนมาก เพื่อสะท้อนให้เห็นถึงวัตถุประสงค์ของการจัดตารางที่ขณะใดขณะหนึ่ง และยังใช้ในการประเมินประสิทธิผลของกฎการจ่ายงานที่แตกต่างกันอีกด้วย ดังนั้นจึงทำให้เกณฑ์เหล่านี้มีความหลากหลาย นอกจากนั้นแล้วยังพบว่า โดยทั่วไปแล้วเกณฑ์การจัดตารางสามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. เกณฑ์ที่อิงฐานเวลา (Time-Based Criteria) เช่น เกณฑ์ที่อิงกับเวลาเสร็จงาน งานระหว่างกระบวนการ หรือการใช้งานเครื่องจักร เป็นต้น
2. เกณฑ์ที่อิงฐานเวลาส่งมอบ (Due-Date Based Criteria) เช่น เกณฑ์ที่อิงกับเวลาสายของงาน เวลาล่าช้าของงาน หรือจำนวนงานที่ส่งมอบไม่ทันตามกำหนด เป็นต้น

เกณฑ์ที่ใช้ในการวัดประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่

1. ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ (Mean Flowtime) โดยพิจารณาตั้งแต่ชิ้นงานเริ่มเข้าสู่ระบบ จนกระทั่งออกจากระบบ
2. ค่าเฉลี่ยของเวลาที่งานเสร็จล่าช้า (Mean Tardiness) โดยจะทำการพิจารณาเฉพาะเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด
3. ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด (Average Total Cost) โดยที่

Total Cost = Holding Cost + (Cost of Tardiness×Weight)

4. ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร (Average Machine Utilization)

4.8 ปัจจัยการทดลอง

1. กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร

- FIFO (First In First Out) ลำดับความสำคัญของงานที่ถูกเลือก จะพิจารณาจากงานที่เข้าสู่ระบบแถวคอยของเครื่องจักรก่อน
- SPT (Shortest Processing Time) ลำดับความสำคัญของงานที่ถูกเลือกจะพิจารณาจากเวลาการผลิตที่สั้นที่สุดของการผลิตขั้นตอนนั้น ๆ ก่อน
- WSPT (Weighted Shortest Processing Time) ลำดับความสำคัญของงานที่ถูกเลือก จะพิจารณาจากค่าของเวลาการผลิตหารด้วยน้ำหนักที่สั้นที่สุดของการผลิตขั้นตอนนั้น ๆ ก่อน
- EDD (Earliest Due Date) ลำดับความสำคัญของงานที่ถูกเลือก จะพิจารณาจากกำหนดส่งงานที่ถึงกำหนดก่อนจะถูกเลือกก่อน
- TEC (Total Expected Cost) ลำดับความสำคัญของงานที่ถูกเลือก จะพิจารณาจากค่าใช้จ่ายที่ถูกคาดว่าจะเกิดขึ้นเมื่อผลิตชิ้นงานนั้นเสร็จล่าช้ามีค่าสูงสุดก่อน

2. กฎการเลือก AGV

- SDS (Shortest Distance to Station) เป็นการพิจารณาของชิ้นงานในการเลือก AGV ตัวที่ใกล้ที่สุดก่อน
- CYC (Cyclic Priority) เป็นการพิจารณาของชิ้นงานในการเลือก AGV เพื่อให้มีการหมุนเวียนการใช้งานของ AGV ทั้ง 4 ตัว
- RAN (Random Priority) เป็นการพิจารณาของชิ้นงานในการเลือก AGV แบบสุ่ม

3. กฎการกำหนดส่งมอบงาน

- กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (Total Work, TWK)
- กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (Number of Operations, NOP)

- กำหนดให้มีค่าคงที่ (Constant, CON)
- กำหนดแบบสุ่ม (Random, RAN)

4. สภาวะการเร่งงาน

- สภาวะปกติ
- สภาวะการเร่งงาน
    - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10%
    - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 20%
    - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10%
    - จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ ระยะเวลาที่ถูกเร่ง โดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 20%

4.9 สรุป

ก่อนดำเนินการทดลองจะต้องทำการออกแบบการทดลองโดยกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดลองให้กับแบบจำลองปัญหา ซึ่งประกอบด้วย

- ลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบไปด้วยเครื่องจักร 4 เครื่อง และใช้ AGV เป็นพาหนะในการขนส่งชิ้นงาน 4 ตัว
- การกำหนดจำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบซึ่งได้ค่าที่เหมาะสมคือจำนวน 35 ชิ้นงาน
- การกำหนดส่งชิ้นงาน โดยกำหนดค่าแฟคเตอร์เพื่อให้ได้จำนวนของงานที่เสร็จล่าช้ากว่ากำหนดมีค่าประมาณ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการทดลองเบื้องต้นเพื่อหาค่าแฟคเตอร์ดังกล่าว โดยได้ผลคือ
    - กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (TWK) ใช้ค่าแฟคเตอร์ เท่ากับ 14
    - กำหนดตามจำนวนของการดำเนินงาน (NOP)ใช้ค่าแฟคเตอร์เท่ากับ 210
    - กำหนดให้มีค่าคงที่ (CON) ใช้ค่าคงที่ เท่ากับ 720
    - กำหนดแบบสุ่ม (RAN) ใช้โดยกำหนดให้เป็นค่าตัวเลขสุ่ม

- ปัจจัยทั้งหมดที่ใช้ในการทดลองได้แก่
    - กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ประกอบด้วย FIFO, SPT, WSPT, EDD และ TEC
    - กฎการเลือก AGV ประกอบด้วย SDS, CYC และ RAN
    - กฎการกำหนดส่งมอบงาน ประกอบด้วย TWK, NOP, CON และ RAN
    - สภาวะการเร่งงาน ประกอบด้วย สภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานที่จำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ 20% และระยะเวลาที่ถูกเร่งโดยเวลาส่งมอบจะเร็วขึ้น 10% และ 20%
- เกณฑ์วัดประสิทธิภาพของระบบ ประกอบด้วย
    - ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ
    - ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า
    - ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด
    - ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

เมื่อทำการออกแบบการทดลองและดำเนินการทดลองแล้ว ต่อไปจึงดำเนินการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม MiniTab ช่วยในการวิเคราะห์ การวิเคราะห์ผลการทดลองจะพิจารณาแยกตามดัชนีวัดประสิทธิภาพ โดยใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยจะแสดงผลของปัจจัยหลักซึ่งมี 4 ปัจจัยคือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGV กฎการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะการเร่งงาน ตลอดจนปัจจัยร่วมว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ หรือไม่ อย่างไรและใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่ากฎใดเป็นกฎที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยมีผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังรูปที่ 5.1 ถึง 5.4

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 5.1 พบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านกฎการเลือกของ AGV ปัจจัยด้านกฎการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีผลอย่างมีนัยสำคัญ และมีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการจ่ายงานเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน

ANOVA: Flowtime versus Dispatching Rules, AGV, Due Date, Conditions

Factor	Type	Levels	Values				
Dispatch	fixed	5	1	2	3	4	5
AGV	fixed	3	1	2	3		
Due Date	fixed	4	1	2	3	4	
Conditio	fixed	5	1	2	3	4	5

Analysis of Variance for Flowtime

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	4	247789.4	61947.4	2040.53	0.000
AGV	2	1056.2	528.1	17.40	0.000
Due Date	3	823.3	274.4	9.04	0.000
Conditio	4	4092.3	1023.1	33.70	0.000
Dispatch*AGV	8	3015.2	376.9	12.41	0.000
Dispatch*Due Date	12	1215.0	101.2	3.34	0.000
Dispatch*Conditio	16	4112.2	257.0	8.47	0.000
AGV*Due Date	6	83.0	13.8	0.46	0.841
AGV*Conditio	8	7.3	0.9	0.03	1.000
Due Date*Conditio	12	263.4	22.0	0.72	0.730
Dispatch*AGV*Due Date	24	1075.6	44.8	1.48	0.065
Dispatch*AGV*Conditio	32	707.9	22.1	0.73	0.866
Dispatch*Due Date*Conditio	48	599.3	12.5	0.41	1.000
AGV*Due Date*Conditio	24	24.2	1.0	0.03	1.000
Dispatch*AGV*Due Date*Conditio	96	287.1	3.0	0.10	1.000
Error	1200	36430.1	30.4		
Total	1499	301581.5			

รูปที่ 5.1 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 5.2 พบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านกฎการเลือกของ AGV ปัจจัยด้านกฎการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีผลอย่างมีนัยสำคัญ และมีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรX กฎการเลือก AGV กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงาน กฎการจ่ายงานเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน และกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะการเร่งงาน

ANOVA: Tardiness versus Dispatching Rules, AGV, Due Date, Conditions

Factor	Type	Levels	Values				
Dispatch	fixed	5	1	2	3	4	5
AGV	fixed	3	1	2	3		
Due Date	fixed	4	1	2	3	4	
Conditio	fixed	5	1	2	3	4	5

Analysis of Variance for Tardines

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	4	168812224	42203056	2.6E+04	0.000
AGV	2	30203	15101	9.39	0.000
Due Date	3	5525336	1841779	1145.67	0.000
Conditio	4	748632798	187158200	1.2E+05	0.000
Dispatch*AGV	8	40038	5005	3.11	0.002
Dispatch*Due Date	12	2013671	167806	104.38	0.000
Dispatch*Conditio	16	99149837	6196865	3854.73	0.000
AGV*Due Date	6	4560	760	0.47	0.829
AGV*Conditio	8	24033	3004	1.87	0.061
Due Date*Conditio	12	284285	23690	14.74	0.000
Dispatch*AGV*Due Date	24	66507	2771	1.72	0.016
Dispatch*AGV*Conditio	32	77551	2423	1.51	0.035
Dispatch*Due Date*Conditio	48	1108937	23103	14.37	0.000
AGV*Due Date*Conditio	24	31110	1296	0.81	0.732
Dispatch*AGV*Due Date*Conditio	96	157034	1636	1.02	0.437
Error	1200	1929122	1608		
Total	1499	1027887247			

รูปที่ 5.2 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 5.3 พบว่า ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านกฎการเลือก AGV ปัจจัยด้านกฎการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ และมีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงาน กฎการจ่ายงานเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน และกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะการเร่งงาน

ANOVA: TotalCost versus Dispatching Rules, AGV, Due Date, Conditions

Factor	Type	Levels	Values				
Dispatch	fixed	5	1	2	3	4	5
AGV	fixed	3	1	2	3		
Due Date	fixed	4	1	2	3	4	
Conditio	fixed	5	1	2	3	4	5

Analysis of Variance for TotalCos

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	4	1729802785	432450696	5120.50	0.000
AGV	2	516177	258089	3.06	0.047
Due Date	3	32999380	10999793	130.24	0.000
Conditio	4	6278915644	1569728911	1.9E+04	0.000
Dispatch*AGV	8	1730617	216327	2.56	0.009
Dispatch*Due Date	12	18889627	1574136	18.64	0.000
Dispatch*Conditio	16	1034535761	64658485	765.60	0.000
AGV*Due Date	6	1045201	174200	2.06	0.055
AGV*Conditio	8	1190275	148784	1.76	0.081
Due Date*Conditio	12	4175071	347923	4.12	0.000
Dispatch*AGV*Due Date	24	2437526	101564	1.20	0.228
Dispatch*AGV*Conditio	32	5079806	158744	1.88	0.002
Dispatch*Due Date*Conditio	48	16544193	344671	4.08	0.000
AGV*Due Date*Conditio	24	3872205	161342	1.91	0.005
Dispatch*AGV*Due Date*Conditio	96	15772846	164300	1.95	0.000
Error	1200	101345688	84455		
Total	1499	9248852800			

รูปที่ 5.3 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 5.4 พบว่า ปัจจัยด้านกฎการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ และมีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดส่งมอบงาน

ANOVA: MC/Utilization versus Dispatching Rules, AGV, Due Date, Conditions

Factor	Type	Levels	Values				
Dispatch	fixed	5	1	2	3	4	5
AGV	fixed	3	1	2	3		
Due Date	fixed	4	1	2	3	4	
Conditio	fixed	5	1	2	3	4	5

Analysis of Variance for MC/Util

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	4	0.13425	0.03356	1.43	0.220
AGV	2	0.12415	0.06207	2.65	0.071
Due Date	3	0.26345	0.08782	3.75	0.011
Conditio	4	2.42124	0.60531	25.88	0.000
Dispatch*AGV	8	0.54524	0.06816	2.91	0.003
Dispatch*Due Date	12	0.68397	0.05700	2.44	0.004
Dispatch*Conditio	16	0.61400	0.03837	1.64	0.052
AGV*Due Date	6	0.46842	0.07807	3.34	0.003
AGV*Conditio	8	0.04034	0.00504	0.22	0.988
Due Date*Conditio	12	0.18405	0.01534	0.66	0.795
Dispatch*AGV*Due Date	24	0.54324	0.02263	0.97	0.507
Dispatch*AGV*Conditio	32	0.69580	0.02174	0.93	0.581
Dispatch*Due Date*Conditio	48	0.39412	0.00821	0.35	1.000
AGV*Due Date*Conditio	24	0.32149	0.01340	0.57	0.951
Dispatch*AGV*Due Date*Conditio	96	0.68864	0.00717	0.31	1.000
Error	1200	28.07088	0.02339		
Total	1499	36.19326			

รูปที่ 5.4 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน*
เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

นอกจากนี้การวิเคราะห์จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 5.1 สามารถวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อประสิทธิภาพของระบบด้านต่าง ๆ โดยพิจารณาจากค่า F-Ratio ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นถึงผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบของแต่ละปัจจัยว่ามากน้อยเพียงใด ดังนี้

ตารางที่ 5.1 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA)*

ปัจจัย	F-Ratio			
	Flow time	**Tardiness**	**Total Cost**	**Machine Utilization**
RULE	2040.53*	26000.00*	5120.50*	1.43
AGV	17.40*	9.39*	3.06*	2.65
DUE	9.04*	1145.67*	130.24*	3.75*
CON	33.70*	120000.00*	19000.00*	25.88*
RULE x AGV	12.41*	3.11*	2.56*	2.91*
RULE x DUE	3.34*	104.38*	18.64*	2.44*
RULE x CON	8.47*	3854.73*	765.59*	1.64
AGV x DUE	0.46	0.47	2.06	3.34*
AGV x CON	0.03	1.87	1.76	0.22
DUE x CON	0.72	14.74*	4.12*	0.66
RULE x AGV x DUE	1.48	1.72*	1.20	0.97
RULE x AGV x CON	0.73	1.51*	1.88*	0.93
RULE x DUE x CON	0.41	14.37*	4.08*	0.35
AGV x DUE x CON	0.03	1.02	1.91*	0.57
RULE x AGV x DUE x CON	0.10	1.02	1.95*	0.31

หมายเหตุ RULE = กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร, AGV = กฎการเลือก AGV,
DUE = กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ, CON = สภาวะการเร่งงาน และ
** คือปัจจัยที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 5%*

5.1 ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ

5.1.1 เมื่อพิจารณาจากค่า F-Ratio

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ พบว่าปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรจะส่งผลกระทบต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ มากที่สุด เนื่องจากมีค่า F-RATIO มากที่สุด และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบตามมากที่สุด 3 ลำดับ คือ ปัจจัยด้านสภาวะเร่งงาน ปัจจัยด้านกฎการเลือก AGV และ ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการการเลือก AGV ตามลำดับ
- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า พบว่าปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน จะส่งผลกระทบต่อเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามากที่สุดเนื่องจากมีค่า F-RATIO มากที่สุด และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบตามมากที่สุด 3 ลำดับ คือ ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ตามลำดับ
- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด พบว่าปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงานจะส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดมากที่สุด เนื่องจากมีค่า F-RATIO มากที่สุด และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบตามมากที่สุด 3 ลำดับ คือ ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ตามลำดับ
- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร พบว่าปัจจัยด้านสภาวะเร่งงานจะส่งผลกระทบต่อ ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร มากที่สุด เนื่องจากมีค่า F-RATIO มากที่สุด และปัจจัยอื่น ๆ ที่มีผลกระทบตามมากที่สุด 3 ลำดับ คือ ปัจจัยด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน และปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV ตามลำดับ

5.1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก

การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก (Main Effects) จะทำการวิเคราะห์การเปลี่ยนแปลงของประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยต่าง ๆ ซึ่งทำการวิเคราะห์โดยพิจารณาจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่าง ๆ กับประสิทธิภาพของระบบในแต่ละด้าน

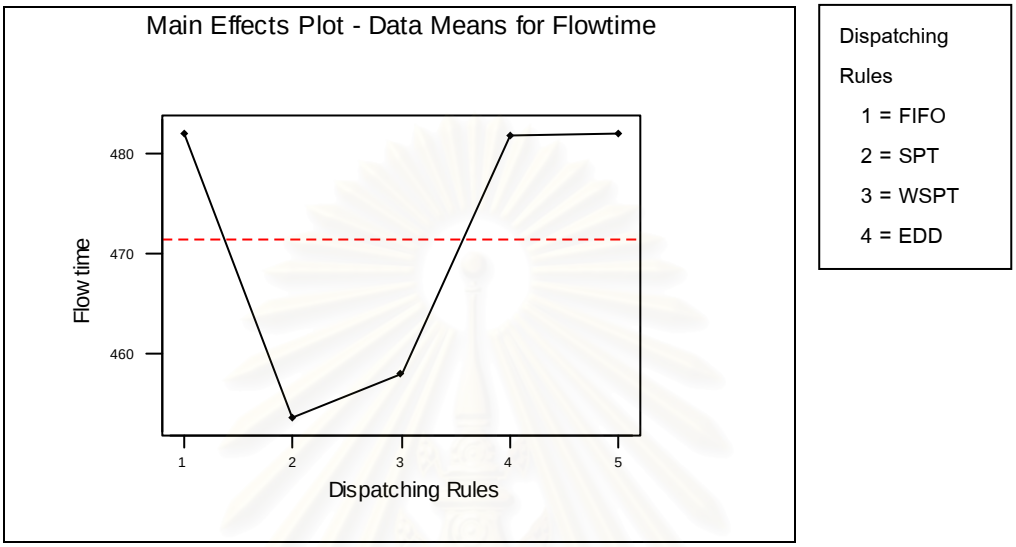
5.1.2.1 ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร

จากรูปที่ 5.5 ถึง 5.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ โดยเมื่อเปลี่ยนกฎการจ่ายงานไป มีผลทำให้ค่าประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากรูป 5.5 พบว่า กฎ SPT เป็นกฎที่ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำที่สุด เนื่องจากเป็นกฎที่พิจารณางานที่มีค่าของเวลาการทำงานในแต่ละเครื่องจักรต่ำที่สุดให้มีความสำคัญสูงสุดก่อน ซึ่งทำให้เวลาคอยเฉลี่ยของชิ้นงานในระบบต่ำ จึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำด้วย โดยกฎ WSPT เป็นกฎที่ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุดรองลงมา

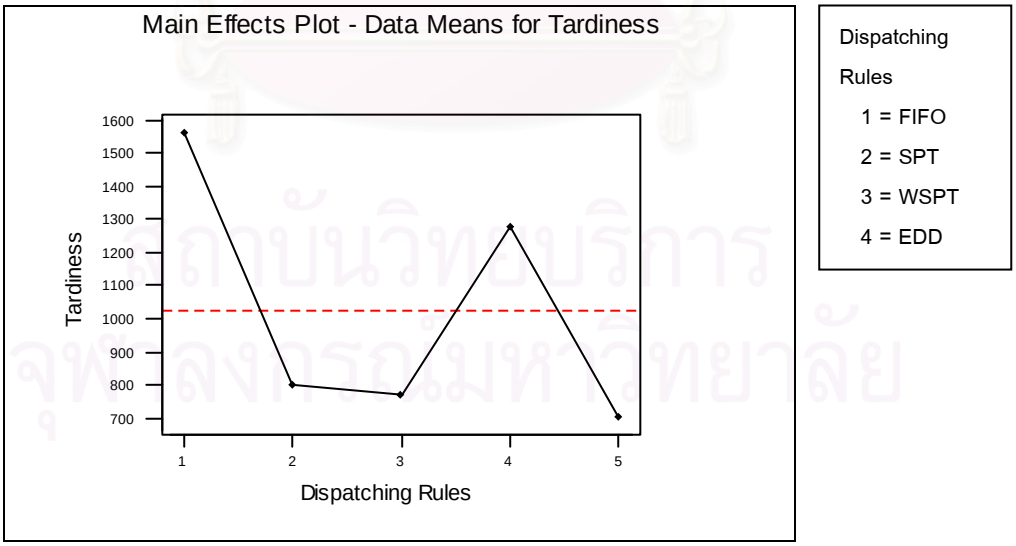
เมื่อพิจารณาในด้านของค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า พบว่า กฎ TEC จะให้ผลดีที่สุด ทั้งนี้เนื่องมาจากเป็นกฎที่พิจารณาถึงระยะเวลาที่ชิ้นงานจะล่าช้าหรือระยะเวลาที่ชิ้นงานจะเสร็จก่อนกำหนด ณ จุดตัดสินใจที่เครื่องจักรเลือกชิ้นงาน ทำให้มีการเลือกชิ้นงานที่คาดว่าจะเสร็จล่าช้ามาทำงานก่อน ซึ่งส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด และ กฎ WSPT จะเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุดรองลงมา

เมื่อพิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดพบว่า กฎ WSPT ให้ผลดีที่สุด สามารถอธิบายได้ว่า กฎ WSPT นั้นพิจารณาให้ความสำคัญกับค่าอัตราส่วนระหว่างเวลาในการทำงานแต่ละเครื่องจักรกับความสำคัญของลูกค้า (Weight) ที่มีค่าต่ำสุดก่อน คือให้ความสำคัญกับชิ้นงานที่มีเวลาในการทำงานบนเครื่องจักรน้อย ซึ่งจะส่งผลให้ชิ้นงานมีเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อย ทำให้มีโอกาสที่ชิ้นงานจะเสร็จล่าช้าน้อย และพิจารณาค่าของน้ำหนักของชิ้นงานแต่ละชิ้นด้วย โดยให้ความสำคัญกับค่าความสำคัญของลูกค้าที่มีค่ามาก ซึ่งส่งผลต่อการคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่นำเรื่องของความสำคัญของลูกค้ามาคำนวณด้วย และกฎ TEC เป็นกฎที่ให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำสุดรองลงมาจากกฎ WSPT ซึ่งสอดคล้องกับการที่กฎ TEC เป็นกฎที่ทำให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยที่สุดซึ่งส่งผลให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยนั้นต่ำด้วย

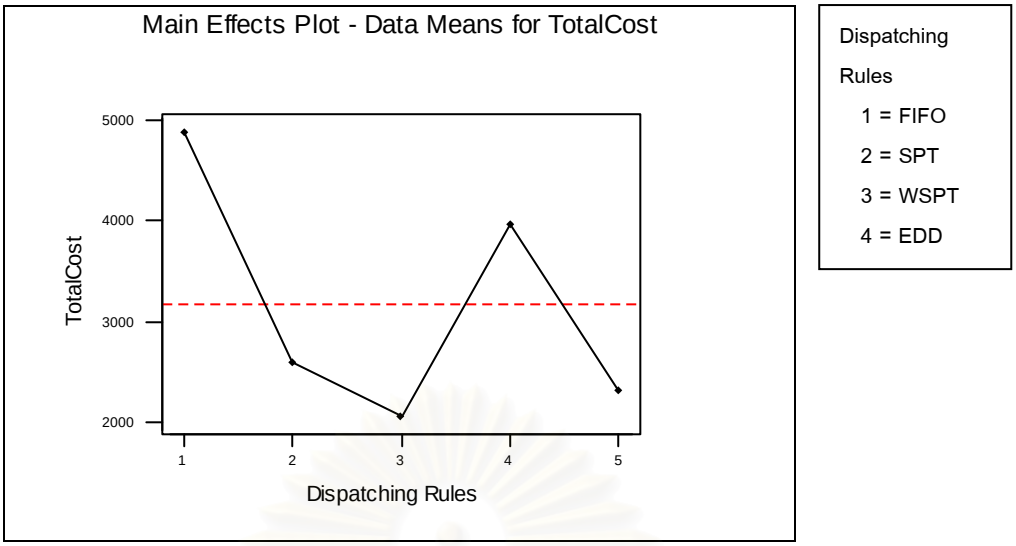
เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร พบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ไม่ส่งผลกระทบต่อค่าของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ



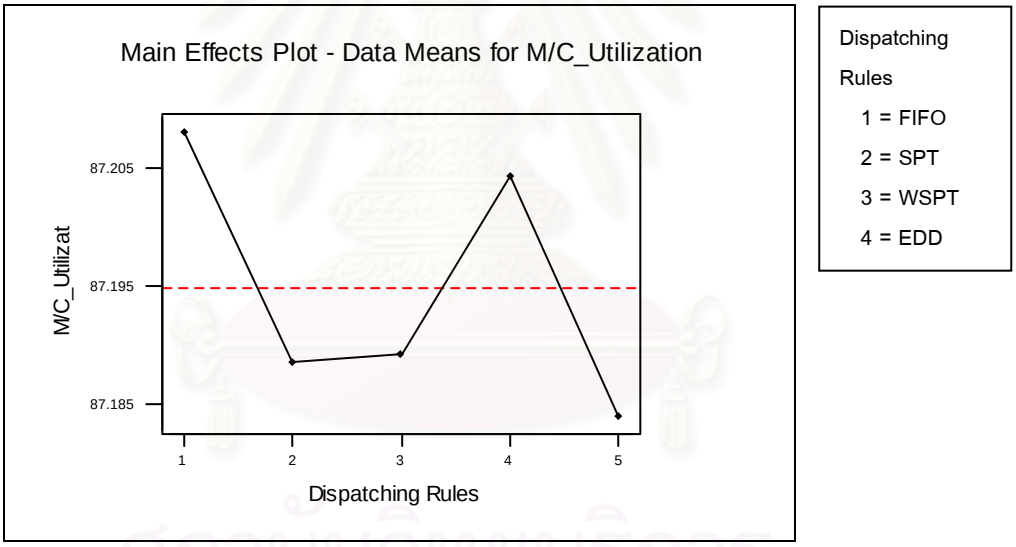
รูปที่ 5.5 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*



รูปที่ 5.6 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*



รูปที่ 5.7 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรกับค่าใช้จ่ายทั้งหมด*

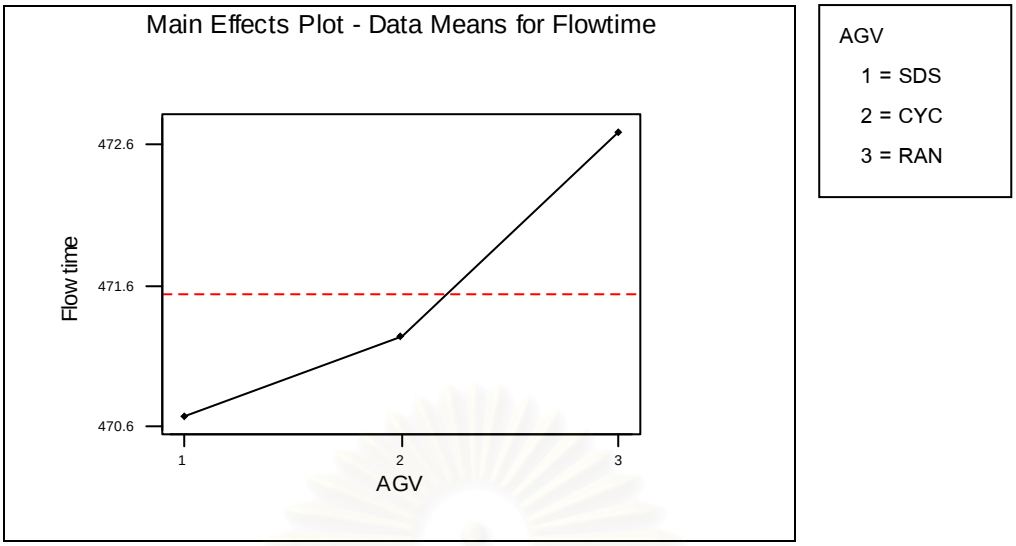


รูปที่ 5.8 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงาน*
ของเครื่องจักรกับประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร

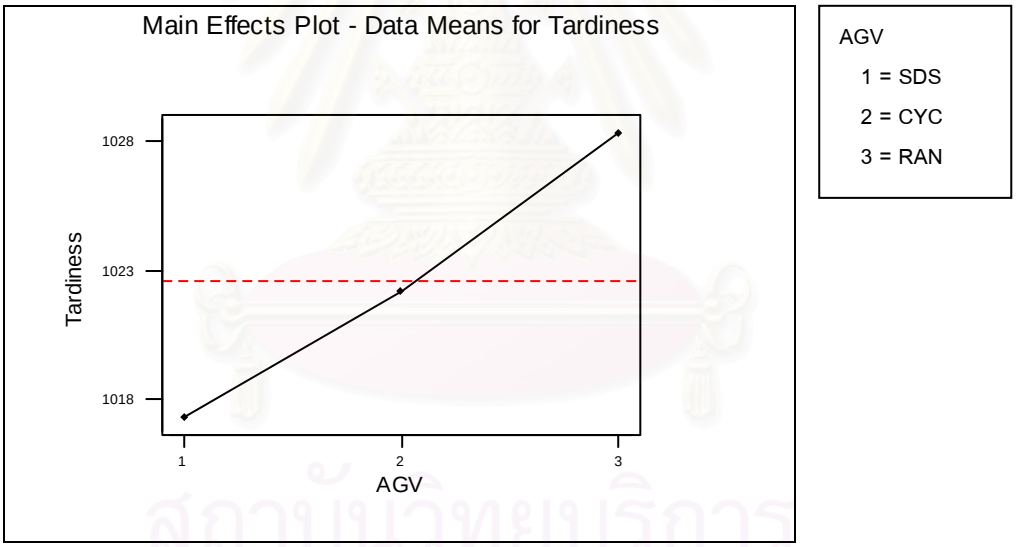
5.1.2.2 ปัจจัยด้านกฎการเลือก AGV

จากรูปที่ 5.9 ถึง 5.12 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ โดยเมื่อเปลี่ยนกฎการเลือก AGV ไปทำให้ค่าของประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากรูปที่ 5.9 และ 5.11 กฎการเลือก AGV แบบ SDS และแบบ CYC จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากการเลือก AGV แบบ SDS นั้นชิ้นงานจะเลือกใช้ AGV ตัวที่มีระยะทางอยู่ใกล้ที่สุด ซึ่งทำให้ระยะเวลาในการที่ชิ้นงานคอย AGV มีค่าน้อย ดังนั้นชิ้นงานจึงถูกส่งไปยังสถานีจุดหมายและถูกผลิตได้เร็วขึ้น จึงทำให้เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าน้อยตามไปด้วย ซึ่งเมื่อชิ้นงานใช้เวลาอยู่ในระบบน้อยทำให้มีโอกาสที่จะมีการสายของชิ้นงานน้อยลงด้วยเช่นกัน และเมื่อเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยนั้นได้ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมดให้มีค่าน้อยลงด้วย และการเลือก AGV แบบ CYC จะเป็นลักษณะเลือก AGV วนกันไปเพื่อให้ AGV ทุกตัวได้มีโอกาสทำงานเท่า ๆ กัน ได้ส่งผลดีต่อการวัดประสิทธิภาพของระบบรองลงมาจากการเลือก AGV แบบ SDS ในขณะที่ใช้กฎแบบ RAN จะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าสูงที่สุด เนื่องมาจากการที่ชิ้นงานเลือก AGV แบบสุ่ม (Random) ซึ่งทำชิ้นงานนั้นใช้เวลาในการรอ AGV มากกว่า ส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่ามากขึ้นด้วย และยังส่งผลกระทบต่อค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดอีกด้วย และเมื่อพิจารณาในด้านของค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร พบว่า ปัจจัยด้านกฎการเลือก AGV ไม่ส่งผลกระทบต่อการวัดประสิทธิภาพของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ

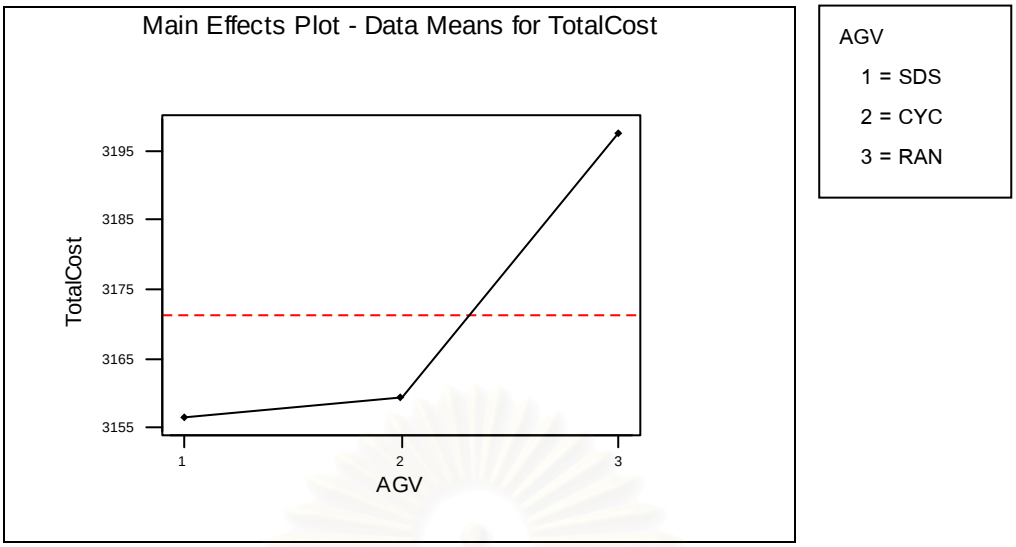
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



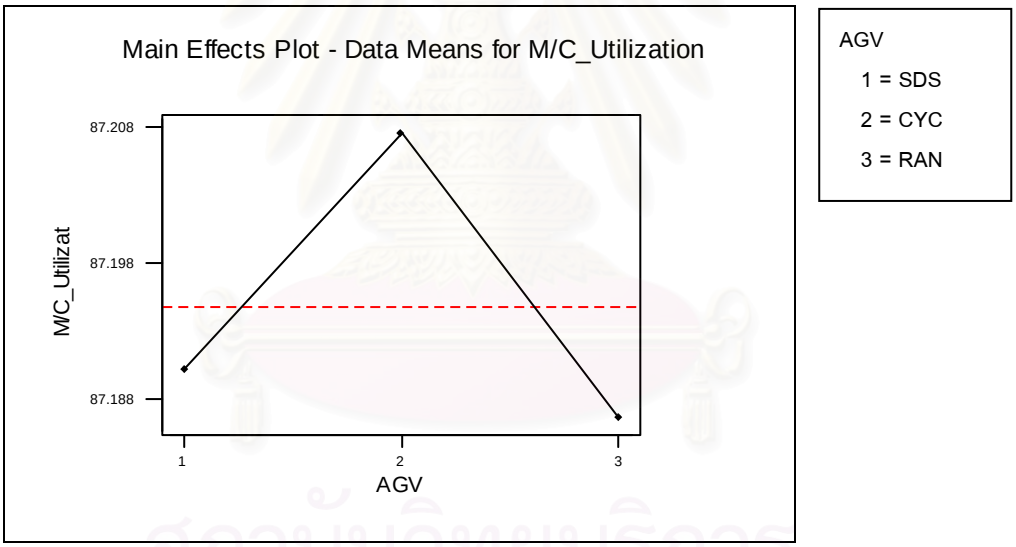
รูปที่ 5.9 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*



รูปที่ 5.10 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*



รูปที่ 5.11 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับค่าใช้จ่ายทั้งหมด*



รูปที่ 5.12 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการเลือก AGV กับประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร*

5.1.2.3 ปัจจัยด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

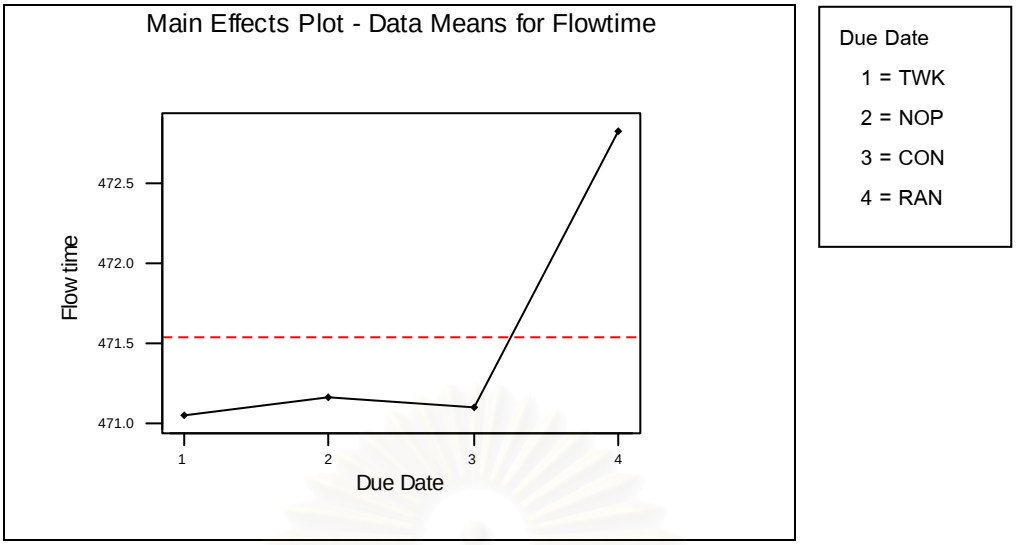
จากรูปที่ 5.13 ถึง 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ จากรูปที่ 5.13 พบว่า เมื่อมีการกำหนดการส่งมอบงานแบบสุ่ม (RAN) จะทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าสูง ในขณะที่การกำหนดส่งมอบงานแบบอื่น ๆ คือ TWK, NOP และ CON ให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบใกล้เคียงกัน เนื่องจากในการกำหนดค่าความกระชั้นให้กับการกำหนดเวลาส่งมอบนั้นกำหนดไว้ที่มีจำนวนชิ้นงานล่าช้าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ณ สภาวะปกติ

เมื่อพิจารณาในด้านของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า พบว่าวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบแบบ NOP ให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าต่ำสุด รองลงมาคือ กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ TWK CON และ RAN ตามลำดับ โดยการกำหนดส่งมอบแบบ RAN นั้นเป็นการกำหนดแบบสุ่มจึงส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่ามากที่สุด

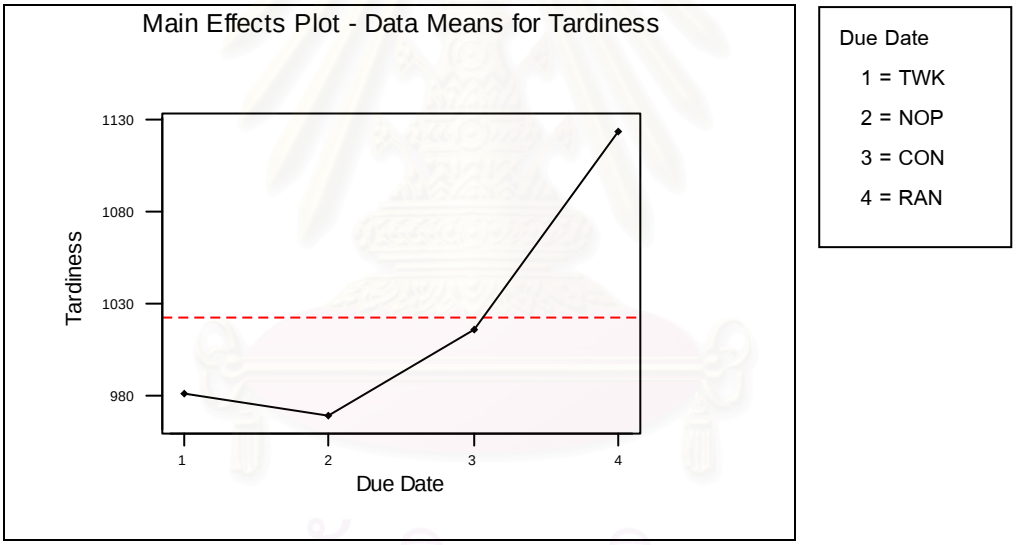
เมื่อพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมดพบว่า กฎการส่งมอบงานแบบ TWK และ NOP เป็นกฎการกำหนดส่งมอบงานที่ให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดต่ำสุด ซึ่งสอดคล้องกับการพิจารณาในด้านของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า โดยกฎการส่งมอบแบบ RAN ยังคงเป็นกฎที่ให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าสูงสุด

เมื่อพิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรพบว่าวิธีกำหนดส่งมอบชิ้นงานแบบ RAN ทำให้ได้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรสูงสุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

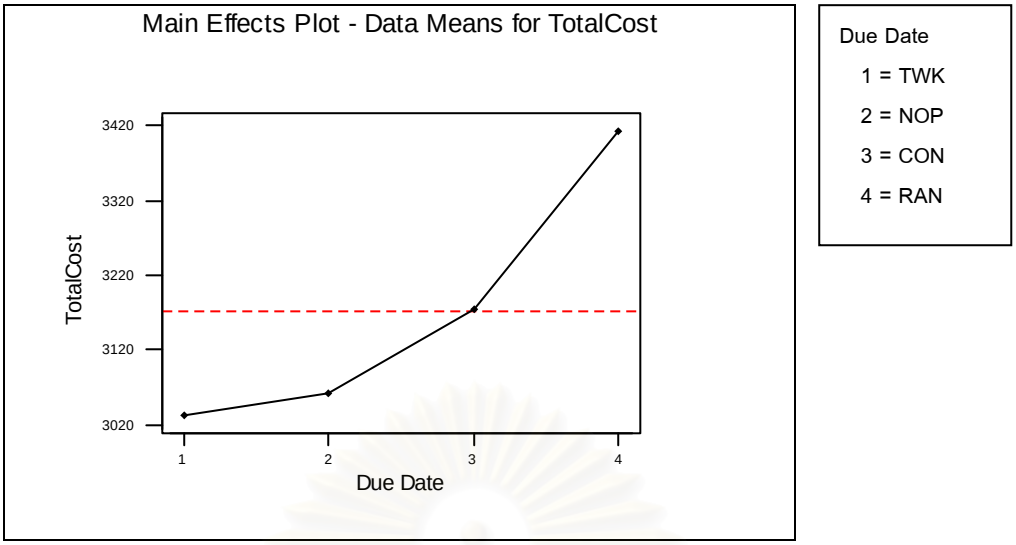


รูปที่ 5.13 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

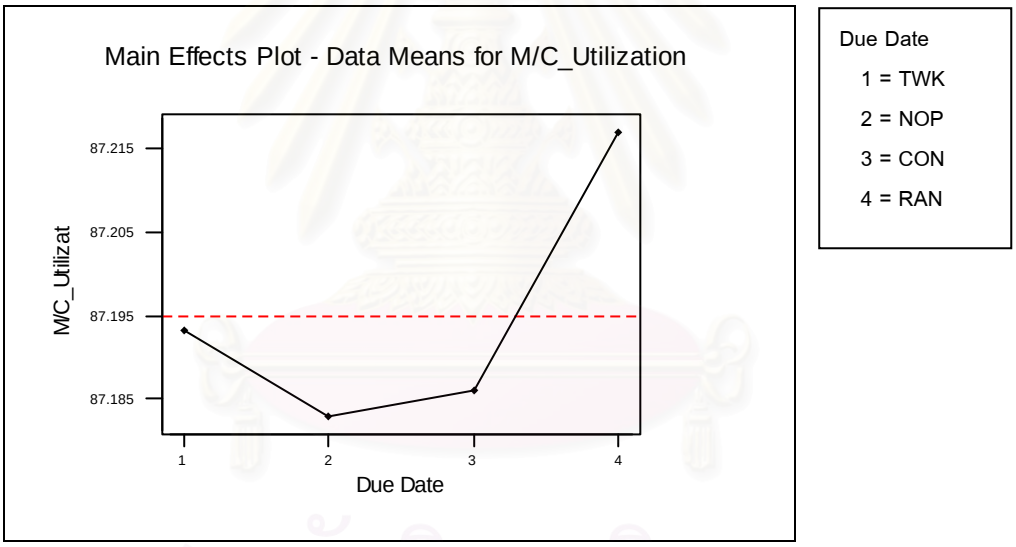


รูปที่ 5.14 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.15 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับค่าใช้จ่ายทั้งหมด*



รูปที่ 5.16 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดส่งมอบงานกับประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร*

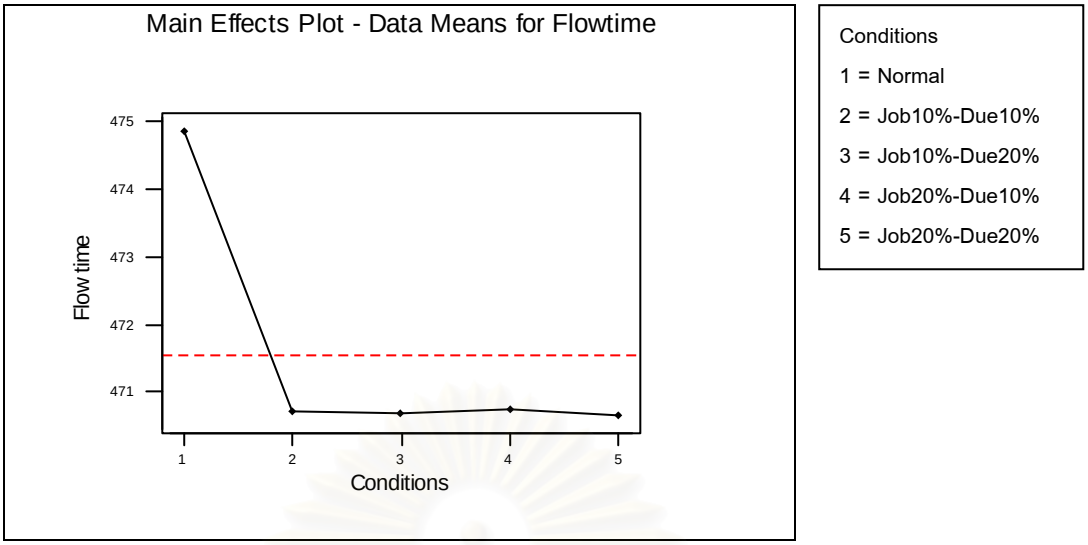
5.1.2.4 ปัจจัยด้านสภาวะเร่งงาน

จากรูปที่ 5.17 ถึง 5.20 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการเร่งงาน กับประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ โดยมีสภาวะปกติ และสภาวะเร่งงานที่ระดับแตกต่างกัน เมื่อเปลี่ยนสภาวะการเร่งงานไปจะทำให้ค่าของประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ เปลี่ยนแปลงไปด้วย จากรูปที่ 5.17 พบว่าสภาวะปกติจะทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่ามากกว่าเมื่ออยู่ในสภาวะการเร่งงาน เนื่องจากเมื่อเกิดสภาวะการเร่งงานขึ้น กฎบางกฎเช่น EDD และ TEC ซึ่งจะขึ้นกับระยะเวลาส่งมอบที่กระชั้นเข้ามาทำให้เวลาเฉลี่ยรวมมีค่าเร็วขึ้นกว่าตอนสภาวะปกติเพียงเล็กน้อย ส่วนในสภาวะเร่งงานแต่ละระดับค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าใกล้เคียงกัน

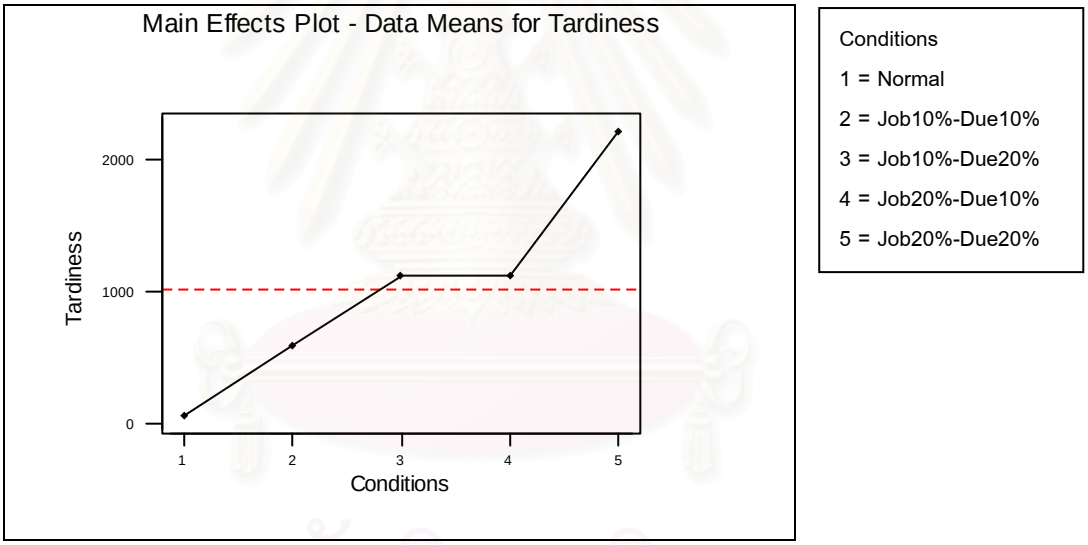
สำหรับเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า ค่าใช้จ่ายทั้งหมด และ ประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักรมีค่าต่ำสุดเมื่ออยู่ในสภาวะปกติ แต่เมื่อมีสภาวะการเร่งงานมากขึ้น (จำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้น และระยะเวลาที่ถูกเร่งงานมากขึ้น) จะทำให้มีค่าเฉลี่ยเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าเฉลี่ยของใช้จ่ายทั้งหมดมากขึ้นด้วย และเมื่อพิจารณาในด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร เมื่อเกิดสภาวะเร่งงานขึ้นจะทำให้ค่าประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมีค่ามากกว่าที่สภาวะปกติ

เมื่อพิจารณาในรายละเอียดของรูปที่ 5.18 และ 5.19 พบว่าที่สภาวะการเร่งงานที่ 3 (คือมีจำนวนงานเร่ง 10% และระยะเวลาของงานที่ถูกเร่งเร็วขึ้น 20%) และสภาวะการเร่งงานที่ 4 (คือมีจำนวนงานเร่ง 20% และระยะเวลาของงานที่ถูกเร่งเร็วขึ้น 10%) เมื่อพิจารณาในด้านของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าและค่าใช้จ่ายทั้งหมดพบว่ามีค่าใกล้เคียงกันมาก เนื่องจากในสภาวะการเร่งงานที่ 3 นั้นถึงแม้จะมีจำนวนงานที่ถูกเร่งน้อยกว่า แต่ระยะเวลาที่ถูกเร่งงานให้เร็วขึ้นนั้นมากกว่าในสภาวะที่ 4 จึงทำให้โดยค่าเฉลี่ยแล้วเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าใกล้เคียงกัน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

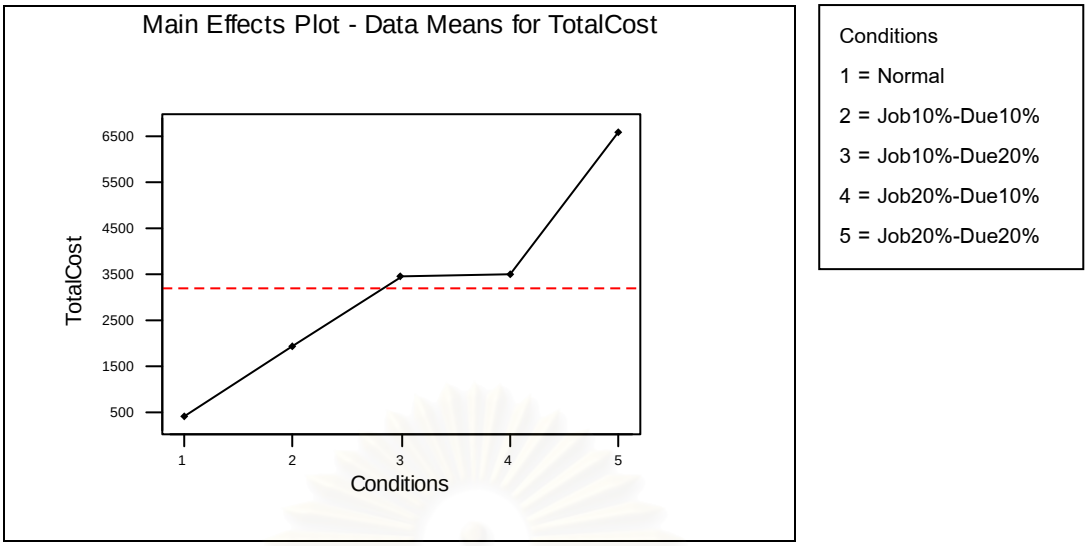


รูปที่ 5.17 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการเร่งงานกับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

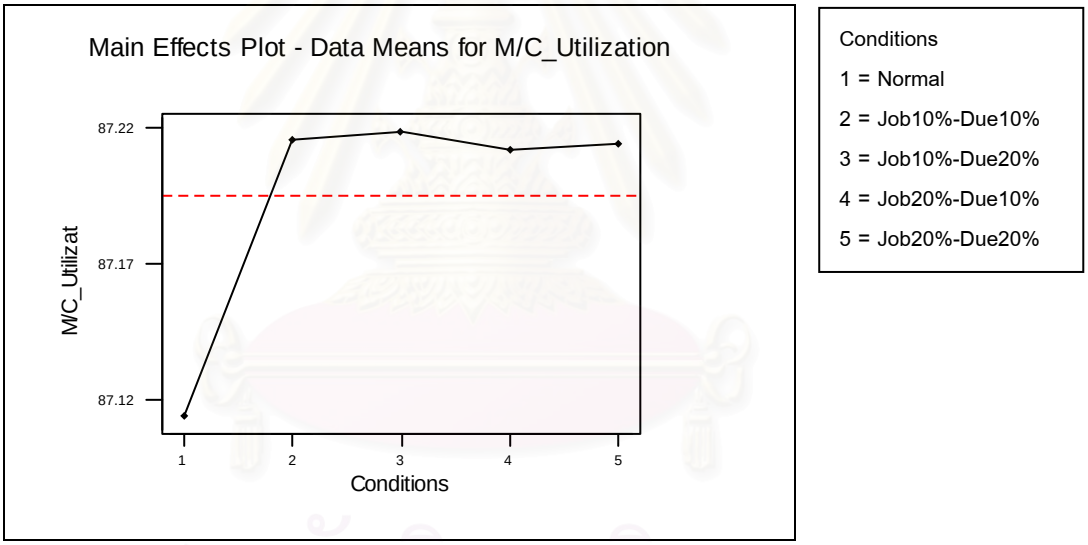


รูปที่ 5.18 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะการเร่งงานกับเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.19 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง สภาวะการเร่งงานกับค่าใช้จ่ายทั้งหมด*



รูปที่ 5.20 *แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสภาวะ การเร่งงานกับประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร*

5.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยร่วม

การวิเคราะห์ปัจจัยร่วม (Interaction) จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยร่วม 2 ระดับเนื่องจากเมื่อพิจารณาถึงปัจจัยร่วมตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไปส่วนใหญ่ พบว่า มีค่า F-Ratio น้อยมาก แสดงว่าปัจจัยร่วม (interaction) ตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไปส่วนใหญ่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบน้อยมาก หรือในบางกรณีไม่ส่งผลกระทบ ดังนั้นในการวิเคราะห์จะพิจารณาเฉพาะปัจจัยหลักและปัจจัยร่วม 2 ระดับเท่านั้น

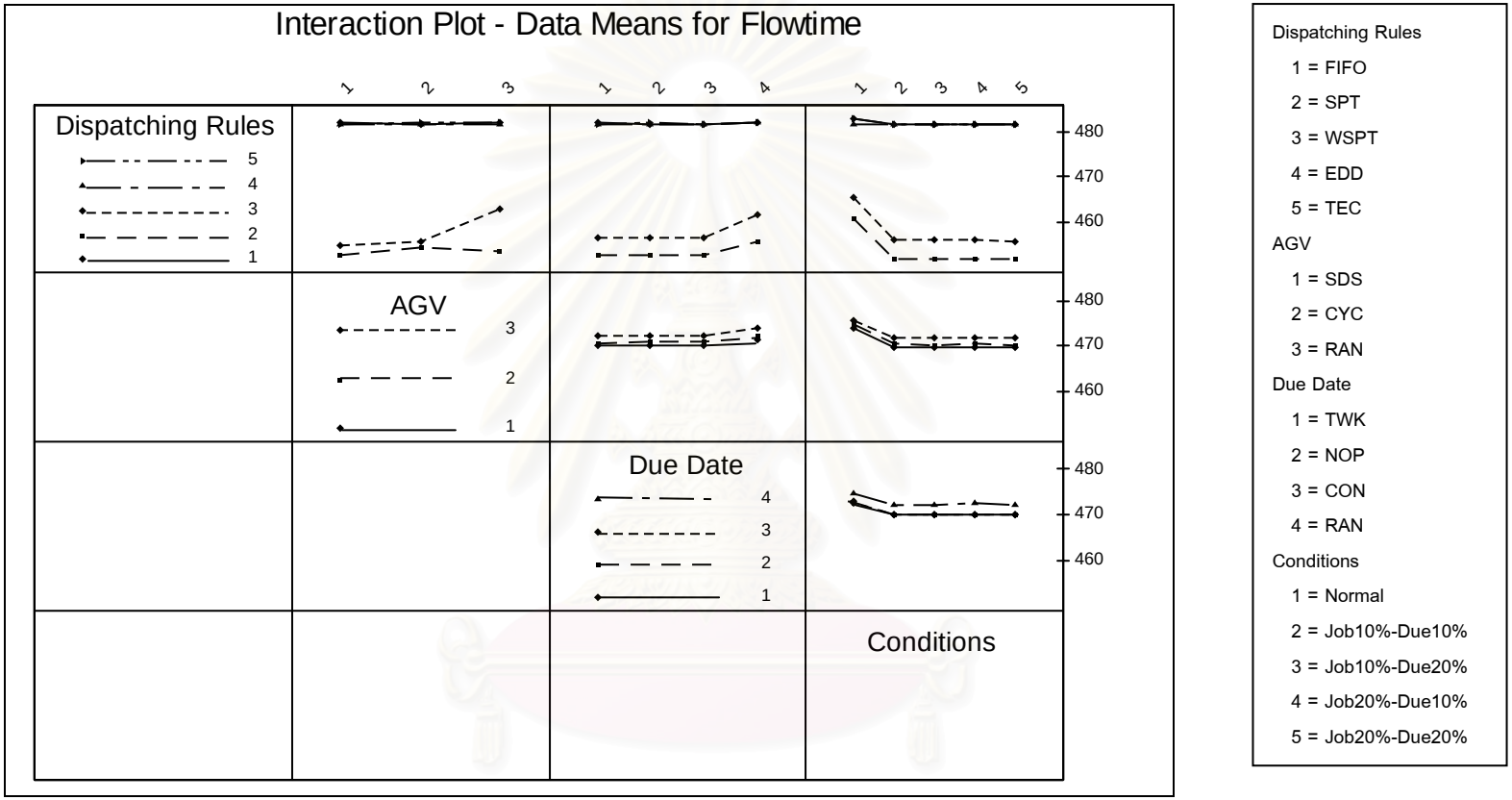
ปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

จากรูปที่ 5.21 จะเห็นว่าปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดงานส่งมอบกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงาน และกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะการเร่งงานนั้น มีเส้นกราฟที่ค่อนข้างขนานกัน และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.1 พบว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวมีค่า F-Ratio = 0.46, 0.03 และ 0.72 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า P-Value คือ 0.841, 1.000 และ 0.730 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

เมื่อพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรX กฎการเลือก AGV ซึ่งการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ 1 (FIFO) แบบ 4 (EDD) และแบบ 5 (TEC) เมื่อเปลี่ยนการใช้กฎการเลือก AGV จะส่งผลต่อค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยมาก คือค่าของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าค่อนข้างคงที่ แต่การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ 2 (SPT) และแบบ 3 (WSPT) เมื่อเปลี่ยนกฎการเลือก AGV จะทำให้ได้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบเปลี่ยนแปลง โดยเมื่อเปลี่ยนกฎการเลือก AGV เป็นแบบ RAN ในกฎการจ่ายงานแบบ WSPT จะทำให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าสูงขึ้นอย่างชัดเจน

นอกจากนี้ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงานนั้นมีผลเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบโดยกฎการจ่ายงานแบบ SPT และ WSPT เมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ TWK NOP และ CON จะให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบใกล้เคียงกัน แต่เมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ RAN จะส่งผลให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่ามากขึ้น ในขณะที่กฎการจ่ายงานแบบ FIFO EDD และ TEC จะให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบใกล้เคียงกันในทุก ๆ กฎการกำหนดส่งมอบงาน

เมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน ซึ่งพบว่าเส้นกราฟของปัจจัยร่วมนั้นไม่ขนานกันอย่างชัดเจน โดยกฎการจ่ายงานแบบ SPT และ WSPT นั้นจะมีค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยลงเมื่อเกิดสภาวะการเร่งงาน ในขณะที่กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO EDD และ TEC จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบเพียงเล็กน้อยเมื่อสภาวะการเร่งงานเปลี่ยนแปลงไป



รูปที่ 5.21 *ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

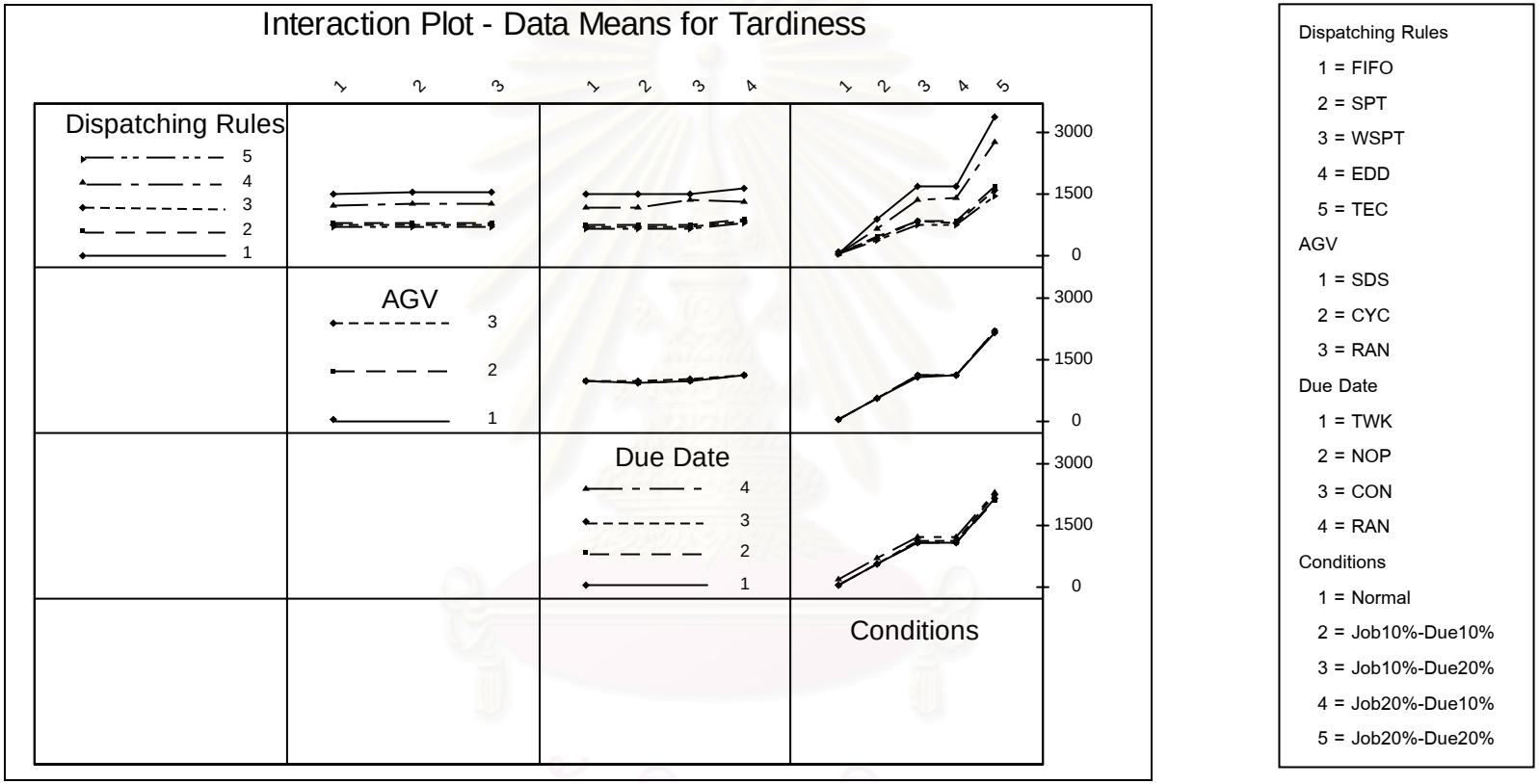
ปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า

จากรูปที่ 5.22 จะเห็นว่าปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดงานส่งมอบ และกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงานนั้น มีเส้นกราฟที่ค่อนข้างขนานกัน โดยปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดงานส่งมอบนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้งสองไป ไม่ส่งผลต่อค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า ในขณะที่ปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงานนั้นเมื่อเปลี่ยนระดับของสภาวะการเร่งงานไป ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าจะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ระดับปัจจัยของกฎการเลือก AGV และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.1 พบว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวมีค่า F-Ratio = 0.47 และ 1.87 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า P-Value คือ 0.829 และ 0.061 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า

เมื่อพิจารณากราฟของปัจจัยร่วมที่เหลือ พบว่าปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV และปัจจัยร่วมของกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะเร่งงานมีผลต่อเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าโดยมีกราฟตัดกันเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงานนั้น กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ EDD จะให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามากที่สุดเมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ CON ขณะที่กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบอื่นจะให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามากที่สุดเมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ RAN

พิจารณาปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน เมื่อมีการเปลี่ยนระดับของสภาวะการเร่งงานไป กฎการจ่ายงานแบบ 1 (FIFO) จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามากที่สุด โดยมีค่าของความชันมากที่สุด ในขณะที่กฎการจ่ายงานแบบ TEC นั้นมีความชันน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะเร่งงาน ดังนั้นในกรณีที่มีสภาวะการเร่งงานเกิดขึ้นกฎการจ่ายงานแบบ FIFO นั้นเป็นกฎที่จะส่งผลต่อการเพิ่มของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามากที่สุด และกฎ TEC จะเป็นกฎที่จะส่งผลต่อการเพิ่มของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.22 *ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*

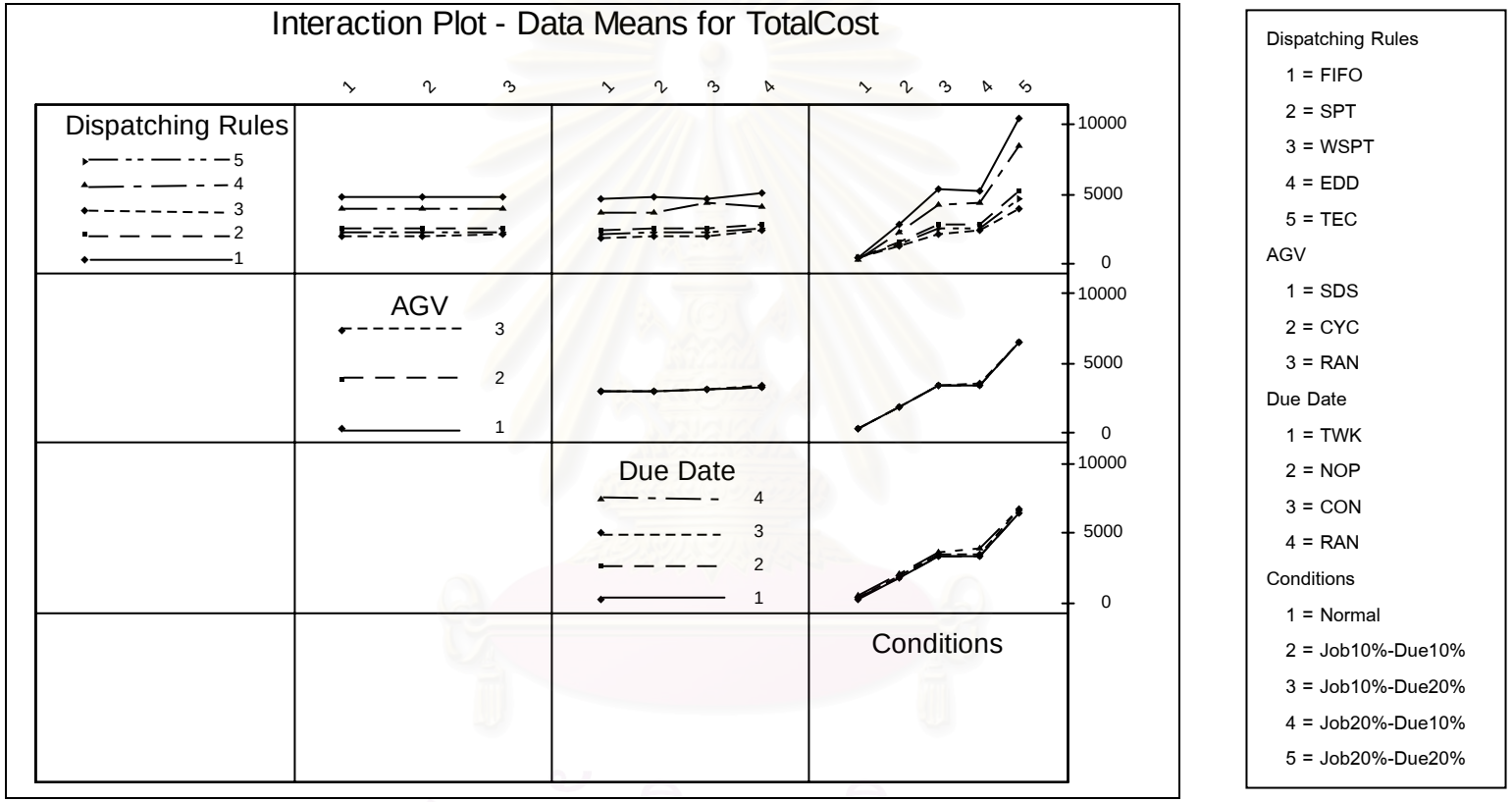
สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด

จากรูปที่ 5.23 พบว่าปัจจัยร่วม 2 ระดับเมื่อพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด มีผลการทดลองใกล้เคียงกับเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วม 2 ระดับในด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า เนื่องจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดคำนวณมากจากเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าเป็นหลัก โดยจะเห็นได้ว่าปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดงานส่งมอบ และกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงานนั้น มีเส้นกราฟที่ขนานกัน โดยปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดงานส่งมอบนั้นเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยทั้งสองไปจะไม่ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายทั้งหมด ในขณะที่ปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงานนั้นเมื่อเปลี่ยนระดับของสภาวะการเร่งงานไป ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าจะเพิ่มขึ้นในทุก ๆ ระดับปัจจัยของกฎการเลือก AGV และเมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5.1 พบว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวมีค่า F-Ratio = 2.06 และ 1.76 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าน้อยมาก และเมื่อเปรียบเทียบกับค่า P-Value คือ 0.055 และ 0.081 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

เมื่อพิจารณากราฟของปัจจัยร่วมที่เหลือ พบว่าปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการเลือก AGV และปัจจัยร่วมของกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะเร่งงานมีผลต่อเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าโดยมีกราฟตัดกันเพียงเล็กน้อย ในขณะที่ปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงานนั้น กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ EDD จะให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่ามากที่สุดเมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ CON ขณะที่กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบอื่นจะให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดมากที่สุดเมื่อใช้กฎการกำหนดส่งมอบงานแบบ RAN

พิจารณาปัจจัยร่วมของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน เมื่อมีการเปลี่ยนระดับของสภาวะการเร่งงานไป กฎการจ่ายงานแบบ 1 (FIFO) จะมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงค่าใช้จ่ายทั้งหมดมากที่สุด โดยมีค่าของความชันมากที่สุด ในขณะที่กฎการจ่ายงานแบบ WSPT และ TEC นั้นมีความชันน้อยที่สุด ซึ่งจะส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุดเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงสภาวะเร่งงานดังนั้นในกรณีที่มีสภาวะการเร่งงานเกิดขึ้นกฎการจ่ายงานแบบ FIFO นั้นเป็นกฎที่จะส่งผลต่อการเพิ่มของค่าใช้จ่ายทั้งหมดในระบบมากที่สุด และกฎ WSPT และ TEC จะเป็นกฎที่จะส่งผลต่อการเพิ่มของค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุด เมื่อคิดค่าใช้จ่ายทั้งหมดโดยพิจารณาถึงความสำคัญของลูกค้า



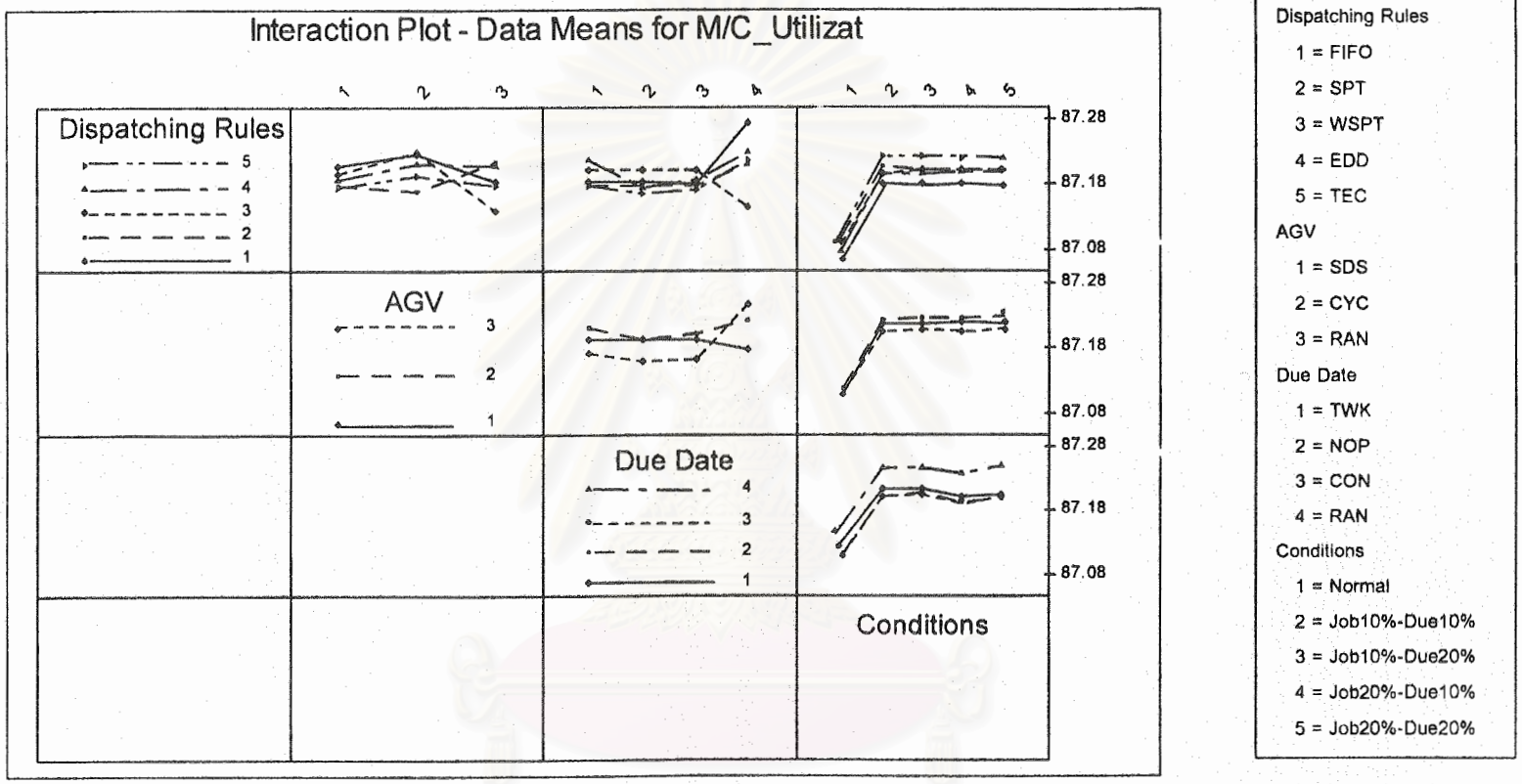
รูปที่ 5.23 *ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

จากรูปที่ 5.24 พบว่ากราฟของปัจจัยร่วม กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน กฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดการส่งมอบงาน และกฎการเลือก AGVXสภาวะการเร่งงาน มีเส้นกราฟที่ค่อนข้างขนานกัน ประกอบกับการพิจารณาค่า P-Value จากรูปที่ 5.1 คือ 0.052, 0.988 และ 0.795 สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยร่วมดังกล่าวไม่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และเมื่อพิจารณาปัจจัยร่วมที่เหลือคือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรX กฎการเลือก AGV กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXกฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะการเร่งงาน พบว่าเส้นกราฟของปัจจัยร่วมนั้นไม่ขนานกันอย่างชัดเจน ซึ่งมีค่าความชันแตกต่างกันมาก และเมื่อพิจารณาจากค่า F-Ratio และ P-Value พบว่าปัจจัยร่วมดังกล่าว ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ โดยปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบมากที่สุดคือ ปัจจัยร่วมของกฎการเลือก AGVXกฎการกำหนดส่งมอบงาน

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5.24 ผลของปัจจัยร่วม 2 ระดับ เมื่อพิจารณาในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2 ผลกระทบของการใช้กฎการเลือก AGV กฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่สภาวะการเร่งงานต่าง ๆ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองในหัวข้อ 5.1.1 ถึง 5.1.3 เป็นการพิจารณาผลกระทบของทุกปัจจัยทั้งที่เป็นปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วม 2 ระดับที่มีผลต่อดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพของระบบ สำหรับในหัวข้อนี้จะพิจารณาผลกระทบแบบผสมของปัจจัยกฎการเลือก AGV กฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานในกรณีต่าง ๆ ดังนี้

5.2.1 สภาวะปกติ

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ SDSXTWKXSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ CYCXCONXEDD

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ SDSXTWKXEDD

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ RANXNOPXEDD

5.2.2 สภาวะเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 10% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 10%

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ RANXNOPXSPT, RANXCONX SPT, SDSXTWKXSPT, SDSXNOPXSPT, SDSXCONXSPT, SDSXTWKXWSPT, SDSXNOPXWSPT, SDSXCONXWSPT, CYCXTWKXWSPT, CYCXNOPXWSPT และ CYCXCONXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ SDSXTWKXTEC

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ CYCXTWKXWSPT, SDSXTWKXWSPT, CYCXCONXWSPT, CYCXNOPXWSPT, SDSXCONXWSPT และ SDSXNOPXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ RANXRANXSPT

5.2.3 สภาวะเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 10% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 20%

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ RANXNOPXSPT,RANXCONX SPT, SDSXTWKXSPT, SDSXNOPXSPT, SDSXCONXSPT, SDSXTWKXWSPT, SDSXNOPXWSPT, SDSXCONXWSPT, CYCXTWKXWSPT, CYCXNOPXWSPT,CYCXCONXWSPT และ CYCXRANXSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ SDSXCONXTEC และ SDSXTWKXTEC

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ CYCXTWKXWSPT, SDSXTWKXWSPT และ CYCXCONXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ RANXRANXSPT

5.2.4 สภาวะเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 20% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 10%

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ RANXNOPXSPT,RANXCONXSPT, SDSXTWKXSPT, SDSXNOPXSPT, SDSXCONXSPT, SDSXTWKXWSPT, SDSXNOPXWSPT, SDSXCONXWSPT, CYCXTWKXWSPT, CYCXNOPXWSPT, CYCXCONXWSPT และ CYCXRANXSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือRANXNOPXTEC, SDSXCONXTEC, CYCXNOPXTEC, RANXCONXTEC, SDSXNOPXTEC, CYCXCONXTEC, SDSXTWKXTEC และ CYCXTWKXTEC

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงาน

ของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือ CYCXTWKXWSPT และ SDSXTWKXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ CYCXRANXFIFO และ RANXRANXSPT

5.2.5 สภาวะเร่งงาน เมื่อจำนวนงานถูกเร่งอย่างสุ่ม 20% และระยะเวลากำหนดส่งถูกเร่งอย่างสุ่ม 20%

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ดีที่สุดคือRANXNOPXSPT, RANXCONXSPT, SDSXTWKXSPT, SDSXNOPXSPT, SDSXCONXSPT, SDSXTWKXWSPT, SDSXNOPXWSPT, SDSXCONXWSPT, CYCXTWKXWSPT, CYCXNOPXWSPT และ CYCXCONXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน เวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ RANXNOPXTEC

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ CYCXTWKWSPT, CYCXCONXWSPT, CYCXNOPXWSPT, SDSXTWKXWSPT, SDSXCONXWSPT, SDSXNOPXWSPT, RANXCONXWSPT และ RANXNOPXWSPT

- เมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้าน ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร กฎการเลือกของ AGVXกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานXกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ที่ดีที่สุดคือ RANXRANXEDD

5.3 สรุป

ในบทนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยและปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) และส่วนที่สองเป็นการวิเคราะห์ผลของปัจจัยแบบผสมของปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการเลือก AGV และกฎการกำหนดส่งมอบงาน ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานในกรณีต่าง ๆ โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test โดยมีผลสรุปดังนี้

1. เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยทุกตัวส่งผลกระทบต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎการเลือก AGV เท่านั้นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อดัชนีชี้วัดในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร และเมื่อพิจารณาด้านปัจจัยหลักสามารถสรุปได้ดังนี้
   - SPT เป็นกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด ขณะที่กฎ TEC ส่งผลให้ดัชนีชี้วัดด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยสุด และ กฎ WSPT ส่งผลให้ดัชนีชี้วัดด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยสุด โดยกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรไม่ส่งผลต่อดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักร
   - SDS และ CYC เป็นกฎการเลือก AGV ที่ส่งผลให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด โดยกฎการเลือก AGV ไม่ส่งผลต่อดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร
   - TWK NOP และ CON เป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ส่งผลให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าพบว่ากฎการกำหนดส่งมอบแบบ NOP ให้ค่าต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ TWK และ NOP จะให้ค่าของดัชนีวัดผลประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าต่ำสุด
   - เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะการเร่งงานจากสภาวะปกติ เป็นสภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่ง และระยะเวลาที่ถูกเร่งมากขึ้น ส่งผลให้ดัชนีชี้วัดประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยในสภาวะปกตินั้นค่าของเวลาที่ชิ้นงานอยู่

ในระบบจะมีค่ามากกว่าเมื่อเกิดสภาวะเร่งงานขึ้น แต่มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรน้อยกว่าเมื่อเกิดสภาวะเร่งงาน

2. เมื่อพิจารณาผลกระทบของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการเลือก AGV และกฎการกำหนดส่งมอบงาน ที่สภาวะการเร่งงานต่างๆ กัน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test พบว่าในสภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานนั้น กฎที่ดีที่สุดในการวัดผลประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ นั้นมีค่าแตกต่างกัน แต่ในสภาวะการเร่งงานที่ระดับต่าง ๆ กัน กฎที่ดีที่สุดนั้นจะคล้ายคลึงกันในแต่ละระดับการเร่งงาน โดยกฎที่ดีที่สุดที่ในด้านประสิทธิภาพของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยที่สุด ส่วนใหญ่จะส่งผลให้ประสิทธิภาพด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุดด้วย

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX

6.1 บทนำ

ในบทนี้ได้ทำการทดลองเพิ่มเติมเกี่ยวกับกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ First-In-First-Out-SLACK EXPEDITE (FIFOSLACKEX) ซึ่งเป็นกฎที่ง่ายและสะดวกในการใช้งาน โดยทำการทดลองและวิเคราะห์ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ วิเคราะห์สภาวะการทดลองที่ให้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด และวิเคราะห์ความไวของสภาวะเร่งงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

6.2 แนวคิดในการทดลอง

ในบทที่ 5 ได้ทำการทดลองเกี่ยวกับกฎต่าง ๆ เพื่อให้สามารถสนองต่อสภาวะการเปลี่ยนแปลงของลูกค้า คือสภาวะที่เกิดการเร่งงานขึ้น แต่เนื่องจากในสภาวะความเป็นจริงของโรงงานอุตสาหกรรมนั้นกฎดังกล่าวอาจมีความซับซ้อนในการคำนวณ รวมทั้งจำเป็นจะต้องมีระบบฐานข้อมูลที่ดีเพื่อนำข้อมูลเหล่านั้นมาคำนวณเป็นกฎ ดังนั้นกฎโดยทั่วไปที่ใช้กันโดยง่ายที่สุดคือกฎ FIFO คืองานชิ้นใดมีการสั่งก่อนดำเนินการผลิตก่อน แต่ยังมีอีกกฎที่สะดวกและง่ายในการนำมาใช้ในกรณีที่มีการเร่งงานคือ กฎ FIFOSLACKEX (Baker, 1943) โดยมีรายละเอียดดังนี้

กฎ FIFOSLACKEX จะทำการแบ่งชิ้นงานออกเป็น 2 ประเภท คือ

1. ประเภทลำดับความสำคัญสูง (High Priority) หมายถึง ชิ้นงานที่มีการถูกเร่งงานเกิดขึ้น (เปลี่ยนแปลงกำหนดการส่งมอบงานให้กระชั้นขึ้น) หรือชิ้นงานที่มีค่าของระยะเวลาหย่อน (Slack) น้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์
2. ประเภทลำดับความสำคัญปกติ (Normal Priority) หมายถึง ชิ้นงานที่ไม่มีการถูกเร่งงานเกิดขึ้น หรือชิ้นงานที่มีค่าของระยะเวลาหย่อนมากกว่าศูนย์

โดยจะให้ความสำคัญกับชิ้นงานประเภทที่ 1 คือประเภทลำดับความสำคัญสูงก่อน และภายในชิ้นงานที่ถูกเร่งงานให้ลำดับความสำคัญแบบ FIFO เช่นเดียวกับภายในชิ้นงานประเภทลำดับความสำคัญปกติก็ให้ลำดับความสำคัญแบบ FIFO

การทดลองในบทนี้จะทำการทดลองเปรียบเทียบกฎ FIFO และ FIFOSLACKEX ว่ามีผลการวัดประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ มีความแตกต่างกันหรือไม่เพียงไร เนื่องกฎ FIFOSLACKEX เป็นกฎที่มีความสะดวก และง่ายต่อการนำไปใช้มากกว่ากฎอื่น ๆ ถ้าสามารถให้ผลการวัดประสิทธิภาพดีกว่ากฎ FIFO อย่างมีนัยสำคัญ ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม

โดยจะทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่สามารถนำกฎ FIFOSLACKEX ไปใช้ได้ดีที่สุด โดยสภาวะที่จะทำการทดลองประกอบด้วย

1. ภาระงานของเครื่องจักร (Loading Machine)
   - ภาระงานของเครื่องจักรน้อย (Light Load)
     จะทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานในระบบที่ทำให้ได้ภาระงานของเครื่องจักรน้อยกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ จากตารางที่ 4.2 พบว่าจำนวนชิ้นงานในระบบเท่ากับ 7 ชิ้นงานจะทำให้ได้ภาระงานของเครื่องจักรเท่ากับ 79.2 เปอร์เซ็นต์
   - ภาระงานของเครื่องจักรมาก (Heavy Load)
     จะทำการกำหนดจำนวนชิ้นงานในระบบที่ทำให้ได้ภาระงานของเครื่องจักรสูงสุด จากตารางที่ 4.2 พบว่าจำนวนชิ้นงานในระบบเท่ากับ 35 ชิ้นงานจะทำให้ได้ภาระงานของเครื่องจักรเท่ากับ 87.1 เปอร์เซ็นต์

2. ความกระชั้นของการกำหนดการส่งมอบงาน (Due Date Tightness)
   - ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานน้อย (Loose Due Date Tightness)
     โดยทำการกำหนดค่า K หรือค่าความกระชั้นที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานล่าช้าเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ที่สภาวะปกติ (Sabuncuoglu and Karabuk, 1999)
   - ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมาก (Tight Due Date Tightness)
     โดยทำการกำหนดค่า K หรือค่าความกระชั้นที่ทำให้เปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานล่าช้าเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ที่สภาวะปกติ (Sabuncuoglu and Karabuk, 1999)

โดยจะทำการทดลองที่สภาวะการเร่งงานต่าง ๆ ดังนี้

1. สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %
2. สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %
3. สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %
4. สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %

สรุปปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง

1. กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร
   - 1.1 กฎ FIFO
   - 1.2 กฎ FIFOSLACKEX
2. ภาระงานของเครื่องจักร
   - 1.1 ภาระงานของเครื่องจักรน้อย
   - 1.2 ภาระงานของเครื่องจักรมาก
3. ความกระชั้นของการกำหนดเวลาส่งมอบ
   - 1.1 ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานน้อย
   - 1.2 ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมาก
4. สภาวะการเร่งงาน
   - 1.1 สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %
   - 1.2 สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %
   - 1.3 สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %
   - 1.4 สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

- ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ
- สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด
- ความไวของสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของระบบ

6.3.1 ผลกระทบของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

การวิเคราะห์จะใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์

พิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน พบว่า ปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักรเป็นปัจจัยเดียวที่มีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีผลอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากเมื่อมีการเพิ่มภาระงานให้กับเครื่องจักรโดยการเพิ่มจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่อยู่ในระบบเข้าไป ทำให้เกิดความหนาแน่นขึ้นภายในระบบซึ่งส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ โดยจะมีการเพิ่มขึ้นตามการเปลี่ยนแปลงของภาระงาน ซึ่งจะเห็นได้จากรูปที่ 4.3 ที่ค่าของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าแปรผันตามจำนวนชิ้นงานที่อยู่ในระบบ ในขณะที่ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรคือ กฎ FIFO และ FIFOSLACKEX ปัจจัยด้านการกำหนดความกระชั้นของการส่งมอบงาน สภาวะการเร่งงาน และปัจจัยร่วม 2 ระดับทุกตัว ไม่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบอย่างมีนัยสำคัญดังรูปที่ 6.1 และ 6.2

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANOVA: Flowtime versus Dispatching Rules, Load, Due Date, Condition

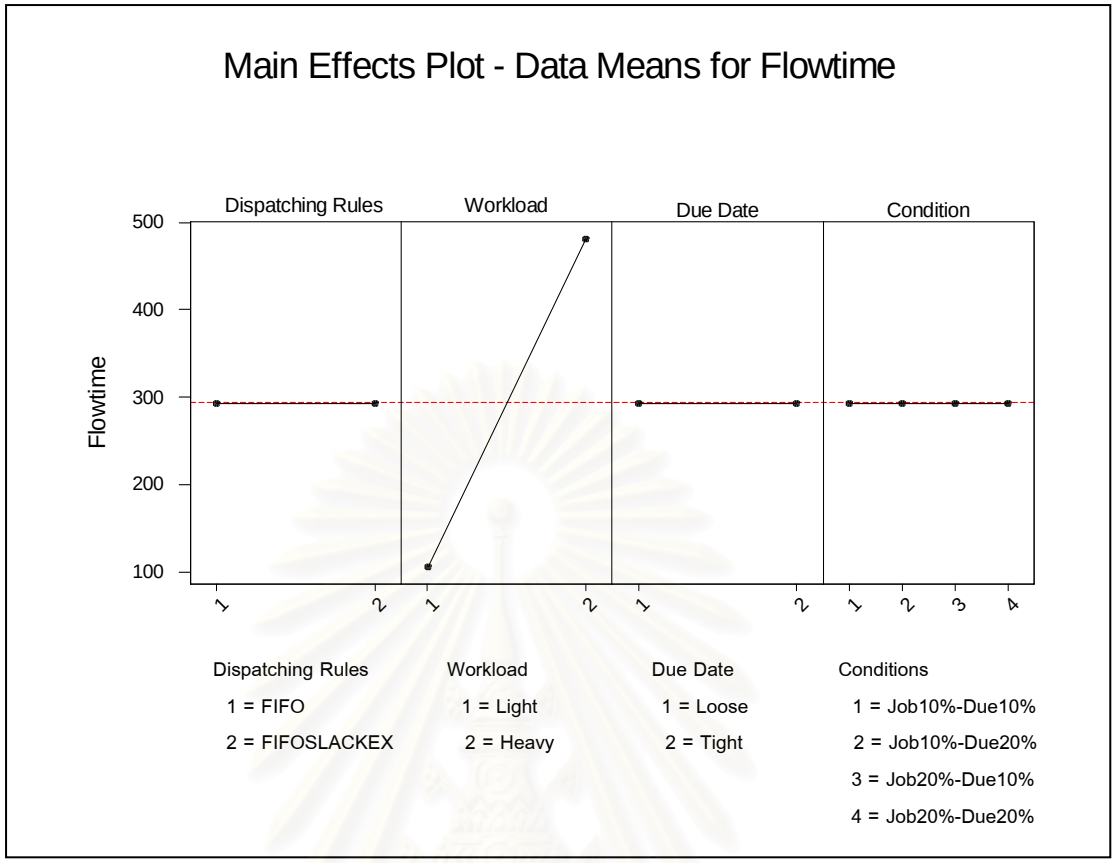
```
Factor     Type Levels Values
Dispatch   fixed      2      1      2
Load       fixed      2      1      2
Due Date   fixed      2      1      2
Conditio   fixed      4      1      2      3      4


Analysis of Variance for Flowtime

Source                              DF          SS          MS        F       P
Dispatch                             1       0.575       0.575     2.40   0.124
Load                                 1     5655502     5655502 2.4E+07   0.000
Due Date                             1   9.555E-02   9.555E-02     0.40   0.528
Conditio                             3       0.398       0.133     0.55   0.646
Dispatch*Load                        1       0.701       0.701     2.93   0.089
Dispatch*Due Date                    1   4.516E-03   4.516E-03     0.02   0.891
Dispatch*Conditio                    3       0.317       0.106     0.44   0.723
Load*Due Date                        1       0.273       0.273     1.14   0.287
Load*Conditio                        3   4.698E-02   1.566E-02     0.07   0.978
Due Date*Conditio                    3   5.871E-02   1.957E-02     0.08   0.970
Dispatch*Load*Due Date               1   7.877E-02   7.877E-02     0.33   0.567
Dispatch*Load*Conditio               3   3.890E-02   1.297E-02     0.05   0.983
Dispatch*Due Date*Conditio           3   9.626E-02   3.209E-02     0.13   0.940
Load*Due Date*Conditio               3       0.125   4.180E-02     0.17   0.913
Dispatch*Load*Due Date*Conditio      3       0.152   5.052E-02     0.21   0.888
Error                              128          31           0
Total                              159     5655536
```

รูปที่ 6.1 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.2 *กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก เมื่อพิจารณาในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า

พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 6.3 พบว่าทุกปัจจัยหลักได้แก่ ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีผลอย่างมีนัยสำคัญ

โดยการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX จะให้ค่าของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยกว่าการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร FIFO เนื่องจากนำงานที่ถูกเร่งงานและมีค่าของระยะเวลาหย่อนน้อยกว่าหรือเท่ากับศูนย์มาพิจารณาเป็นชิ้นงานที่มีลำดับความสำคัญสูงจึงทำให้ชิ้นงานนั้นมีโอกาสที่จะเสร็จภายในกำหนดเวลาส่งมอบ หรือเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งมอบน้อยกว่าการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO ซึ่งไม่ได้พิจารณาถึงการเร่งงานหรือค่าของระยะเวลาหย่อน

เมื่อพิจารณาปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักรจากกราฟรูปที่ 6.4 พบว่า ภาระงานของเครื่องจักรมากจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลางานที่เสร็จช้านั้นมีค่ามากด้วย เนื่องจากภาระงานของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ ณ เวลานั้น ๆ เมื่อมีการเพิ่มภาระงานของเครื่องจักรจึงเป็นการเพิ่มจำนวนชิ้นงานในระบบด้วย ซึ่งจะส่งผลให้เกิดความหนาแน่นภายในระบบ ชิ้นงานจึงมีระยะเวลาคอยมากขึ้น ชิ้นงานใช้เวลาเฉลี่ยทั้งหมดในระบบเพิ่มมากขึ้น ทำให้เวลางานที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดจึงมากขึ้นด้วย

พิจารณาปัจจัยด้านการกำหนดความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน พบว่าเมื่อมีความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากขึ้นจะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของเวลางานที่เสร็จล่าช้ามีค่ามากขึ้นด้วย เนื่องจากความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานขึ้นกับเปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานที่เสร็จล่าช้า เมื่อกำหนดให้มีความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมาก คือมีจำนวนชิ้นงานที่เสร็จล่าช้าเป็น 40 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่สภาวะปกติ จึงส่งผลให้มีเวลาเฉลี่ยของชิ้นงานที่เสร็จล่าช้ามากกว่าเมื่อกำหนดความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานน้อย (จำนวนชิ้นงานเสร็จล่าช้าเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ของจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่สภาวะปกติ)

พิจารณาปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน พบว่า เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่ามากขึ้นเมื่อจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่ง และเวลาส่งมอบเร็วมากขึ้น เนื่องจากเมื่อมีจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่งเพิ่มมากขึ้น ซึ่งส่งผลให้จำนวนชิ้นงานที่เวลากำหนดส่งมอบกระชั้นขึ้นนั้นมีจำนวนมากขึ้น และเมื่อเวลาส่งมอบเร็วมากขึ้นทำให้ชิ้นงานมีโอกาสที่จะเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งมอบมีมากขึ้นด้วย ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ส่งผลให้ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนด

นอกจากนี้มีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXภาระงานของเครื่องจักร กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน ภาระงานของเครื่องจักรXความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และภาระงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน

ANOVA: Tardiness versus Dispatching Rules, Load, Due Date, Condition

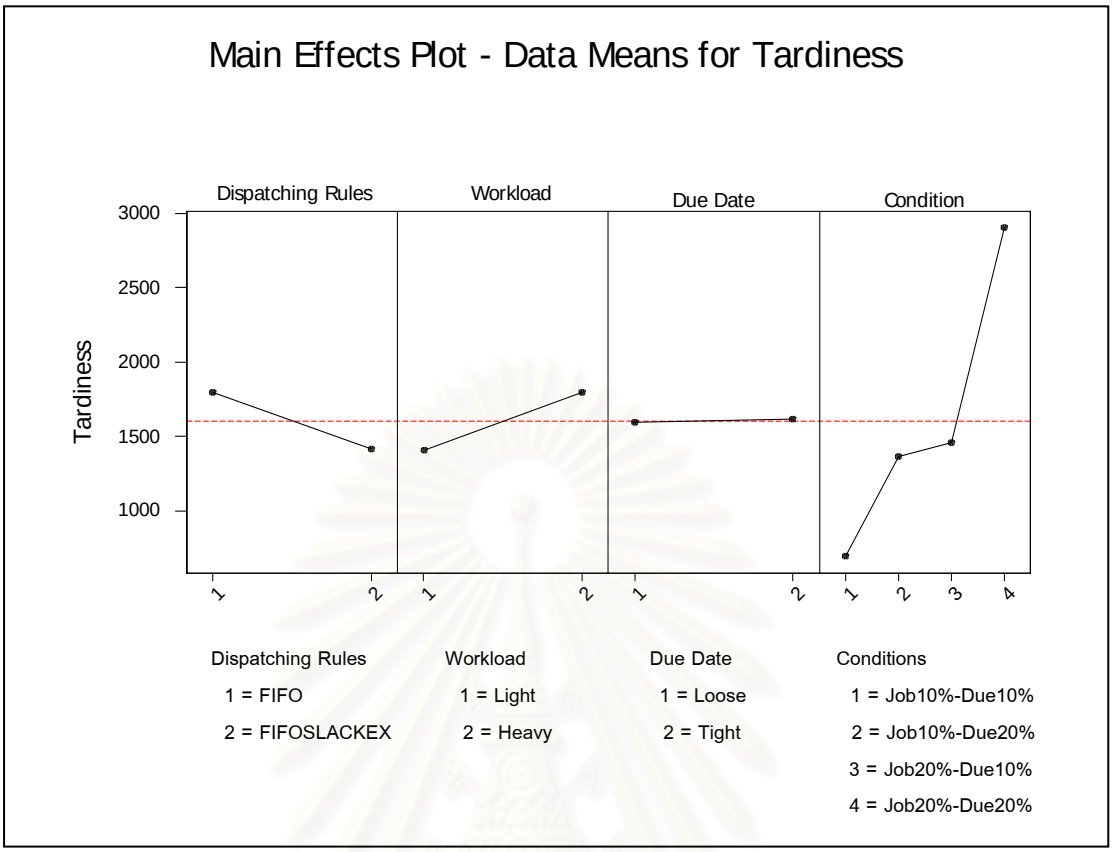
Factor	Type	Levels	Values			
Dispatch	fixed	2	1	2		
Load	fixed	2	1	2		
Due Date	fixed	2	1	2		
Conditio	fixed	4	1	2	3	4

Analysis of Variance for Tardines

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	1	5738771	5738771	8375.67	0.000
Load	1	6034241	6034241	8806.90	0.000
Due Date	1	16357	16357	23.87	0.000
Conditio	3	103473033	34491011	5.0E+04	0.000
Dispatch*Load	1	821466	821466	1198.92	0.000
Dispatch*Due Date	1	3531	3531	5.15	0.025
Dispatch*Conditio	3	771686	257229	375.42	0.000
Load*Due Date	1	16397	16397	23.93	0.000
Load*Conditio	3	2828478	942826	1376.04	0.000
Due Date*Conditio	3	268	89	0.13	0.942
Dispatch*Load*Due Date	1	666	666	0.97	0.326
Dispatch*Load*Conditio	3	1370552	456851	666.77	0.000
Dispatch*Due Date*Conditio	3	1240	413	0.60	0.614
Load*Due Date*Conditio	3	859	286	0.42	0.741
Dispatch*Load*Due Date*Conditio	3	716	239	0.35	0.791
Error	128	87702	685		
Total	159	121165961			

รูปที่ 6.3 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.4 *กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก*
เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด

จากรูป 6.5 และ 6.6 จะพิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักร ปัจจัยด้านความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงาน มีผลต่อค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ เช่นเดียวกับการพิจารณาในด้านค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า เนื่องจากค่าใช้จ่ายทั้งหมดนั้นขึ้นอยู่กับเวลางานที่เสร็จล่าช้า ดังนั้นผลการทดลองจึงออกมามีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน นอกจากนี้ยังมีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ระดับ 2 ปัจจัยร่วมทุกตัวส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXภาระงานของเครื่องจักร กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน ภาระงานของเครื่องจักรXความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และภาระงานของเครื่องจักรXสภาวะการเร่งงาน ยกเว้นปัจจัยร่วม ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานXสภาวะการเร่งงาน

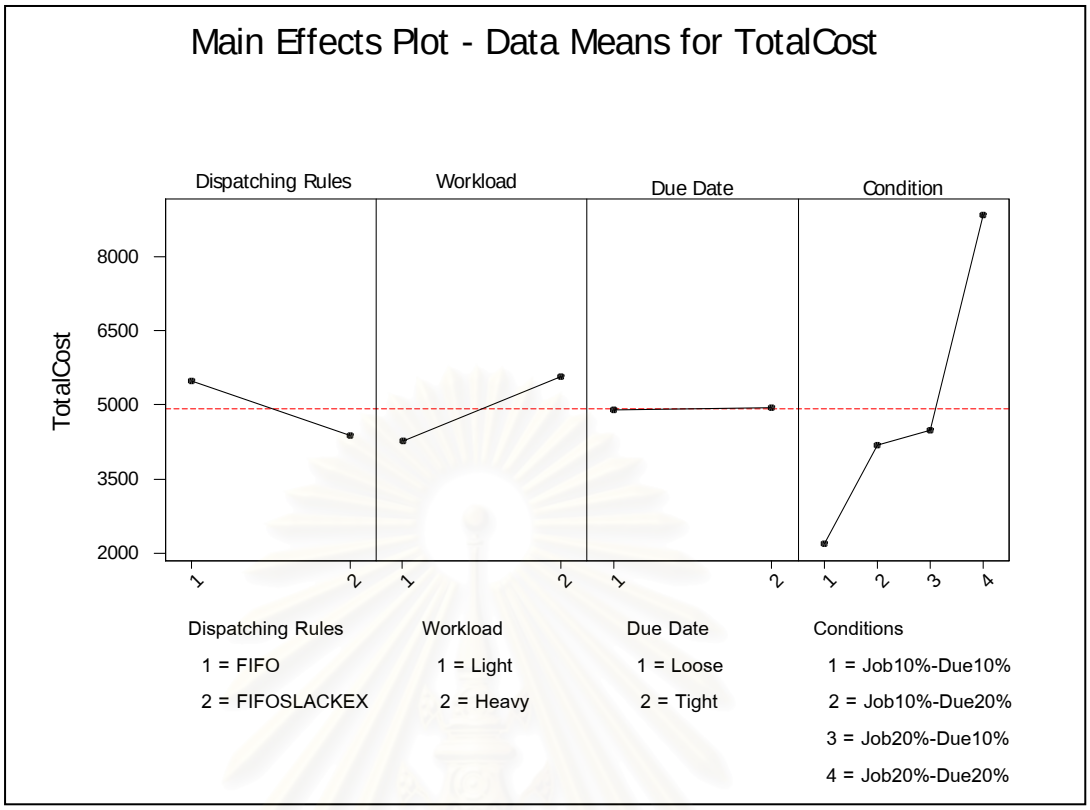
ANOVA: TotalCost versus Dispatching Rules, Load, Due Date, Condition

Factor	Type	Levels	Values			
Dispatch	fixed	2	1	2		
Load	fixed	2	1	2		
Due Date	fixed	2	1	2		
Conditio	fixed	4	1	2	3	4

Analysis of Variance for TotalCos

Source	DF	SS	MS	F	P
Dispatch	1	48705290	48705290	8691.37	0.000
Load	1	66758287	66758287	1.2E+04	0.000
Due Date	1	110781	110781	19.77	0.000
Conditio	3	943683703	314561234	5.6E+04	0.000
Dispatch*Load	1	8578418	8578418	1530.80	0.000
Dispatch*Due Date	1	76882	76882	13.72	0.000
Dispatch*Conditio	3	6740941	2246980	400.97	0.000
Load*Due Date	1	96998	96998	17.31	0.000
Load*Conditio	3	23255798	7751933	1383.32	0.000
Due Date*Conditio	3	31125	10375	1.85	0.141
Dispatch*Load*Due Date	1	64397	64397	11.49	0.001
Dispatch*Load*Conditio	3	13440370	4480123	799.47	0.000
Dispatch*Due Date*Conditio	3	29386	9795	1.75	0.160
Load*Due Date*Conditio	3	31453	10484	1.87	0.138
Dispatch*Load*Due Date*Conditio	3	33913	11304	2.02	0.115
Error	128	717295	5604		
Total	159	1112355037			

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด



รูปที่ 6.6 *กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก เมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านประสิทธิภาพของการใช้งานของเครื่องจักร

จากรูป 6.7 และ 6.8 พิจารณาด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักร มีผลต่อค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรอย่างมีนัยสำคัญ โดยการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX จะให้ค่าของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมีค่าต่ำกว่าการใช้กฎการจ่ายงานแบบ FIFO และปัจจัยด้านภาระงานของเครื่องจักรมีผล เนื่องจากเมื่อมีภาระงานของเครื่องจักรมากขึ้นส่งผลให้ประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมากขึ้นด้วย ซึ่งเมื่อมีการเพิ่มภาระงานให้กับเครื่องจักรโดยการเพิ่มจำนวนชิ้นงานทั้งหมดที่อยู่ในระบบเข้าไป ทำให้เกิดความหนาแน่นขึ้นภายในระบบ ซึ่งส่งผลกระทบให้เครื่องจักรต้องทำงานเพิ่มมากขึ้นดังนั้นประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรจึงมากขึ้นด้วย นอกจากนี้มีปัจจัยร่วมบางปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมีผลอย่างมีนัยสำคัญ คือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร×ภาระงานของเครื่องจักร

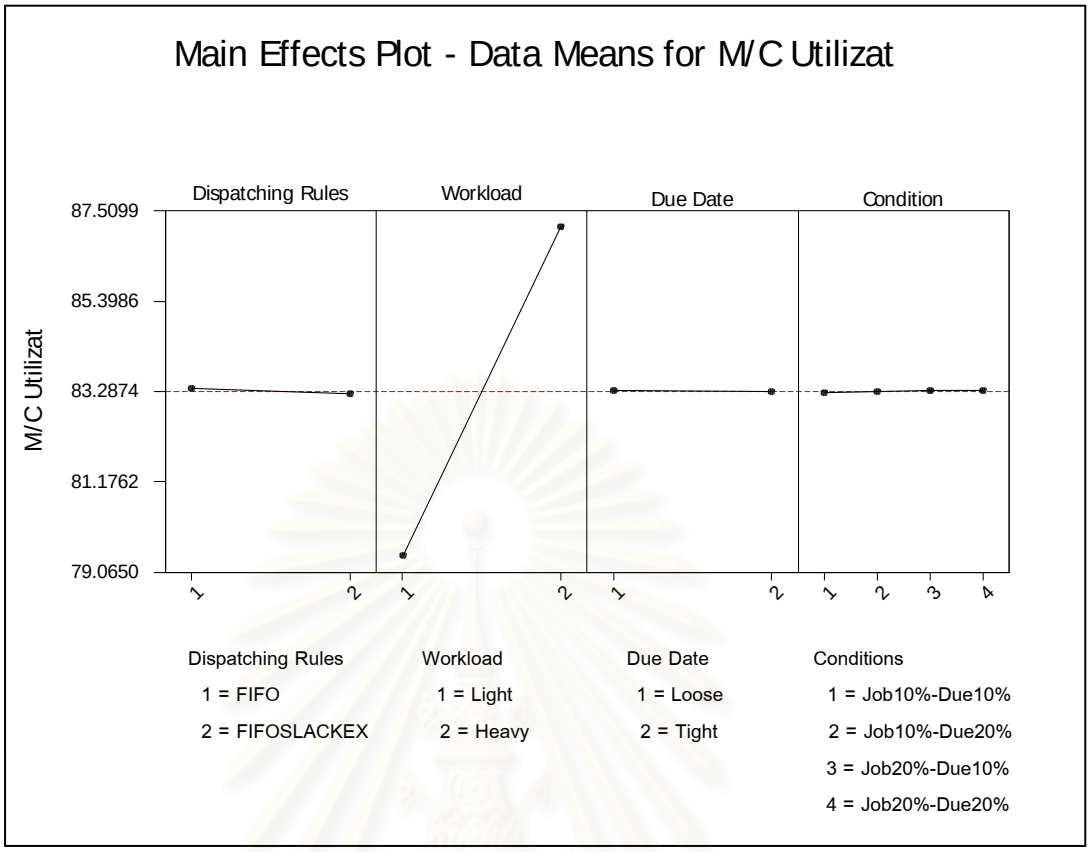
ANOVA: M/C Utilization versus M/C Rules, Load, Due Date, Condition

Factor	Type	Levels	Values			
M/C Rule	fixed	2	1	2		
Load	fixed	2	1	2		
Due Date	fixed	2	1	2		
Conditio	fixed	4	1	2	3	4

Analysis of Variance for M/C Util

Source	DF	SS	MS	F	P
M/C Rule	1	0.643	0.643	39.24	0.000
Load	1	2346.871	2346.871	1.4E+05	0.000
Due Date	1	0.018	0.018	1.10	0.296
Conditio	3	0.071	0.024	1.44	0.234
M/C Rule*Load	1	0.139	0.139	8.50	0.004
M/C Rule*Due Date	1	0.045	0.045	2.74	0.100
M/C Rule*Conditio	3	0.039	0.013	0.79	0.503
Load*Due Date	1	0.096	0.096	5.86	0.017
Load*Conditio	3	0.016	0.005	0.33	0.801
Due Date*Conditio	3	0.001	0.000	0.03	0.994
M/C Rule*Load*Due Date	1	0.001	0.001	0.08	0.777
M/C Rule*Load*Conditio	3	0.038	0.013	0.76	0.517
M/C Rule*Due Date*Conditio	3	0.010	0.003	0.20	0.893
Load*Due Date*Conditio	3	0.019	0.006	0.39	0.758
M/C Rule*Load*Due Date*Conditio	3	0.017	0.006	0.34	0.797
Error	128	2.096	0.016		
Total	159	2350.120			

รูปที่ 6.7 *ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน*
เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร



รูปที่ 6.8 *กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของระดับปัจจัยหลัก เมื่อพิจารณาด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร*

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.2 สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด

จากผลการทดลองจะใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยที่ตารางที่ 6.1 ถึง 6.4 แสดงผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่สภาวะการเร่งงานต่าง ๆ

จากผลของ Multiple Range Test พบว่าปัจจัยที่ทำให้ได้ผลของการวัดประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ เป็นดังนี้

ประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

ในการพิจารณาประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานอยู่ในระบบพบว่า สภาวะการทดลองที่มีภาระงานของเครื่องจักรน้อย จะให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าน้อยกว่าเมื่อภาระงานของเครื่องจักรมากอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกการกำหนดความกระชั้นของการส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง

ประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า

ในการพิจารณาประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าพบว่า สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุดในทุกสภาวะการเร่งงานคือ

- การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX
- ภาระงานของเครื่องจักรน้อย
- ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ประสิทธิภาพด้านค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด

ในการพิจารณาประสิทธิภาพด้านค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด พบว่าสภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุดในทุกสภาวะการทดลองนั้นจะหมือนกับการวัดประสิทธิภาพในด้านค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า เนื่องจากค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดคำนวณมากจากค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า โดยสภาวะการทดลองที่ดีที่สุดคือ

- การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX
- ภาระงานของเครื่องจักรน้อย
- ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ประสิทธิภาพด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

ในการพิจารณาประสิทธิภาพ ด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร พบว่าสภาวะการทดลองที่มีภาระงานมาก จะส่งผลให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมากที่สุด ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกการกำหนดความกระชั้นของการส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง

ดังนั้นในอุตสาหกรรมการผลิต ถ้าวัตถุประสงค์ต้องการให้ได้เวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายต่ำสุดเมื่อมีสภาวะการเร่งงานเกิดขึ้น การนำกฎ FIFOSLACKEX ซึ่งเป็นกฎที่ง่ายและสะดวกต่อการนำไปใช้จึงเป็นกฎที่มีความเหมาะสม และเพื่อให้ได้ผลของการวัดประสิทธิภาพในด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าต่ำสุดนั้นควรจะทำการผลิตภายใต้สภาวะการทดลองดังนี้คือ

1. การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX
2. ภาระงานของเครื่องจักรน้อย
3. ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.1 *ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %*

ปัจจัยการทดลอง	Flowtime	Tardiness	TotalCost	M/C Utilization
FIFO-LightLoad-LooseDueDate	105.70 a	731.85 d	2210.70 d	79.56 b
FIFO-LightLoad-TightDueDate	105.70 a	736.88 d	2216.58 d	79.56 b
FIFO-HeavyLoad-LooseDueDate	481.84 b	856.95 e	2779.12 e	87.18 c
FIFO-HeavyLoad-TightDueDate	481.88 b	891.51 f	2815.90 e	87.11 c
FIFOSLACKEX-LightLoad-LooseDueDate	106.06 a	535.31 a	1628.68 a	79.29 a
FIFOSLACKEX-LightLoad-TightDueDate	106.08 a	536.99 a	1632.28 a	79.28 a
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-LooseDueDate	481.78 b	622.94 b	2097.16 b	87.08 c
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-TightDueDate	482.10 b	657.37 c	2140.40 c	87.05 c

หมายเหตุ อักษร a b c d e และ f ในตารางทั้งหมดแสดง homogeneous group โดย อักษร a แสดงกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.2 *ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 10% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %*

ปัจจัยการทดลอง	Flowtime	Tardiness	TotalCost	M/C Utilization
FIFO-LightLoad-LooseDueDate	105.70 a	1462.92 c	4399.00 c	79.56 b
FIFO-LightLoad-TightDueDate	105.70 a	1467.82 c	4404.50 c	79.56 b
FIFO-HeavyLoad-LooseDueDate	481.81 b	1678.64 d	5175.10 d	87.21 c
FIFO-HeavyLoad-TightDueDate	481.88 b	1737.48 e	5353.80 e	87.11 c
FIFOSLACKEX-LightLoad-LooseDueDate	106.06 a	1058.30 a	3188.96 a	79.29 a
FIFOSLACKEX-LightLoad-TightDueDate	105.87 a	1054.24 a	3201.76 a	79.42 a,b
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-LooseDueDate	481.74 b	1218.70 b	3892.82 b	87.15 c
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-TightDueDate	482.16 b	1225.58 b	3840.02 b	87.06 c

หมายเหตุ อักษร a b c d และ e ในตารางทั้งหมดแสดง homogeneous group โดย อักษร a แสดงกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.3 *ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10 %*

ปัจจัยการทดลอง	Flowtime	Tardiness	TotalCost	M/C Utilization
FIFO-LightLoad-LooseDueDate	105.70 a	1492.14 b	4548.48 b	79.56 a
FIFO-LightLoad-TightDueDate	105.70 a	1497.88 b	4557.38 b	79.56 a
FIFO-HeavyLoad-LooseDueDate	481.79 b	1668.98 d	5127.90 c	87.23 b
FIFO-HeavyLoad-TightDueDate	481.88 b	1724.02 e	5328.84 d	87.11 b
FIFOSLACKEX-LightLoad-LooseDueDate	105.86 a	999.74 a	3077.06 a	79.42 a
FIFOSLACKEX-LightLoad-TightDueDate	105.84 a	993.79 a	3046.72 a	79.46 a
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-LooseDueDate	481.72 b	1614.60 c	5081.72 c	87.10 b
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-TightDueDate	481.72 b	1648.80 d	5125.08 c	87.10 b

หมายเหตุ อักษร a b c d และ e ในตารางทั้งหมดแสดง homogeneous group โดย อักษร a แสดงกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6.4 *ผลของ Duncan's Multiple Range Test ที่ สภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนงานที่ถูกเร่งแบบสุ่ม 20% และ เวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20 %*

ปัจจัยการทดลอง	Flowtime	Tardiness	TotalCost	M/C Utilization
FIFO-LightLoad-LooseDueDate	105.70 a	2985.14 b	9080.96 b	79.56 a
FIFO-LightLoad-TightDueDate	105.70 a	2990.64 b	9089.08 b	79.56 a
FIFO-HeavyLoad-LooseDueDate	481.79 b	3350.56 d	10114.68 d	87.23 b
FIFO-HeavyLoad-TightDueDate	481.88 b	3417.90 e	10441.60 e	87.11 b
FIFOSLACKEX-LightLoad-LooseDueDate	105.95 a	2011.64 a	6093.06 a	79.38 a
FIFOSLACKEX-LightLoad-TightDueDate	105.87 a	1998.62 a	6105.66 a	79.45 a
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-LooseDueDate	481.72 b	3210.92 c	9899.50 c	87.10 b
FIFOSLACKEX-HeavyLoad-TightDueDate	481.72 b	3243.38 c	9937.32 c	87.10 b

หมายเหตุ อักษร a b c d และ e ในตารางทั้งหมดแสดง homogeneous group โดย อักษร a แสดงกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.3 การวิเคราะห์ความไวของสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ

ในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ความไวของสภาวะการเร่งงาน โดยจะพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าทั้งหมด

จากผลของ Multiple Range Test พบว่าปัจจัยที่ทำให้ได้ผลของการวัดประสิทธิภาพในด้านของเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าต่ำสุดทุก ๆ สภาวะการเร่งงาน คือ

1. การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX
2. ภาระงานของเครื่องจักรน้อย
3. ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้นในหัวข้อนี้จึงทำการทดลองเพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าเฉลี่ยของใช้จ่ายทั้งหมด เมื่อใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ที่ภาระงานของเครื่องจักรน้อย และความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานน้อย โดยมีการเปลี่ยนแปลงเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานที่ถูกเร่ง และระยะเวลาที่ถูกเร่งดังนี้

1. เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมีเวลาส่งมอบเร็วขึ้นซึ่งเปลี่ยนแปลงไปคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์
2. เมื่อระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมีจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไปคือ 10, 20, 30, 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

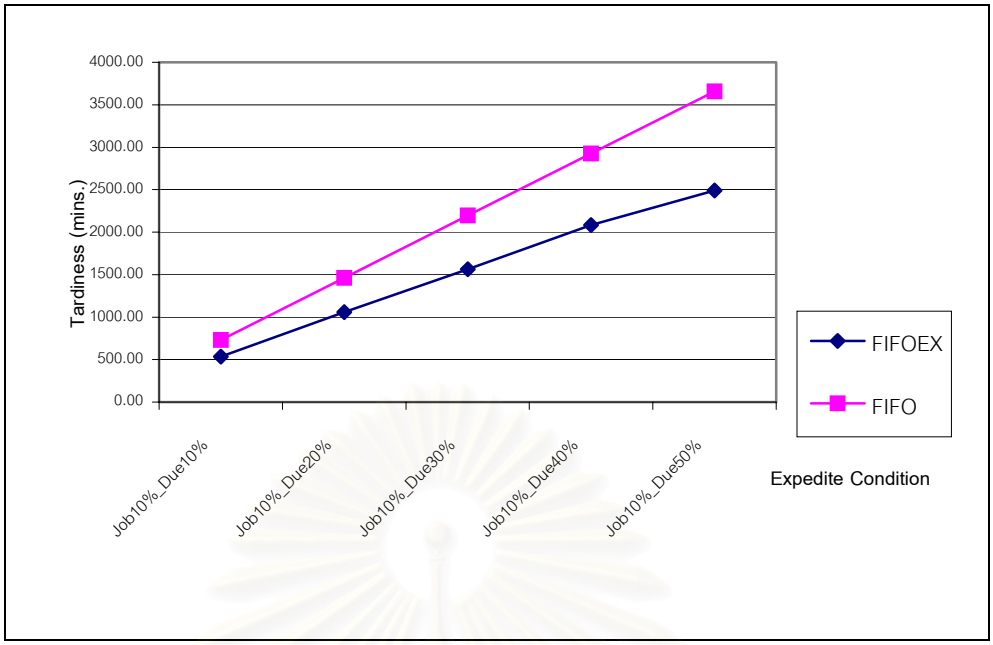
ผลการทดลอง

1. จำนวนงานที่ถูกเร่งเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์โดยมีเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป

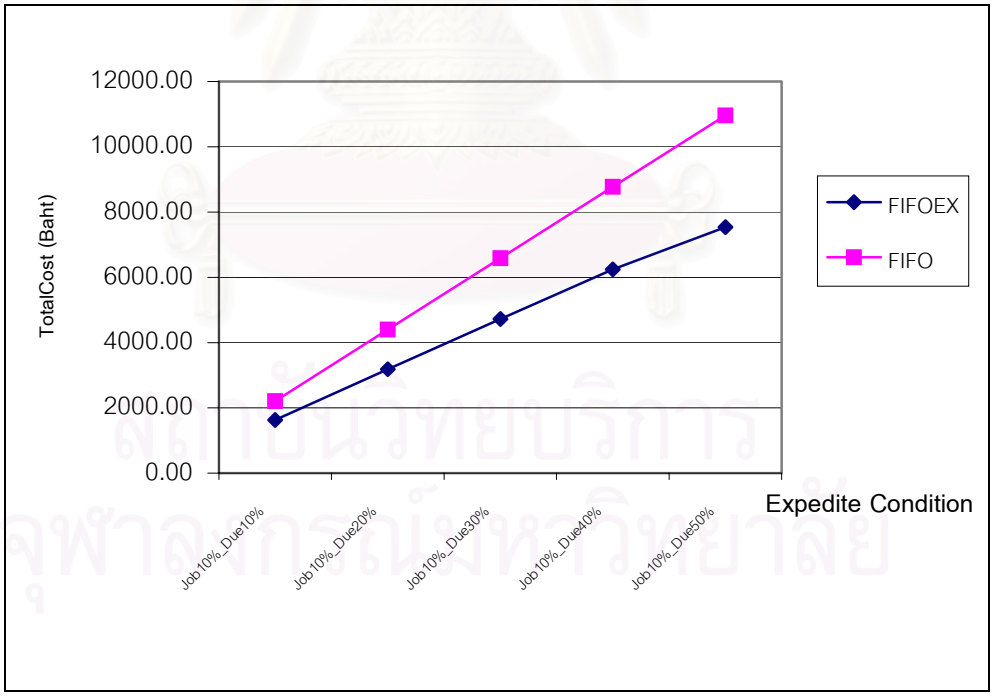
ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 6.5 และจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.9 ถึง 6.10 พบว่าเมื่อมีระยะเวลางานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป โดยมีจำนวนงานที่ถูกเร่งคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น กฎการจ่ายงานแบบ FIFOSLACKEX ให้ผลการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยของชิ้นงานที่เสร็จล่าช้า และค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดดีกว่าการใช้กฎแบบ FIFO โดยในระยะเวลาที่ถูกเร่งงานที่ระดับเปอร์เซ็นต์ที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX นั้นมีค่าความแตกต่างจากการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO เพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 6.9 และ 6.10 ที่เส้นกราฟทั้งสองนั้นมีระยะห่างกันมากขึ้น เมื่อเพิ่มเวลาส่งมอบให้เร็วมากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณากราฟที่แสดงในรูปที่ 6.11 พบว่า เมื่อเวลาที่ส่งมอบเร็วมากขึ้นส่งผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลาที่ส่งมอบเร็วมากขึ้น โดยในระดับเวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้น 10 ถึง 40 เปอร์เซ็นต์นั้น เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวค่อนข้างคงที่ แต่ถ้าเวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้น 40 ถึง 50 เปอร์เซ็นต์นั้น เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวของกฎทั้งสองจะมีค่ามากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 6.5 *แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อใช้กฎการจ่ายงานแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX เมื่อระยะเวลาที่ถูกเร่งงานเปลี่ยนแปลงไป*

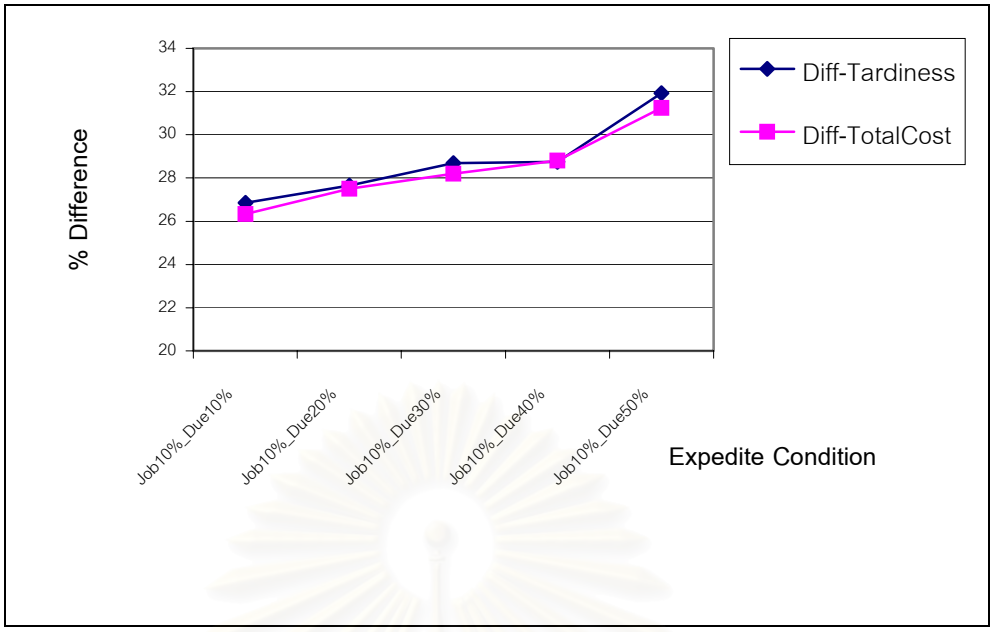
Expedite Condition	FIFOSLACKEX		FIFO	
	Tardiness	TotalCost	Tardiness	TotalCost
Job10%_Due10%	535.31	1628.68	731.85	2210.70
Job10%_Due20%	1058.30	3188.96	1462.92	4399.00
Job10%_Due30%	1564.68	4729.44	2194.02	6587.24
Job10%_Due40%	2084.28	6247.20	2925.14	8775.60
Job10%_Due50%	2489.00	7537.16	3656.24	10963.40



รูปที่ 6.9 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากับสภาวะการเร่งงาน เมื่อเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป*



รูปที่ 6.10 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับสภาวะการเร่งงาน เมื่อเวลาส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป*



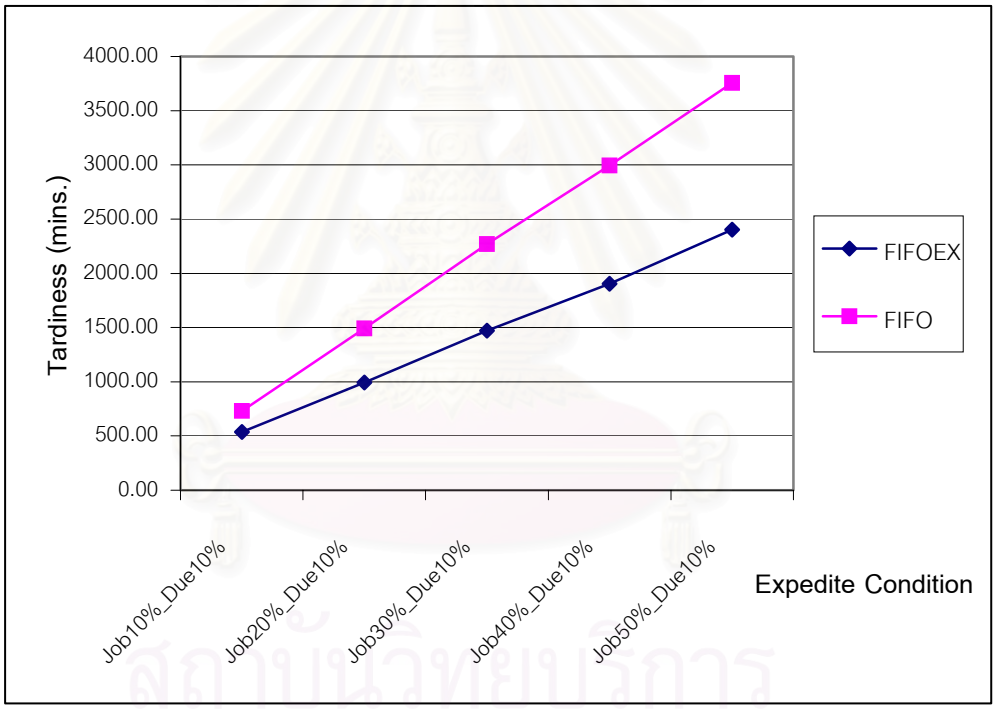
รูปที่ 6.11 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานทั้ง 2 แบบกับสภาวะการเร่งงานเมื่อเวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้นเปลี่ยนแปลงไป*

2. เวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้นเท่ากับ 10 เปอร์เซ็นต์ โดยมีจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลง

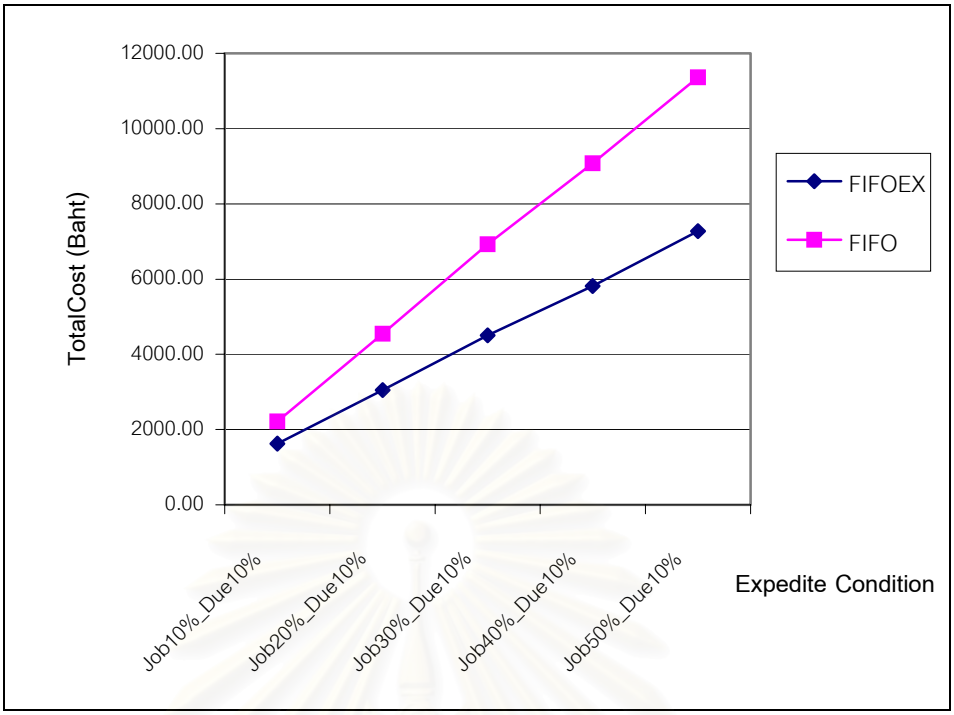
ผลการทดลองแสดงดังในตารางที่ 6.6 และจากกราฟที่แสดงในรูปที่ 6.12 ถึง 6.13 พบว่าเมื่อมีจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป โดยมีเวลาส่งมอบเร็วขึ้นคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์ นั้น กฎการจ่ายงานแบบ FIFOSLACKEX ให้ผลการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าและค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดดีกว่าการใช้กฎแบบ FIFO โดยเมื่อมีจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่งเพิ่มมากขึ้นตามเปอร์เซ็นต์ในการทดลองจะส่งผลให้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX นั้นมีค่าความแตกต่างจากการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO เพิ่มขึ้นด้วย ดังจะเห็นได้จากกราฟรูปที่ 6.12 และ 6.13 ที่เส้นกราฟทั้งสองนั้นมีระยะห่างกันมากขึ้นเมื่อเพิ่มจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่งงานให้มากขึ้น นอกจากนี้เมื่อพิจารณากราฟที่แสดงในรูปที่ 6.14 พบว่าเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้นส่งผลให้มีค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย แต่ค่าเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่าลดน้อยลงเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้น

ตารางที่ 6.6 *แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อใช้กฎการจ่ายงานแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งงานเปลี่ยนแปลงไป*

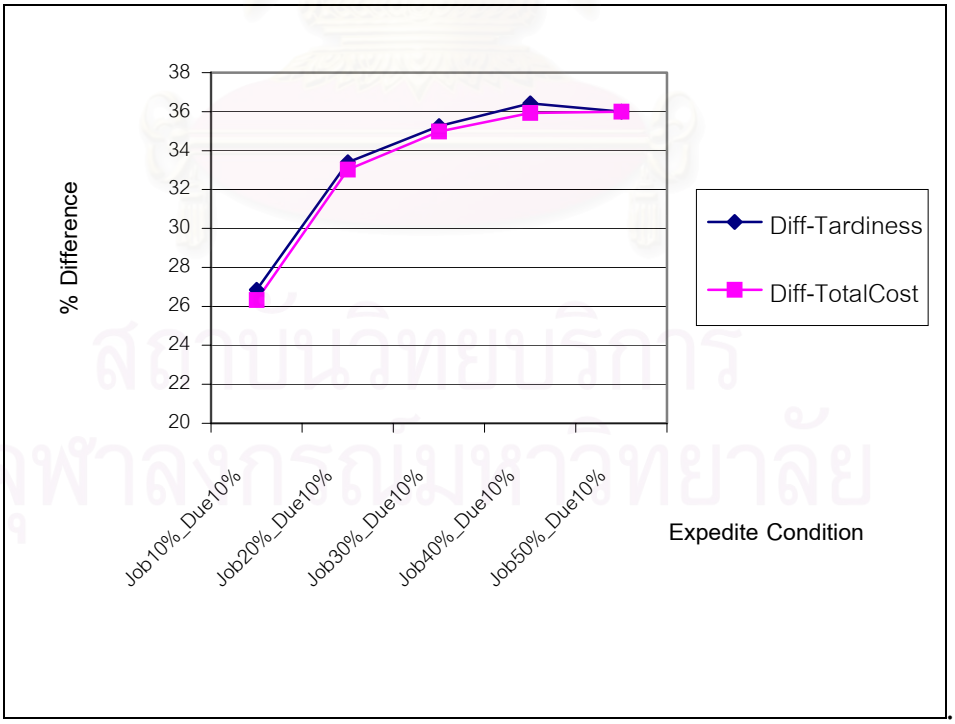
Expedite Condition	FIFOSLACKEX		FIFO	
	Tardiness	TotalCost	Tardiness	TotalCost
Job10%_Due10%	535.31	1628.68	731.85	2210.70
Job20%_Due10%	993.79	3046.72	1492.14	4548.48
Job30%_Due10%	1470.32	4502.26	2270.76	6923.58
Job40%_Due10%	1904.48	5816.22	2995.86	9078.28
Job50%_Due10%	2403.78	7269.00	3755.78	11357.60



รูปที่ 6.12 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ากับสภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป*



รูปที่ 6.13 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดกับสภาวะการเร่งงาน เมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป*



รูปที่ 6.14 *กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานทั้ง 2 แบบกับสภาวะการเร่งงานเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป*

6.4 สรุป

หลังจากทำการทดลองโดยมีปัจจัยการทดลองได้แก่ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ภาระงานของเครื่องจักร ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะการเร่งงาน จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนพบว่า ปัจจัยทุกตัวส่งผลกระทบต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะการเร่งงานเมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะการเร่งงาน เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

เมื่อวิเคราะห์สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุดพบว่า

- สภาวะการทดลองที่มีภาระงานของเครื่องจักรน้อยจะให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าน้อยกว่า เมื่อภาระงานของเครื่องจักรมากอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง
- สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุด ในทุกสภาวะการเร่งงานคือ การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX ภาระงานของเครื่องจักรน้อย และความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
- สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุด ในทุกสภาวะการทดลองนั้นจะเหมือนกับการวัดประสิทธิภาพในด้านค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าคือ การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX ภาระงานของเครื่องจักรน้อยและความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
- สภาวะการทดลองที่มีภาระงานมาก จะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรมากที่สุด ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง

นอกจากนี้ในการวิเคราะห์ความไวของสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของระบบ พบว่าเมื่อเวลาส่งมอบเร็วมากขึ้น โดยมีจำนวนงานที่ถูกเร่งคงที่จะส่งผลให้มีค่าความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามากขึ้นเมื่อเวลา

ส่งมอบเร็วมากขึ้น และเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้น โดยเวลาส่งมอบเร็วขึ้นคงที่ ส่งผลให้มีค่าความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่าลดน้อยลงเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 7

สรุป

7.1 สรุป

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาถึงผลกระทบกฎการจ่ายงาน ทั้งภายใต้สภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ AGV เป็นพาหนะที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ เนื่องจากความเป็นจริงนั้นอาจมีเหตุการณ์บางอย่างที่ทำให้เวลาส่งมอบเดิมที่ถูกกำหนดเอาไว้ตั้งแต่แรกนั้นถูกปรับให้กระชั้นขึ้น ดังนั้นโรงงานจึงต้องทำให้การเร่งงานขึ้น เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และยังเป็นการเพิ่มความพึงพอใจให้กับลูกค้าอีกด้วย โดยเฉพาะอย่างยิ่งกับลูกค้าที่มีความสำคัญสูงต่อธุรกิจ ซึ่งทำให้เกิดความไม่เท่าเทียมกันในการตอบสนองต่อลูกค้าแต่ละรายก็เป็นได้ แต่ผลกระทบที่ตามมาก็คือ โรงงานอาจจะต้องวางแผนการผลิตใหม่เพื่อทำให้ตารางการผลิตยังคงรักษาประสิทธิภาพสูงสุดเอาไว้ นอกจากนั้นแล้วการเร่งงานยังอาจจะมีผลกระทบโดยตรงต่องานที่กำลังดำเนินอยู่ภายใต้เงื่อนไขของการทำงานดั้งเดิมอีกด้วย

ในการทดลองได้ดำเนินการภายใต้ปัจจัยที่แตกต่างกันคือ กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ประกอบด้วย กฎ FIFO, SPT, WSPT, EDD และ TEC กฎการเลือกของ AGV ประกอบด้วย กฎ SDS, CYC, และ RAN กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ประกอบด้วย กฎ TWK, NOP, CON, และ RAN และปัจจัยสุดท้ายคือสภาวะการเร่งงาน ประกอบด้วย สภาวะปกติ สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ และเวลาที่ส่งมอบเร็วขึ้นเป็น 10 และ 20 เปอร์เซ็นต์ โดยก่อนการดำเนินการทดลองจริงได้มีการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) เพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมในการทดลอง ได้แก่ เวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว และขนาดของข้อมูลที่เหมาะสมต่อการรัน 1 ครั้ง นอกจากนี้ได้ทำการทดลองเพื่อหาจำนวนชิ้นงานที่เหมาะสมในระบบ และการกำหนดเวลาส่งมอบงาน หลังจากนั้นจึงทำการทดลองแต่ละแบบที่ทดลองภายใต้เงื่อนไขเดียวกันไปทำการจำลองปัญหา เพื่อเก็บข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ คือ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานใช้ในระบบ ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมด และค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร

เมื่อทำการทดลองเรียบร้อยแล้ว นำผลการทดลองมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยการวิเคราะห์ผลการทดลองนั้นแบ่งเป็น 2 ส่วนคือ ส่วนแรกเป็นการวิเคราะห์เพื่อศึกษาผลของปัจจัยและปัจจัยร่วมระหว่างปัจจัยต่าง ๆ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ โดยใช้วิธีวิเคราะห์ความแปรปรวน และส่วนที่สองเป็นการ

วิเคราะห์ผลของปัจจัยแบบผสมของปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการเลือก AGV และกฎการกำหนดส่งมอบงาน ทั้งในสภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานในกรณีต่าง ๆ โดยใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test ผลสรุปดังนี้

1. เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยทุกตัวส่งผลกระทบต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎการเลือก AGV เท่านั้นที่ไม่ส่งผลกระทบต่อดัชนีวัดในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร และเมื่อพิจารณาด้านปัจจัยหลักสามารถสรุปได้ดังนี้
   - SPT เป็นกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ น้อยที่สุด ขณะที่กฎ TEC ส่งผลให้ดัชนีชี้วัดด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้ามีค่าน้อยสุด และ กฎ WSPT ส่งผลให้ดัชนีชี้วัดด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยสุด โดยกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรไม่ส่งผลต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพของเครื่องจักร
   - SDS และ CYC เป็นกฎการเลือก AGV ที่ส่งผลให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าน้อยที่สุด โดยกฎการเลือก AGV ไม่ส่งผลต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพด้านประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักร
   - TWK NOP และ CON เป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ส่งผลให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และประสิทธิภาพการทำงานของเครื่องจักรมีค่าต่ำสุด แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าพบว่ากฎการกำหนดส่งมอบแบบ NOP ให้ค่าต่ำที่สุด และเมื่อพิจารณาด้านค่าใช้จ่ายทั้งหมด กฎการกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ TWK และ NOP จะให้ค่าของดัชนีวัดผลประสิทธิภาพดังกล่าวมีค่าต่ำสุด
   - เมื่อมีการเปลี่ยนสภาวะการเร่งงานจากสภาวะปกติ เป็นสภาวะการเร่งงานที่มีจำนวนชิ้นงานที่ถูกเร่ง และระยะเวลาที่ถูกเร่งมากขึ้น ส่งผลให้ดัชนีวัดประสิทธิภาพด้านเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้า และค่าใช้จ่ายทั้งหมดมีค่าเพิ่มมากขึ้น โดยในสภาวะปกตินั้นค่าของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบจะมีค่ามากกว่าเมื่อเกิดสภาวะเร่งงานขึ้น แต่มีค่าประสิทธิภาพของเครื่องจักรน้อยกว่าเมื่อเกิดสภาวะเร่งงาน
2. เมื่อพิจารณาผลกระทบของกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการเลือก AGV และกฎการกำหนดส่งมอบงาน ที่สภาวะการเร่งงานต่างๆ กัน ด้วยการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Rang Test พบว่าในสภาวะปกติ และสภาวะการเร่งงานนั้น กฎที่ดีที่สุดในการวัดผลประสิทธิภาพของระบบในด้านต่าง ๆ นั้นมีค่าแตกต่าง

กัน แต่ในสภาวะการเร่งงานที่ระดับต่าง ๆ กัน กฎที่ดีที่สุดนั้นจะคล้ายคลึงกันในแต่ละระดับการเร่งงาน

นอกจากนี้ยังได้พิจารณากฎที่สะดวกในการนำมาใช้ในกรณีที่มีการเร่งงานคือ FIFOSLACKEX โดยจะทำการทดลองเปรียบเทียบกฎ FIFO และ FIFOSLACKEX ว่ามีผลการวัดประสิทธิภาพในด้านต่าง ๆ มีความแตกต่างกันหรือไม่เพียงไร เนื่องกฎ FIFOSLACKEX เป็นกฎที่มีความสะดวก และง่ายต่อการนำไปใช้มากกว่ากฎอื่น ๆ ถ้าสามารถให้ผลการวัดประสิทธิภาพดีกว่ากฎ FIFO อย่างมีนัยสำคัญ ก็จะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งสำหรับการนำไปใช้ในโรงงานอุตสาหกรรม ซึ่งปัจจัยในการทดลองประกอบด้วย กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร ภาระงานของเครื่องจักร ความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะการเร่งงาน เมื่อได้ผลการทดลองจะทำการวิเคราะห์ผลการทดลองโดยแบ่งเป็น 3 ส่วน คือ

1. เมื่อวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน จากการวิเคราะห์พบว่าปัจจัยทุกตัว ส่งผลกระทบต่อดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบทุกด้านอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับความเชื่อมั่น 95 เปอร์เซ็นต์ ยกเว้นปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และกฎด้านสภาวะเร่งงานเมื่อพิจารณาดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และกฎการกำหนดส่งมอบงาน และสภาวะเร่งงานเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักร
2. สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ผลการวัดประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด
   - สภาวะการทดลองที่มีภาระงานของเครื่องจักรน้อยจะให้ค่าเฉลี่ยของเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าน้อยกว่าเมื่อภาระงานของเครื่องจักรมากอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกการกำหนดความกระชั้นของการส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง
   - สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าน้อยที่สุดในทุกสภาวะการเร่งงานคือ การใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX ภาระงานของเครื่องจักรน้อย และความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
   - สภาวะการทดลองที่ทำให้ได้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดน้อยที่สุดในทุกสภาวะการทดลองนั้นจะเหมือนกับการวัดประสิทธิภาพในด้านค่าเวลาที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าคือการใช้กฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFOSLACKEX ภาระงานของเครื่องจักรน้อยและความกระชั้นของการกำหนดส่งมอบงานมากหรือน้อยไม่มีความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ
   - ประสิทธิภาพด้านค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานของเครื่องจักรสภาวะการทดลองที่มีภาระงานมากจะให้ค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการใช้งานขอ

เครื่องจักรมากที่สุด ในทุกสภาวะการเร่งงาน ทุกการกำหนดความกระชั้นของการส่งมอบงาน และทุกกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรที่ทำการทดลอง

3. ความไวของสภาวะการเร่งงานที่มีผลต่อการวัดประสิทธิภาพของระบบ

เมื่อมีระยะเวลางานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป โดยมีจำนวนงานที่ถูกเร่งคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น กฎการจ่ายงานแบบ FIFOSLACKEX ให้ผลการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าและค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดดีกว่าการใช้กฎแบบ FIFO และพบว่าเมื่อระยะเวลางานที่ถูกเร่งมากขึ้น ส่งผลให้เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย โดยเปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่ามากขึ้นเมื่อระยะเวลาที่ถูกเร่งมากขึ้น

เมื่อมีจำนวนงานที่ถูกเร่งเปลี่ยนแปลงไป โดยมีระยะเวลางานที่ถูกเร่งคงที่ที่ 10 เปอร์เซ็นต์นั้น กฎการจ่ายงานแบบ FIFOSLACKEX ให้ผลการวัดประสิทธิภาพด้านเวลาเฉลี่ยที่ชิ้นงานเสร็จล่าช้าและค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายทั้งหมดดีกว่าการใช้กฎแบบ FIFO และพบว่าเมื่อระยะเวลางานที่ถูกเร่งมากขึ้น ส่งผลให้มีค่าความแตกต่างระหว่างกฎการจ่ายงานของเครื่องจักรแบบ FIFO และ FIFOSLACKEX ของดัชนีวัดประสิทธิภาพทั้งสองมากขึ้นด้วย แต่เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างดังกล่าวมีค่าลดน้อยลงเมื่อจำนวนงานที่ถูกเร่งมากขึ้น

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่ใช้ AGV เป็นระบบขนถ่ายวัสดุ โดยมีปัจจัยที่นำมาศึกษา 4 ปัจจัย โดยที่ยังมีปัจจัยอื่นๆ ที่น่าสนใจ แต่ไม่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ดังนั้นงานวิจัยในอนาคตอาจมีการพิจารณานำปัจจัยอื่นๆ มาทำการศึกษาด้วย เช่น

- การเปลี่ยนแปลงสภาวะการเร่งงาน โดยเปรียบเทียบจุดที่สามารถเกิดสภาวะเร่งงานต่าง ๆ เช่นเกิดสภาวะเร่งงาน ณ จุดเริ่มต้น จุดกลาง หรือจุดสุดท้าย ของการดำเนินงาน
- การพิจารณาในเรื่องของงานแทรก อนุญาตให้มีการแทรกงานได้
- การพิจารณาผลกระทบเมื่อให้ความสำคัญสูงสุดในการผลิตในทุกกรณีกับชิ้นงานที่มีความเร่งด่วน
- การวิเคราะห์ในด้านการคิดค่าใช้จ่ายกับลูกค้าในกรณีที่มีการของเร่งงาน
- กฎการตัดสินใจอื่นๆ เช่น พัฒนากฎการจ่ายงานของเครื่องจักรใหม่ ๆ เพื่อให้เหมาะสมต่อสภาวะการเร่งงาน

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปารเมศ ชุติมา. 2544. ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. 2546. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

รจนาฏ ไกรปัญญาพงศ์. 2541. การควบคุมการปฏิบัติงานของพาหนะขนส่งวัสดุแบบอัตโนมัติที่สามารถรับภาระได้ 2 หน่วย ในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2537. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Baker, K.R.. 1943. Introduction to Sequencing and Scheduling. New York: John Wiley & Son, Inc.

Byrkett, D.L., Ozden, M.H., and Patton, J.M., 1988. Integrating Flexible Manufacturing Systems with Traditional Manufacturing, Planning and Control. Journal of Production and Inventory Management. 29:15-21

Basnet, C., and Mize, J.H., 1994. Scheduling and Control of Flexible Manufacturing Systems: A Critical Review. International Journal Computer Integrated Manufacturing. 7(6):340-355.

Chan, F.T.S., Chan, H.K., and Lau, H.C.W., 2002. The State of The Art in Simulation Study of FMS Scheduling: A Comprehensive Survey. International Journal of Advanced Manufacturing Technology. 19:830-849.

Cheng, T.C.E., 1986. AGV Dispatching in a Flexible Manufacturing System. Actuarial & Management Science. University of Manitoba, Canada.

Co, C., G., and Tanchoco, J., M., A., 1991. A Review of Research on AGVS Vehicle Management. Engineering Costs and Production Economics. 21:35-42

Denzler, R., D., and Boe, W., J., 1987. Experiment Investigation of Flexible Manufacturing System Scheduling Decision Rules. International Journal of Production Research. 25(7):979-994.

Egbelu, P.J., and Tanchoco, J.M.A., 1984. Characterization of Automatic Guided Vehicle Dispatching Rules. International Journal of Production Research. 22(3):359-374.

Farling, B.E., Mosier, C.T., and Mahmoodi, F., 2001. Analysis of Automated Guided Vehicle Configurations in Flexible Manufacturing Systems. International Journal of Production Research. 39(18):4239-4260.

Hoffmann, T.R., and Scudder,.G.D, 1983. Priority Scheduling with Cost Considerations. International Journal of Production Research. 21(6):881-889.

Hoffmann, T.R., and Scudder, G.D, 1985. Composite Cost-Based Rules for Priority Scheduling in a Randomly Routed Job Shop. International Journal of Production Research. 23(6):1185-1195.

Kelton, W.D., Sandowski, R.P, and Sadowski, D.A, 2002. Simulation with Arena. McGraw-Hill, Inc.

Kim, S.C., and Bobrowski, P.M., 1994. Impact of Sequence-Dependent Setup Time on Job Shop Scheduling Performance. International Journal of Production Research. 32(7):1503-1520.

Klein, C.M., and Kim, J., 1996. AGV Dispatching. International Journal of Production Research. 34(1):95-110.

Law, A.M., and Kelton, W.D., 2000. Simulation Modeling and Analysis. Singapore: McGraw-Hill, Inc.

Lee, D.H., and Kim, Y.D., 1999. Scheduling Algorithms for Flexible Manufacturing Systems with Partially Grouped Machines. Journal of Manufacturing Systems. 18(4):301-309

Liu, C.M., and Duh, S.H., 1992. Study of AGVs Design and Dispatching Rules by Analytical and Simulation Methods. International Journal of Computer Integrated Manufacturing. 5(4):290-299.

Montazeri, M., and Wassenhove,L., N., V., 1990. Analysis of Scheduling Rules for an FMS. International Journal of Production Research. 28(4):785-802.

Park, T., Lee, H., and Lee, H., 2001. FMS Design Model with Multiple Objectives Using Compromise Programming. International Journal of Production Research. 39(15):3513-3528.

Pegden, C.D., Shannon, R.E., and Sadowski, R.P, 1995. Introduction to Simulation Using SIMAN. New Jersy: McGraw-Hill, Inc.

Ranky, P., 1983. The Design and Operation of FMS: Flexible Manufacturing Systems. a Masterdam: North-Hollan Publishing Co.

Rohleder, T.,R., and Scudder, G.,D., 1992. Scheduling Rule Selection for the Forbidden Early Shipment Environment: A Comparison of Economic Objectives. International Journal of Production Research. 30(1):129-140.

Sabuncuoglu, I., and Hommertzheim, D.L, 1992. Experimental Investigation of FMS Machine and AGV Scheduling Rules Against The Mean Flow-Time Criterion. International Journal of Production Research. 30(7):31-41.

Sabuncuoglu, I., and Hommertzheim, D.L, 1995. Experimental Investigation of FMS Due-Date Scheduling Problem: an Evaluation of Due-Date Assignment Rules. International Computer Integrated Manufacturing. 8(2):133-144.

Sabuncuoglu, I, 1998. A Study of Scheduling Rules of Flexible Manufacturing Systems: A Simulation Approach. International Journal of Production Research. 36(2):527-546.

Sabuncuoglu, I., and Karabuk, S, 1999. Recheduling Frequency in an FMS With Uncertain Processing Times and Unreliable Machines. Journal of Manufacturing System. 18(4):268-283.

Singh, N. 1996. Systems Approach to Computer-Integrated Design and Manufacturing. John Wiley & Son, Inc.

Tang, L.L., Yih, Y., and Liu, C.Y., 1993. A Study on Decision Rules of a Scheduling Model in an FMS. Computers in Industry. 22:1-13.

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ผลการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test

ภาคผนวกนี้เป็นการแสดงผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Duncan's Multiple Range Test สำหรับกฎแบบผสมของปัจจัยด้าน กฎการเลือก AGV กฎการกำหนดส่งมอบงาน และกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร เมื่อกำหนดให้ปัจจัยด้านสภาวะการเร่งงานคงที่ ที่ระดับความเชื่อมัน 95 เปอร์เซ็นต์ ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ ก1 ถึง ก5

จากตารางกฎแบบผสมทั้ง 3 กฎจะรวมเรียกกันว่ากฎ (Rule) ซึ่งประกอบด้วยตัวเลข 3 ตัว (3หลัก) แต่ละตัวมีความหมายดังนี้

หลักที่ 1 (ตัวเลขด้านซ้าย) เลขที่ 1 หมายถึง กฎการเลือก AGV แบบ SDS
หลักที่ 1 (ตัวเลขด้านซ้าย) เลขที่ 2 หมายถึง กฎการเลือก AGV แบบ CYC
หลักที่ 1 (ตัวเลขด้านซ้าย) เลขที่ 3 หมายถึง กฎการเลือก AGV แบบ RAN
หลักที่ 2 (ตัวเลขตรงกลาง) เลขที่ 1 หมายถึง กฎการกำหนดส่งมอบแบบ TWK
หลักที่ 2 (ตัวเลขตรงกลาง) เลขที่ 2 หมายถึง กฎการกำหนดส่งมอบแบบ NOP
หลักที่ 2 (ตัวเลขตรงกลาง) เลขที่ 3 หมายถึง กฎการกำหนดส่งมอบแบบ CON
หลักที่ 2 (ตัวเลขตรงกลาง) เลขที่ 4 หมายถึง กฎการกำหนดส่งมอบแบบ RAN
หลักที่ 3 (ตัวเลขด้านขวา) เลขที่ 1 หมายถึง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร แบบ FIFO
หลักที่ 3 (ตัวเลขด้านขวา) เลขที่ 2 หมายถึง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร แบบ SPT
หลักที่ 3 (ตัวเลขด้านขวา) เลขที่ 3 หมายถึง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร แบบ WSPT
หลักที่ 3 (ตัวเลขด้านขวา) เลขที่ 4 หมายถึง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร แบบ EDD
หลักที่ 3 (ตัวเลขด้านขวา) เลขที่ 5 หมายถึง กฎการจ่ายงานของเครื่องจักร แบบ TEC

อักษร a b c d e f g h I j k l m n o p q และ r ในตารางทั้งหมดแสดง homogeneous group โดย อักษร a แสดงกลุ่มที่มีค่าน้อยที่สุด

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 *แสดงตัวอย่างของผล Duncan's multiple range test จากโปรแกรม SPSS*

Rule	Subset				
	1	2	3	4	5
112	458.43				
242	458.98	458.98			
212	459.39	459.39			
232	459.39	459.39			
222	459.52	459.52			
142	459.53	459.53			
122	460.75	460.75			
132	460.75	460.75			
123	462.34	462.34	462.34		
133	462.34	462.34	462.34		
143	462.49	462.49	462.49		
322	463.75	463.75	463.75		
332	463.75	463.75	463.75		
342	463.78	463.78	463.78		
113	463.81	463.81	463.81		
243	464.15	464.15	464.15		
213	465.77	465.77	465.77		
343	465.88	465.88	465.88		
223	467.21	467.21	467.21		
233	467.21	467.21	467.21		
312		467.96	467.96		
323		468.11	468.11		
333		468.11	468.11		
313			470.69	470.69	
311				477.49	477.49
334					481.15

ตารางที่ ก1 *แสดงตัวอย่างของผล Duncan's multiple range test จากโปรแกรม SPSS*

Rule	Subset				
	1	2	3	4	5
134					481.21
214					481.32
314					481.32
114					481.38
124					481.40
324					481.48
144					482.36
244					482.42
141					482.44
115					482.61
215					482.67
235					482.69
145					482.72
211					482.74
221					482.75
231					482.75
125					482.76
241					482.78
325					482.84
224					482.86
111					482.90
121					482.90
131					482.90
245					482.94
315					482.97
135					483.05

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก1 *แสดงตัวอย่างของผล Duncan's multiple range test จากโปรแกรม SPSS*

Rule	Subset				
	1	2	3	4	5
225					483.06
234					483.07
341					483.08
331					483.14
321					483.17
335					483.29
345					483.30
344					483.54

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก2 *ผลของ Duncan's multiple range test ที่สภาวะปกติ (ต่อ)*

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
111	482.90 e	29.10 b c d e f	306.26 a b c d	87.08 a b c d
112	458.43 a	54.29 g h i	357.04 g h i	87.15 a b c d e
113	463.81 a b c	61.29 g h i j k	351.94 e f g h	87.16 a b c d e
114	481.38 e	20.38 a b c	273.14 a	87.08 a b c d
115	482.61 e	34.72 f	328.16 d e f g h	87.11 a b c d e
121	482.90 e	31.00 d e f	355.20 f g h i	87.08 a b c d
122	460.75 a b	55.51 g h i j	478.68 k	87.15 a b c d e
123	462.34 a b c	61.54 g h i j k	398.60 j	87.16 a b c d e
124	481.40 e	22.48 a b c d e	322.74 c d e f g h	87.10 a b c d e
125	482.76 e	28.68 a b c d e f	345.36 d e f g h	87.09 a b c d e
131	482.90 e	29.04 b c d e f	353.34 f g h i	87.08 a b c d
132	460.75 a b	53.34 g h i	473.32 k	87.15 a b c d e
133	462.34 a b c	58.46 g h i j k	394.82 i j	87.16 a b c d e
134	481.21 e	19.14 a b	314.22 a b c d e f g h	87.09 a b c d e
135	483.05 e	30.19 c d e f	355.64 f g h i	87.06 a b

ตารางที่ ก2 *ผลของ Duncan's multiple range test ที่สภาวะปกติ (ต่อ)*

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
141	482.44 e	187.29 o p q	647.68 n o	87.10 a b c d e
142	459.53 a b	173.70 l m	606.44 m n	87.16 a b c d e
143	462.49 a b c	182.73 m n o p	548.62 l	87.11 a b c d e
144	482.36 e	170.52 l	577.44 l m	87.14 a b c d e
145	482.72 e	194.53 q r	641.94 n o	87.03 a
211	482.74 e	29.21 b c d e f	308.14 a b c d e	87.09 a b c d e
212	459.39 a b	53.04 g h	432.06 j	87.15 a b c d e
213	465.77 a b c	62.63 h i j k	358.44 h i	87.16 a b c d e
214	481.32 e	21.01 a b c d	275.58 a b	87.29 d e
215	482.67 e	34.95 f	329.02 d e f g h	87.09 a b c d e
221	482.75 e	31.17 d e f	357.52 g h i	87.09 a b c d e
222	459.52 a b	53.87 g h i	472.94 k	87.15 a b c d e
223	467.21 a b c	66.55 k	403.98 j	87.16 a b c d e
224	482.86 e	21.13 a b c d	316.56 b c d e f g h	87.07 a b c
225	483.06 e	29.77 c d e f	350.00 e f g h	87.06 a b c

ตารางที่ ก2 *ผลของ Duncan's multiple range test ที่สภาวะปกติ (ต่อ)*

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
231	482.75 e	29.21 b c d e f	355.38 f g h i	87.09 a b c d e
232	459.39 a b	52.13 g	473.42 k	87.15 a b c d e
233	467.21 a b c	63.40 i j k	400.12 j	87.16 a b c d e
234	483.07 e	18.75 a	311.18 a b c d e f	87.04 a b
235	482.69 e	29.12 b c d e f	351.52 e f g h	87.10 a b c d e
241	482.78 e	188.03 o p q r	649.24 o	87.09 a b c d e
242	458.98 a b	174.97 l m n	611.80 m n o	87.11 a b c d e
243	464.15 a b c	184.04 n o p	548.34 l	87.07 a b c d
244	482.42 e	170.00 l	574.98 l m	87.16 a b c d e
245	482.94 e	194.92 q r	641.96 n o	87.13 a b c d e
311	477.49 d e	30.40 c d e f	313.42 a b c d e f g	87.02 a
312	467.96 b c	60.92 g h i j k	427.92 j	87.12 a b c d e
313	470.69 c d	53.99 g h i	332.60 d e f g h	87.11 a b c d e
314	481.32 e	23.38 a b c d e	283.16 a b c	87.28 c d e
315	482.97 e	33.98 f	333.06 d e f g h	87.11 a b c d e

ตารางที่ ก2 *ผลของ Duncan's multiple range test ที่สภาวะปกติ (ต่อ)*

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
321	483.17 e	32.42 e f	355.53 f g h i	87.01 a
322	463.75 a b c	56.44 g h i j	473.86 k	87.09 a b c d e
323	468.11 b c	65.14 j k	399.32 j	87.13 a b c d e
324	481.48 e	22.50 a b c d e	321.26 c d e f g h	87.26 b c d e
325	482.84 e	28.55 a b c d e f	346.98 d e f g h	87.08 a b c d
331	483.14 e	28.83 b c d e f	352.84 f g h i	87.02 a
332	463.75 a b c	53.77 g h i	469.18 k	87.09 a b c d e
333	468.11 b c	62.23 g h i j k	395.08 i j	87.13 a b c d e
334	481.15 e	21.26 a b c d	313.08 a b c d e f g	87.31 e
335	483.29 e	29.86 c d e f	355.50 f g h i	87.03 a
341	483.08 e	188.36 p q r	646.66 n o	87.06 a b
342	463.78 a b c	179.29 l m n o p	644.24 n o	87.05 a b
343	465.88 a b c	178.67 l m n o	547.24 l	87.14 a b c d e
344	483.54 e	172.44 l	582.70 l m	87.10 a b c d e
345	483.30 e	197.11 r	646.00 n o	87.10 a b c d e

ตารางที่ ก3 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
111	481.84 f	856.95 j	2779.12 k	87.18 a b c d
112	449.82 a	445.24 b c d	1561.16 d e f	87.21 a b c d
113	450.31 a	425.93 a b c d	1211.84 a	87.25 a b c d
114	481.68 f	648.71 g	2124.86 i	87.24 a b c d
115	481.86 f	372.40 a	1324.64 a b c	87.19 a b c d
121	481.81 f	842.09 i j	2735.38 k	87.21 a b c d
122	449.82 a	443.22 b c d	1582.52 d e f	87.21 a b c d
123	450.31 a	425.77 a b c d	1254.86 a	87.25 a b c d
124	482.08 f	623.92 f g	2080.28 i	87.19 a b c d
125	481.67 f	382.97 a b c	1402.48 a b c d	87.20 a b c d
131	481.81 f	840.38 i j	2734.72 k	87.21 a b c d
132	449.82 a	440.26 a b c d	1576.56 d e f	87.21 a b c d
133	450.31 a	422.18 a b c d	1249.16 a	87.25 a b c d
134	481.93 f	755.45 h	2452.92 j	87.17 a b c d

ตารางที่ ก3 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
135	481.18 f	375.47 a b	1408.02 a b c d	87.24 a b c d
141	481.75 f	1009.43 k	3117.9 l	87.35 b c d
142	454.62 a b c	584.77 e f g	1848.68 g h	87.13 a b c d
143	460.66 b c d e	573.65 e f	1502.96 b c d e	87.08 a
144	481.86 f	778.22 h	2426.22 j	87.28 a b c d
145	481.38 f	544.74 e	1726.34 f g	87.27 a b c d
211	481.60 f	853.69 i j	2738.24 k	87.23 a b c d
212	453.69 a b c	441.44 a b c d	1555.7 d e f	87.17 a b c d
213	451.20 a	420.96 a b c d	1195.88 a	87.28 a b c d
214	481.73 f	646.76 g	2129.02 i	87.21 a b c d
215	481.87 f	375.83 a b	1337.98 a b c	87.18 a b c d
221	481.60 f	850.93 i j	2768.4 k	87.23 a b c d
222	453.74 a b c	440.72 a b c d	1594.16 d e f	87.17 a b c d
223	451.20 a	420.78 a b c d	1238.48 a	87.28 a b c d

ตารางที่ ก3 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
224	481.77 f	624.84 f g	2087.46 i	87.20 a b c d
225	481.63 f	382.75 a b c	1393.26 a b c d	87.20 a b c d
231	481.60 f	849.56 i j	2769.2 k	87.23 a b c d
232	453.76 a b c	437.60 a b c d	1587.66 d e f	87.17 a b c d
233	451.20 a	417.28 a b c d	1233.32 a	87.28 a b c d
234	481.71 f	760.08 h	2484.9 j	87.22 a b c d
235	481.51 f	376.49 a b	1399.96 a b c d	87.20 a b c d
241	481.65 f	1012.38 k	3126.3 l	87.31 a b c d
242	453.43 a b c	581.37 e f	1849.7 g h	87.24 a b c d
243	461.43 c d e	572.38 e f	1500.76 b c d e	87.14 a b c d
244	481.66 f	776.45 h	2413.92 j	87.20 a b c d
245	481.60 f	552.34 e	1740.5 f g	87.33 a b c d
311	476.35 f	789.35 h i	2583.733 j k	87.24 a b c d
312	452.62 a b	437.17 a b c d	1505.04 c d e	87.17 a b c d

ตารางที่ ก3 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
313	465.78 e	474.97 d	1398.98 a b c d	87.16 a b c d
314	481.56 f	596.76 e f g	1965.16 h i	87.24 a b c d
315	481.74 f	470.51 d	1623.36 e f	87.21 a b c d
321	481.45 f	851.14 i j	2754.75 k	87.24 a b c d
322	449.75 a	443.48 b c d	1593.36 d e f d e f	87.20 a b c d
323	461.55 c d e	448.97 c d	1298.04 a b c	87.12 a b c
324	481.74 f	622.35 f g	2074.02 i	87.23 a b c d
325	482.26 f	380.30 a b c	1389.44 a b c d	87.13 a b c d
331	481.67 f	851.89 i j	2769.08 k	87.18 a b c d
332	449.75 a	440.65 a b c d	1587.9 d e f	87.20 a b c d
333	461.55 c d e	445.12 b c d	1291.1 a b	87.12 a b c
334	482.24 f	745.83 h	2440.04 j	87.13 a b c d
335	481.67 f	376.45 a b	1382.74 a b c d	87.20 a b c d
341	482.00 f	1018.66 k	3133.7 l	87.38 c d

ตารางที่ ก3 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
342	456.96 a b c d	573.23 e f	1866.54 g h	87.39 d
343	463.08 d e	568.99 e f	1479.12 b c d e	87.21 a b c d
344	482.38 f	779.22 h	2412.18 j	87.10 a b
345	481.84 f	533.83 e	1721.66 f g	87.28 a b c d

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก4 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
111	481.81 f	1678.64 j k l	5175.10 o	87.21 a b c
112	449.82 a	853.70 a b c d	2728.78 d e f g h	87.21 a b c
113	450.31 a	812.11 a b c	2115.44 a	87.25 a b c
114	481.77 f	1283.22 e f	4002.14 i j k	87.21 a b c
115	481.65 f	730.69 a	2415.92 a b c d	87.12 a b
121	481.81 f	1446.60 g h i	5246.14 o p	87.21 a b c
122	449.82 a	853.07 a b c d	2767.38 d e f g h	87.21 a b c
123	450.31 a	812.11 a b c	2158.78 a b	87.25 a b c
124	481.57 f	1280.96 e f	4018.34 i j k	87.24 a b c
125	481.62 f	735.97 a b	2460.90 a b c d e	87.25 a b c
131	481.81 f	1686.36 k l m	5245.92 o p	87.21 a b c
132	449.82 a	844.41 a b c d	2761.66 d e f g h	87.21 a b c
133	450.31 a	808.61 a b c	2153.32 a b	87.25 a b c
134	481.92 f	1524.26 h i j	4756.72 m	87.18 a b c

ตารางที่ ก4 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
135	481.76 f	725.38 a	2449.40 a b c d e	87.20 a b c
141	481.75 f	1845.12 m n	5652.26 p	87.35 b c d
142	454.62 a b c d	955.16 c d	3012.38 g h	87.13 a b c
143	460.66 b c d e	976.52 c d	2483.32 a b c d e	87.08 a
144	482.13 f	1449.90 g h i	4395.72 k l m	87.29 a b c
145	481.96 f	871.40 a b c d	2697.56 d e f g h	87.15 a b c
211	481.60 f	1696.56 k l m n	5241.48 o p	87.23 a b c
212	453.74 a b c	845.89 a b c d	2756.76 d e f g h	87.17 a b c
213	451.20 a	800.12 a b c	2079.88 a	87.28 a b c
214	481.58 f	1315.74 e f g	4100.26 i j k l	87.22 a b c
215	481.35 f	737.81 a b	2431.64 a b c d e	87.26 a b c
221	481.60 f	1694.20 k l m n	5272.86 o p	87.23 a b c
222	453.74 a b c	845.36 a b c d	2795.78 d e f g h	87.17 a b c
223	451.20 a	800.10 a b c	2122.82 a b	87.28 a b c

ตารางที่ ก4 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
224	481.55 f	1266.86 e f	3990.30 i j k	87.24 a b c
225	481.78 f	742.73 a b	2466.58 a b c d e	87.20 a b c
231	481.60 f	1692.90 k l m n	5273.80 o p	87.23 a b c
232	453.76 a b c	842.32 a b c d	2789.52 d e f g h	87.17 a b c
233	451.20 a	796.69 a b c	2117.90 a	87.28 a b c
234	481.53 f	1530.58 h i j k	4763.14 m n	87.22 a b c
235	481.73 f	741.15 a b	2479.94 a b c d e	87.22 a b c
241	481.65 f	1847.78 m n	5646.28 p	87.30 a b c
242	451.40 a b c	995.66 d	3069.80 h	87.18 a b c
243	461.43 c d e	943.02 c d	2466.32 a b c d e	87.19 a b c
244	481.91 f	1463.66 g h i	4445.20 l m	87.25 a b c
245	481.50 f	888.16 a b c d	2768.18 d e f g h	87.24 a b c
311	476.35 f	1569.72 i j k l	4921.90 n o	87.24 a b c
312	452.62 a b	853.90 a b c d	2663.46 c d e f g h	87.17 a b c

ตารางที่ ก4 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
313	465.56 e	943.67 c d	2570.42 b c d e f g	87.18 a b c
314	481.86 f	1195.08 e	3776.44 i	87.21 a b c
315	481.85 f	914.15 b c d	2930.78 f g h	87.18 a b c
321	481.45 f	1695.33 k l m n	5247.03 o p	87.24 a b c
322	449.75 a	853.54 a b c d	2794.52 d e f g h	87.20 a b c
323	461.55 c d e	852.61 a b c d	2249.66 a b c	87.12 a b
324	482.26 f	1257.84 e f	3961.24 i j	87.15 a b c
325	481.83 f	738.10 a b	2489.68 a b c d e f	87.19 a b c
331	481.67 f	1698.86 l m n	5277.48 o p	87.18 a b c
332	449.75 a	850.78 a b c d	2789.32 d e f g h	87.20 a b c
333	461.55 c d e	848.86 a b c d	2242.96 a b c	87.12 a b
334	481.89 f	1525.00 h i j	4757.48 m	87.20 a b c
335	481.85 f	735.02 a b	2455.02 a b c d e	87.19 a b c
341	482.04 f	1856.30 n	5637.72 p	87.38 c d

ตารางที่ ก4 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 10% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
342	456.96 a b c d	973.76 c d	3060.82 h	87.39 d
343	463.08 d e	952.36 c d	2393.50 a b c d	87.21 a b c
344	482.00 f	1401.48 f g h	4341.28 j k l	87.28 a b c
345	481.80 f	926.04 c d	2879.16 e f g h	87.28 a b c

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก5 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
111	481.79 f	1668.98 i	5127.90 g h i	87.23 a b
112	449.82 a	844.14 a b c d e	2711.08 a b c d	87.20 a b
113	450.31 a	792.16 a b	2070.92 a	87.25 a b
114	481.61 f	1331.18 g	4122.06 e f	87.24 a b
115	481.73 f	743.83 a	2430.20 a b c d	87.21 a b
121	481.79 f	1669.24 i	5181.36 g h i	87.23 a b
122	449.82 a	841.33 a b c d e	2741.00 a b c d	87.21 a b
123	450.31 a	790.33 a b	2108.20 a b	87.25 a b
124	482.27 f	1317.06 g	4099.30 e f	87.13 a
125	482.04 f	736.80 a	2462.78 a b c d	87.15 a b
131	481.79 f	1667.30 i	5179.62 g h i	87.22 a b
132	449.82 a	837.77 a b c d e	2732.66 a b c d	87.21 a b
133	450.31 a	786.39 a b	2100.94 a b	87.25 a b
134	481.52 f	1532.36 h	4743.16 f g	87.23 a b

ตารางที่ ก5 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
135	481.67 f	728.57 a	2446.34 a b c d	87.20 a b
141	481.78 f	1849.46 j	5647.88 h i	87.26 a b
142	454.62 a b c d	984.26 f	3078.56 d d	87.13 a
143	460.66 b c d e	935.40 c d e f	2440.50 a b c d	87.08 a
144	482.43 f	1456.06 h	4441.96 e f g	87.23 a b
145	481.89 f	900.62 b c d e f	2871.04 a b c d	87.25 a b
211	481.59 f	1676.98 i	5171.28 g h i	87.24 a b
212	453.74 a b c	849.08 a b c d e	2746.94 a b c d	87.17 a b
213	451.20 a	787.68 a b	2054.24 a	87.28 a b
214	481.36 f	1339.56 g	4162.36 e f	87.26 a b
215	481.79 f	750.18 a	2472.92 a b c d	87.19 a b
221	481.59 f	1671.34 i	5189.30 g h i	87.24 a b
222	453.74 a b c	846.41 a b c d e	2777.26 a b c d	87.17 a b
223	451.20 a	785.93 a b	2091.32 a b	87.28 a b

ตารางที่ ก5 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
224	481.92 f	1307.80 g	4071.34 e f	87.18 a b
225	483.00 f	734.59 a	2447.42 a b c d	87.18 a b
231	481.59 f	1669.24 i	5187.02 g h i	87.24 a b
232	453.76 a b c	842.67 a b c d e	2768.24 a b c d	87.17 a b
233	451.20 a	782.03 a b	2084.54 a b	87.28 a b
234	481.68 f	1537.42 h	4764.78 f g	87.23 a b
235	481.42 f	739.78 a	2466.50 a b c d	87.24 a b
241	481.55 f	1849.96 j	5654.38 h i	87.39 b
242	451.40 a	954.83 d e f	3027.36 c d	87.18 a b
243	461.43 c d e	936.12 c d e f	2376.18 a b c d	87.19 a b
244	482.07 f	1465.52 h	4474.80 e f g	87.18 a b
245	482.55 f	912.32 b c d e f	2892.46 a b c d	87.25 a b
311	476.35 f	1536.51 h	4821.98 f g h i	87.10 a
312	452.62 a b	839.80 a b c d e	2599.56 a b c d	87.17 a b

ตารางที่ ก5 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
313	466.06 e	931.57 c d e f	2542.90 a b c d	87.12 a
314	482.09 f	1244.22 g	3894.74 e	87.14 a b
315	481.65 f	934.31 c d e f	2981.78 b c d	87.20 a b
321	481.83 f	1668.60 i	5145.38 g h i	87.22 a b
322	449.75 a	837.50 a b c d e	2740.06 a b c d	87.20 a b
323	461.55 c d e	808.53 a b c	2158.50 a b c	87.12 a
324	482.00 f	1303.36 g	4081.82 e f	87.17 a b
325	481.84 f	728.33 a	2439.32 a b c d	87.20 a b
331	481.87 f	1670.14 i	5176.10 g h i	87.20 a b
332	449.75 a	834.00 a b c d e	2732.04 a b c d	87.20 a b
333	461.55 c d e	816.27 a b c d	2149.64 a b c	87.12 a
334	481.64 f	1548.60 h i	4798.76 f g h	87.22 a b
335	481.72 f	735.37 a	2446.28 a b c d	87.20 a b
341	482.65 f	1857.76 j	5662.38 i	87.30 a b

ตารางที่ ก5 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 10% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
342	456.96 a b c d	959.45 e f	3070.78 d	87.39 b
343	463.08 d e	943.23 c d e f	5150.70 g h i	87.21 a b
344	482.35 f	1484.83 h	4547.66 e f g	87.21 a b
345	481.91 f	913.54 b c d e f	2851.42 a b c d	87.30 a b

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ก6 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
111	481.79 f	3350.56 i j	10114.68 g h	87.23 a b c d
112	449.82 a	1666.76 a b c d e	5113.34 b c d	87.19 a b c d
113	450.31 a	1556.06 a b c d	3874.90 a	87.25 a b c d
114	481.65 f	2629.98 f g	7969.00 e	87.22 a b c d
115	481.93 f	1459.32 a b	4520.54 a b c	87.18 a b c d
121	481.79 f	3345.12 i j	11386.30 i	87.23 a b c d
122	449.82 a	1664.38 a b c d e	5144.50 b c d	87.21 a b c d
123	450.31 a	1554.60 a b c d	3912.86 a	87.25 a b c d
124	482.35 f	2639.36 f g	8039.52 e	87.15 a b
125	481.61 f	1446.74 a b	4566.20 a b c	87.23 a b c d
131	481.79 f	3343.26 i j	10131.86 g h	87.22 a b c d
132	449.82 a	1660.94 a b c d e	5136.64 b c d	87.21 a b c d
133	450.31 a	1550.80 a b c d	3906.02 a	87.25 a b c d
134	482.21 f	3101.06 h i	9384.52 f g	87.15 a b

ตารางที่ ก6 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
135	481.69 f	1480.18 a b	4647.22 a b c	87.20 a b c d
141	481.78 f	3542.68 j	10756.20 h i	87.26 a b c d
142	454.62 a b c d	1772.15 c d e	5427.04 c d	87.13 a
143	460.66 b c d e	1734.48 b c d e	4301.36 a b	87.08 a
144	481.86 f	2773.90 g	8471.72 e f	87.21 a b c d
145	481.56 f	1584.38 a b c d	4900.24 a b c d	87.21 a b c d
211	481.59 f	3366.72 i j	10200.66 g h	87.24 a b c d
212	453.74 a b c	1673.90 a b c d e	5189.94 b c d	87.17 a b c
213	451.20 a	1544.82 a b c	3836.98 a	87.28 a b c d
214	481.60 f	2724.04 f g	8284.86 e	87.24 a b c d
215	481.67 f	1452.24 a b	4533.00 a b c	87.20 a b c d
221	481.59 f	3361.84 i j	10221.20 g h	87.24 a b c d
222	453.74 a b c	1658.96 a b c d e	5186.58 b c d	87.17 a b c
223	451.20 a	1543.42 a b c	3874.82 a	87.28 a b c d

ตารางที่ ก6 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
224	481.90 f	2665.30 f g	8134.28 e	87.18 a b c d
225	481.71 f	1449.00 a b	4564.32 a b c	87.21 a b c d
231	481.59 f	3359.84 i j	10219.24 g h	87.24 a b c d
232	453.76 a b c	1668.00 a b c d e	5212.96 b c d	87.17 a b c d
233	451.20 a	1539.66 a b c	3868.40 a	87.28 a b c d
234	481.52 f	3112.50 h i	9466.28 g	87.25 a b c d
235	481.69 f	1480.18 a b	4647.22 a b c	87.20 a b c d
241	481.55 f	3546.88 j	10761.86 h i	87.39 b c d
242	451.40 a	1805.66 c d e	5536.50 c d	87.18 a b c d
243	458.77 a b c d e	1724.04 b c d e	4313.30 a b	87.21 a b c d
244	481.72 f	2772.66 g	8484.02 e f	87.42 c d
245	481.55 f	1538.86 a b c	4789.92 a b c d	87.21 a b c d
311	476.35 f	3080.13 h	9475.82 g	87.10 a
312	452.62 a b	1654.80 a b c d e	4900.90 a b c d	87.17 a b c d

ตารางที่ ก6 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
313	465.67 e	1833.94 d e	4837.92 a b c d	87.18 a b c d
314	481.47 f	2467.86 f	7504.20 e	87.23 a b c d
315	481.80 f	1882.08 e	5819.88 d d	87.20 a b c d
321	481.83 f	3355.30 i j	10127.85 g h	87.22 a b c d
322	449.75 a	1656.34 a b c d e	5147.20 b c d	87.20 a b c d
323	461.55 c d e	1608.58 a b c d e	4016.02 a	87.12 a
324	481.88 f	2648.18 f g	8040.66 e	87.18 a b c d
325	482.32 f	1421.94 a	4524.50 a b c	87.13 a
331	481.87 f	3360.08 i j	10190.12 g h	87.20 a b c d
332	449.75 a	1653.04 a b c d e	5139.68 b c d	87.20 a b c d
333	461.55 c d e	1604.50 a b c d e	4007.62 a	87.12 a
334	481.75 f	3136.38 h i	9521.04 g	87.21 a b c d
335	482.41 f	1457.58 a b	4552.50 a b c	87.12 a
341	482.79 f	3549.22 j	10678.30 h i	87.20 a b c d

ตารางที่ ก6 *ผลของ Duncan's multiple range test*
ที่สภาวะเร่งงานที่มีจำนวนงานถูกเร่ง 20% และระยะเวลาส่งมอบเร็วขึ้น 20% (ต่อ)

Rule	Flowtime	Tardiness	Total Cost	Machine Utilization
342	456.96 a b c d	1785.32 c d e	5518.76 c d	87.39 b c d
343	463.08 d e	1712.00 a b c d e	4163.98 a b	87.21 a b c d
344	481.87 f	2812.44 g	8508.60 e f	87.42 d
345	482.24 f	1663.36 a b c d e	5124.96 b c d	87.25 a b c d

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างไฟล์ของแบบจำลองปัญหาที่ทำการศึกษา

ส่วน Model

```
DeliveryName    STATION,      DELIVERYset;
6$              ASSIGN:       SETINDEX=MEMIDX(DELIVERYset,M);
11$             BRANCH,       1:
                              If,nq(QUEUEset(setindex))>=5,checkBLOCK,Yes:
                              Else,toDELAY,Yes;
checkBLOCK      TRANSPORT:    AGV,Buffer;

toDelay         DELAY:        0.25,,Transfer:NEXT(8$);

8$              BRANCH,       1:
                              Else,SENDstaging,Yes:

                              If,nq(agvq).or.nq(QueueOutSET).or.nq(QueueBuffer)>0,fr
                              eeAGV,Yes;
Sendstaging     BRANCH,       2:
                               Always,SendBack,Yes:
                              Always,WorkQue,Yes;
SendBack        MOVE:         AGV,staging:NEXT(FreeAGV2);

FREEAGV2        FREE:         AGV;
7$              DISPOSE:      Yes;

WorkQue         QUEUE,        QueueSet(setIndex);
3$              SEIZE,        1,Other:
                              MACHINEset(setindex),1:NEXT(4$);

4$              DELAY:        PROCESS Time,,Other:NEXT(tore);
```

```
tore            RELEASE:    MACHINEset(setIndex),1;
23$             ASSIGN:     I=0;
22$             WHILE:      I<NQ(QueueSet(setIndex));
TOMOVE          REMOVE:     1,QueueSet(setIndex),select;
24$             ENDWHILE;
sendout         QUEUE,      QueueOutSet(setIndex);
19$             REQUEST,    1:AGV(sds),,deliverySET(setindex);
20$             DELAY:      0.25,,Transfer:NEXT(21$);

21$             TRANSPORT:  AGV,SEQ;

select          BRANCH,     1:
                            If,STATUS==2.and.date==1,change,Yes:
                            Else,workque,Yes;
CHANGE          ASSIGN:     due=due*0.9:
                            date=0:NEXT(WORKQUE);

FREEagv         FREE:       AGV:NEXT(WorkQue);



Exit            STATION,    delivery1;                          exit
5$              DELAY:      0.25,,Transfer:NEXT(9$);

9$              BRANCH,     2:
                            Always,branch1,Yes:
                            Always,calculate,Yes;
branch1         BRANCH,     1:

                            If,nq(agvq).or.nq(QueueOutSET).or.nq(QueueBuff
                            er)>0,freeAGV2,Yes:
                            Else,SendBack,Yes;
calculate       TALLY:      FlowtimeALL,INT(TIMEIN),1;
32$             BRANCH,     1:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                    If,tnow>due,tardy_ALL,Yes:
                    Else,early_ALL,Yes;
tardy_ALL     ASSIGN:    tardyness_all=tnow-due:
                         earliness_ALL=0;
33$           COUNT:     tardyJOB,1;
30$           ASSIGN:
                    COST_weight_ALL=(1*earliness_ALL)+
                    (tardyness_ALL*weight);
29$           TALLY:     EARLINESSReport_ALL,earliness_ALL,1;
28$           TALLY:     tardiness_REPORT_ALL,tardyness_ALL,1;
31$           TALLY:
                    cost_weight_REPORT_ALL,cost_weight_ALL,1;
35$           ASSIGN:    COST_noHold=tardyness_ALL*weight;
25$           ASSIGN:    Late=tnow-due;
36$           TALLY:     COST_noHold_Report,COST_noHold,1;
26$           TALLY:     Lateness,Late,1;
27$           COUNT:     TotalJOB,1:NEXT(seperate);

seperate      BRANCH,    1:
                    If,STATUS==1,normally,Yes:
                    If,status==2,expedite,Yes;
normally      TALLY:     Flowtime_1,INT(TIMEIN),1;
37$           BRANCH,    1:
                    If,tnow>due,tardy,Yes:
                    Else,early,Yes;
tardy         ASSIGN:    tardyness=tnow-due:
                    earliness=0;
38$           ASSIGN:    COST_weight=(1*earliness)+(tardyness*weight);
43$           TALLY:     tardiness_REPORT,tardyness,1;
44$           TALLY:     cost_weight_REPORT,cost_weight,1;
toRelease     RELEASE:   pallet,1;
new           ASSIGN:    entity.type=0:
                         entity.picture=0:
                         entity.station=0:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                                entity.sequence=0:
                                entity.jobstep=0:NEXT(toBegin);

toBegin         ASSIGN:         M=pick1:
                                ns=DISC(.3,partA,0.6,partB,1.0,partC):
                                 Lot=disc(0.2,1,0.4,2,0.6,3,0.8,4,1.0,5):
                                weight=lot:
                                status=DISC(0.1,2,1,1):
                                DATE=1:MARK(TimeIn);
setdue          BRANCH,          1:
                                If,ns==partA,A,Yes:
                                If,ns==partB,B,Yes:
                                Else,C,Yes;
A               ASSIGN:         due=tnow+(39*14);
topalletQ       QUEUE,          palletQ;
10$             SEIZE,          1,Other:
                                pallet,1:NEXT(tostart);

tostart         QUEUE,          AGVQ;
0$              REQUEST,         1:AGV(sds),,pick1;
1$              DELAY:          0.25,,Transfer:NEXT(2$);

2$              TRANSPORT:       AGV,SEQ;

B               ASSIGN:         due=tnow+(53*14):NEXT(topalletQ);

C               ASSIGN:         due=tnow+(51*14):NEXT(topalletQ);

early           ASSIGN:         tardyness=0:
                                EARLINESS=due-tnow:NEXT(38$);

expedite        TALLY:          Flowtime_3,INT(TIMEIN),1;
39$             BRANCH,          1:
                                If,tnow>due,tardy_3,Yes:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

```
                                Else,early_3,Yes;
tardy_3         ASSIGN:         tardyness_3=tnow-due:
                                earliness_3=0;
41$             ASSIGN:         COST_weight_3=(1*earliness_3)+
                                (tardyness_3*weight);
40$             TALLY:          tardiness_REPORT_3,tardyness_3,1;
42$             TALLY:          cost_weight_REPORT_3,cost_weight_3,1;
45$             ASSIGN:         Late3=tnow-due;
46$             TALLY:          Lateness3,Late3,1:NEXT(toRelease);

early_3         ASSIGN:         tardyness_3=0:
                                 EARLINESS_3=due-tnow:NEXT(41$);

early_ALL       ASSIGN:         tardyness_ALL=0:
                                EARLINESS_ALL=due-tnow;
34$             COUNT:          earlyJOB,1:NEXT(30$);


Buffer          STATION,        Buffer;
12$             DELAY:          0.25,,Other:NEXT(17$);

17$             BRANCH,         2:
                        Always,toBranch,Yes:
                        Always,toQ,Yes;
toBranch        BRANCH,         1:
                        If,nq(QueueOutSET(setindex))>=5,
                        toLOCK,Yes:
                        Else,toBranch2,Yes;
toLOCK          MOVE:           AGV,DeliverySet(setIndex):NEXT(FreeAGV2);

toBranch2       BRANCH,         1:

                        If,nq(agvq).or.nq(QueueOutSET).or.nq(QueueBuffer)>0,fr
                        eeAGV2,Yes:
```

```
                                Else,SendBack,Yes;
toQ                 QUEUE,      ScanQ;
13$                 SCAN:       nq(QueueSet(SetIndex))<5;
toAGVQ              QUEUE,      QueueBuffer;
14$                 REQUEST,    1:AGV(sds),,Buffer;
15$                 DELAY:      0.25,,Transfer:NEXT(16$);

16$                 TRANSPORT:  AGV,deliverySET(setindex);

18$                 CREATE,     35:,1:NEXT(toBegin);
```

ส่วน Experiment

```
PROJECT,    "Test","Chayanee",,Yes,No,Yes,Yes,Yes,Yes,No,Yes;

ATTRIBUTES:  1,TimeIn:
             cost_weight:
             weight:
             report,:
             tardyness:
             I:
             due:
             const:
             slack:
             twk(3),29,35,39:
             lot:
             tardyness_ALL:
             cost:
             cost_weight_3:
             late3:
             cost_sen:
             priority:
             status:
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

SPT:
earliness_ALL:
earliness_3:
earliness:
cost_weight_ALL:
PROCESS Time:
DATE:
SetIndex:
cost_noHOLD:
remain:
part:
late:
new:
tardyness_3;

SEEDS: 1,1234,Yes;

INTERSECTIONS: 1,IntP1,1,FCFS(),1.0:
6,IntD1,1,FCFS(),1.0:
7,IntD2,1,FCFS(),1.0:
8,IntD3,1,FCFS(),1.0:
9,IntD4,1,FCFS(),1.0:
10,IntD5,1,FCFS(),1.0:
11,IntZ1,1,FCFS(),1.0:
12,IntZ2,0,FCFS(),1.0:
13,IntZ3,0,FCFS(),1.0:
14,IntZ4,0,FCFS(),1.0:
15,IntZ5,0,FCFS(),1.0:
16,IntZ6,0,FCFS(),1.0:
17,IntZ7,0,FCFS(),1.0:
18,IntStage,0,FCFS(),1.0:
19,IntBuffer,0,FCFS(),1.0:
20,P1_R,0,FCFS(),1.0:
21,P1_L,0,FCFS(),1.0:

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

30,D1_L,0,FCFS(),1.0:
31,D1_R,0,FCFS(),1.0:
32,D2_L,0,FCFS(),1.0:
33,D2_R,0,FCFS(),1.0:
34,D3_L,0,FCFS(),1.0:
35,D3_R,0,FCFS(),1.0:
36,D4_U,0,FCFS(),1.0:
37,D4_L,0,FCFS(),1.0:
38,D5_L,0,FCFS(),1.0:
39,D5_R,0,FCFS(),1.0:
40,Buffer_L,0,FCFS(),1.0:
41,Buffer_R,0,FCFS(),1.0:
42,Stage_U,0,FCFS(),1.0:
43,Stage_L,0,FCFS(),1.0;

QUEUES: Queout2,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
Queout3,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
Queout4,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
Queout5,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
QueueBuffer,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
palletQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
scanQ,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):
machineQ2,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
machineQ3,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
machineQ4,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
machineQ5,FIFO,,AUTOSTATS(Yes,,):
AGVq,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,);

RESOURCES:
MACHINE2,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
MACHINE3,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
MACHINE4,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
MACHINE5,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):
pallet,Capacity(35),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS: 1,delivery1,IntD1:
2,delivery2,IntD2:
3,delivery3,IntD3:
4,delivery4,IntD4:
5,delivery5,IntD5:
6,pick1,IntP1:
11,staging,IntStage:
12,Buffer,IntBuffer;

LINKS: 1,link1,Stage_U-0,P1_R-,4,2,Unidirectional,1.0:
2,link2,P1_R-0,P1_L-,1,4,Unidirectional,1.0:
3,link3,P1_R-0,IntP1-,1,2,Unidirectional,1.0:
4,link4,IntP1-0,P1_L-,1,2,Unidirectional,1.0:
5,Link5,P1_L-0,IntZ1-,1,3,Unidirectional,1.0:
6,link6,IntZ1-0,D2_R-,1,3,Unidirectional,1.0:
7,link7,D2_R-0,D2_L-,1,4,Unidirectional,1.0:
8,link8,D2_R-0,IntD2-,1,2,Unidirectional,1.0:
9,link9,IntD2-0,D2_L-,1,2,Unidirectional,1.0:
10,link10,D2_L-0,IntZ4-,1,3,Unidirectional,1.0:
11,link11,IntZ4-0,D3_R-,1,3,Unidirectional,1.0:
12,link12,D3_R-0,D3_L-,1,4,Unidirectional,1.0:
13,link13,D3_R-0,IntD3-,1,2,Unidirectional,1.0:
14,link14,IntD3-0,D3_L-,1,2,Unidirectional,1.0:
15,link15,D3_L-0,IntZ7-,1,13,Unidirectional,1.0:
16,link16,IntZ7-0,IntZ6-,1,20,Unidirectional,1.0:
17,Link17,IntZ6-0,IntZ3-,1,10,Unidirectional,1.0:
18,link18,IntZ3-0,D1_L-,1,3,Unidirectional,1.0:
19,Link19,D1_L-0,D1_R-,1,4,Unidirectional,1.0:
20,Link20,D1_L-0,IntD1-,1,2,Unidirectional,1.0:

21,Link21,IntD1-0,D1_R-,1,2,Unidirectional,1.0:

22,link22,D1_R-0,Stage_L-,2,4,Unidirectional,1.0:

23,link23,Stage_L-0,Stage_U-,1,4,Unidirectional,1.0:

24,link24,Stage_L-0,IntStage-,1,2,Unidirectional,1.0:

25,link25,IntStage-0,Stage_U-,1,2,Unidirectional,1.0:

26,link26,IntZ2-0,IntZ3-,1,10,Unidirectional,1.0:

27,link27,IntZ2-0,IntZ1-,1,10,Unidirectional,1.0:

28,link28,IntZ5-0,IntZ4-,1,10,Unidirectional,1.0:

29,link29,IntZ7-0,D5_L-,1,3,Unidirectional,1.0:

30,link30,D5_L-0,D5_R-,1,4,Unidirectional,1.0:

31,link31,D5_L-0,IntD5-,1,2,Unidirectional,1.0:

32,link32,IntD5-0,D5_R-,1,2,Unidirectional,1.0:

33,link33,D5_R-0,IntZ5-,1,3,Unidirectional,1.0:

34,link34,IntZ5-0,Buffer_L-,1,3,Unidirectional,1.0:

35,link35,Buffer_L-0,Buffer_R-,1,4,Unidirectional,1.0:

36,link36,Buffer_L-0,IntBuffer-,1,2,Unidirectional,1.0:

37,link37,IntBuffer-0,Buffer_R-,1,2,Unidirectional,1.0:

38,link38,Buffer_R-0,IntZ2-,1,3,Unidirectional,1.0:

39,link39,D4_U-0,IntZ5-,1,3,Unidirectional,1.0:

40,link40,D4_L-0,D4_U-,1,4,Unidirectional,1.0:

41,link41,IntD4-0,D4_U-,1,2,Unidirectional,1.0:

42,link42,D4_L-0,IntD4-,1,2,Unidirectional,1.0:

43,link43,IntZ6-0,D4_L-,1,3,Unidirectional,1.0;

NETWORKS: 1,AGVpATH,Link1-link43;

TRANSPORTERS: 1,AGV,4,Network(AGVpath)-Start,200-0.0-0.0-1.0,AUTOSTATS(Yes,,);

SEQUENCES: 1,partA,delivery2,process time=norm(11,1.1)&delivery3,process time=norm(21,2.1)&delivery4,process time=

norm(7,0.7)&delivery1:

2,partB,delivery3,process time=norm(15,1.5)&delivery4,process time=norm(15,1.5)&delivery5,process time=

```
            norm(23,2.3)&delivery1:
            3,partC,delivery4,process time=norm(10,1)&delivery3,process
time=norm(6,0.6)&delivery2,process time=norm(18,1.8)&
            delivery5,process time=norm(17,1.7)&delivery1;

COUNTERS:   earlyJOB,,Replicate:
            tardyJOB,,Replicate:
            TotalJOB,,Replicate;

TALLIES:    Lateness3:
            FLOWTIMEall,"d:\nuang/Analyze4/EX-FIFO/flow10-10.dat":
            cost_noHOLD_REPORT:
            tardiness_REPORT_ALL:
            cost_weight_REPORT_ALL:
            FLOWTIME_1:
            FLOWTIME_3:
            earlinessREPORT_ALL:
            tardiness_REPORT:
            cost_weight_REPORT:
            Lateness,"d:\nuang/Analyze4/EX-FIFO/late10-10.dat":
            cost_weight_REPORT_3:
            tardiness_REPORT_3;

DSTATS:     NR(machine2):
            NR(machine3):
            NR(machine4):
            NR(machine5):
            NT(AGV)*100/4,UtilAGV:

(NR(machine2)+NR(machine3)+NR(machine4)+NR(machine5))/4*100,Util_MC:
            NQ(agvQ):
            NQ(MACHINEQ2):
            NQ(MACHINEQ3):
            NQ(MACHINEQ4):
```

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

NQ(MACHINEQ5);

REPLICATE, 5,0.0,150000,Yes,Yes,20000,,,24.0,Minutes,No,No;

SETS: QUEUEset,machineQ2,machineQ3,machineQ4,machineQ5:
QueueOutSet,Queout2,Queout3,Queout4,Queout5:
DELIVERYset,delivery2,delivery3,delivery4,delivery5:
MACHINEset,machine2,machine3,machine4,machine5;

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวชญานี มีทรัพย์หลาก เกิดเมื่อวันที่ 1 กันยายน พ.ศ.2521 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2542 และเข้าทำงานที่ธนาคารกสิกรไทย จำกัด ในแผนกวิจัยและพัฒนากระบวนการทำงาน ส่วนพัฒนากระบวนการทำงานเป็นระยะเวลา 2 ปี จากนั้นได้เข้าศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย