

การวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ
ที่มีต่อประสิทธิภาพสายการประกอบ



นายปนิทศน์ สุริยธนาภาส

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาดำเนินหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2547

ISBN 974-17-6659-9

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

INTERACTION ANALYSIS OF DISPATCHING RULES AND DUE DATE ASSIGNMENT
RULES ON ASSEMBLY LINE PERFORMANCES



Mr. Panitas Sureeyatanapas

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 2004

ISBN 974-17-6659-9

ปนิทัศน์ สุริยธนาภาส : การวิเคราะห์ผลกระทบรวมของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่มีต่อประสิทธิภาพสายการประกอบ (INTERACTION ANALYSIS OF DISPATCHING RULES AND DUE DATE ASSIGNMENT RULES ON ASSEMBLY LINE PERFORMANCES) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชูติมา , 243 หน้า. ISBN 974-17-6659-9.

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบรวมของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบรูปแบบต่างๆ ทั้งในระบบที่สมดุลและไม่สมดุล โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งทำการศึกษาภายใต้ปัจจัยในการทดลอง ได้แก่ กฎการจ่ายงาน กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และระดับการใช้งานของระบบ

กฎการจ่ายงานที่ทำการศึกษานั้น ได้เลือกมาจากกฎที่พบว่าให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมที่ดีจากงานวิจัยต่างๆ ที่ทดลองในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ส่วนกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น เลือกโดยให้ครอบคลุมทุกประเภทของการกำหนดเวลาส่งมอบ ได้แก่ การกำหนดจากภายนอกและการกำหนดจากภายใน ซึ่งการกำหนดจากภายนอกนั้น คือการกำหนดเวลาส่งมอบให้เป็นค่าคงที่และกำหนดโดยวิธีการสุ่ม ส่วนการกำหนดจากภายในนั้น สามารถแบ่งได้เป็นการกำหนดเวลาส่งมอบโดยใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานเพียงด้านเดียว และการกำหนดโดยใช้ทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานร่วมกับข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบในปัจจุบัน ส่วนปัจจัยทางด้านระดับการใช้งานของระบบนั้น กำหนดให้ทำการทดลองภายใต้ระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% รวมทั้งทำการทดลองในระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือให้แต่ละสถานีงานมีระดับการใช้งานที่ไม่เท่ากัน คำนวณที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบประกอบด้วย ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซนต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย

จากผลการทดลองทำให้พบว่ากฎ JDD เป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบโดยกฎ JIS หลังจากนั้นได้ทำการทดลองเพิ่มเติมโดยพัฒนากฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่ ได้แก่กฎ JISNL รวมทั้งมีการเพิ่มเทคนิคในการลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD ซึ่งผลการทดลองพบว่าทั้งกฎ JISNL และเทคนิคในการลำดับความสำคัญนั้นให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น โดยเฉพาะในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง หรือชิ้นงานที่มีโครงสร้างของการประกอบหลายๆระดับ

ภาควิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่อนิสิต.....
 สาขาวิชา.....วิศวกรรมอุตสาหการ..... ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
 ปีการศึกษา.....2547.....

4670364621 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING

KEY WORD : DISPATCHING RULES / DUE DATE ASSIGNMENT RULES / ASSEMBLY LINE / COMPUTER SIMULATION

PANITAS SUREEYATANAPAS : INTERACTION ANALYSIS OF DISPATCHING RULES AND DUE DATE ASSIGNMENT RULES ON ASSEMBLY LINE PERFORMANCES. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. PARAMES CHUTIMA, Ph.D, 243 pp. ISBN 974-17-6659-9.

The purpose of this thesis is to analyze the interaction between dispatching rules and due date assignment rules on the performances of assembly line manufacturing systems that are balanced and unbalanced via computer simulation. The experiments are conducted under three factors including dispatching rules, due date assignment rules, and shop utilization.

Dispatching rules are chosen from the best rules seen in literature survey. Due date assignment rules are chosen to various due date assignment methods that compose of external sets and internal sets. The external sets are due date assignment by constant and random. The internal sets are divided into two types that one uses only job characteristic information and the other uses both of job characteristic information and current shop status information. Shop utilization is set to 80% and 90% in balanced shop. Moreover, the experiments are set to unbalanced shop. The performance measurements consist of mean flow time, mean tardiness, % of tardy jobs, and mean absolute lateness.

The simulation results indicate that when assign due date by Job in system (JIS) rule, Earliness job due date (JDD) rule becomes the best dispatching rule and give the best overall performances. The thesis also attempts to improve the performances by presenting a new due date assignment rule that is Job in system and number of levels (JISNL) rule and developing JDD rule by adding a new algorithm that concerns with the priority jumping. The findings show that both of JISNL rule and the new algorithm give the better results in some conditions especially in tall structure products or the products that have a lot of assembly levels.

Department.....INDUSTRIAL ENGINEERING.....

Student's signature.....

Concentration..INDUSTRIAL ENGINEERING.....

Advisor's signature.....

Academic year.....2004.....

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างมากของ รองศาสตราจารย์ ดร.ปารเมศ ชุติมา อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิด ต่างๆตลอดระยะเวลาของการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.วันชัย ริจิรวนิช ประธานในการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์จรพัฒน์ เงามประเสริฐวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จิตรา ฐักิจการพานิช กรรมการในการสอบวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่ดีสำหรับวิทยานิพนธ์ ฉบับนี้

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ได้ให้ความรู้จนผู้วิจัยสามารถศึกษาจบในระดับมหาบัณฑิต รวมทั้ง ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรมทุกท่านเช่นกัน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือที่ดีเสมอมา

ท้ายที่สุดนี้ ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา ที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำที่ดี มาโดยตลอดจนสำเร็จการศึกษา

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | จ |
| กิตติกรรมประกาศ..... | ฉ |
| สารบัญ | ช |
| สารบัญตาราง | ฌ |
| สารบัญรูป | ฎ |
| | |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 บทนำ..... | 1 |
| 1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... | 2 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย | 3 |
| 1.4 ขอบเขตงานวิจัย..... | 3 |
| 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย | 5 |
| 1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ..... | 5 |
| 1.7 สรุปเนื้อหาในงานวิจัย | 6 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง | 7 |
| 2.1 บทนำ..... | 7 |
| 2.2 ระบบผลิตแบบสายการประกอบ | 7 |
| 2.3 การจัดตารางการผลิต..... | 8 |
| 2.4 การจำลองแบบปัญหา..... | 16 |
| 2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... | 18 |
| 2.6 สรุป | 26 |
| บทที่ 3 การจำลองแบบปัญหา | 27 |
| 3.1 บทนำ..... | 27 |
| 3.2 โครงสร้างผลิตภัณฑ์..... | 28 |
| 3.3 แบบจำลองของระบบผลิตแบบสายการประกอบ | 29 |
| 3.4 การสร้างแบบจำลอง..... | 34 |
| 3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง..... | 38 |
| 3.6 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง | 42 |
| 3.7 สรุปผลการสร้างแบบจำลองปัญหา | 47 |

สารบัญ (ต่อ)

| | หน้า |
|--|------|
| บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง | 48 |
| 4.1 บทนำ..... | 48 |
| 4.2 ระดับการใช้งานของระบบ | 48 |
| 4.3 กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ | 50 |
| 4.4 กฎการจ่ายงาน | 53 |
| 4.5 สรุปปัจจัยในการทดลอง..... | 56 |
| บทที่ 5 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง | 57 |
| 5.1 บทนำ..... | 57 |
| 5.2 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน | 57 |
| 5.3 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง | 98 |
| 5.4 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน | 138 |
| 5.5 สรุปผลการทดลอง..... | 178 |
| บทที่ 6 การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ | 187 |
| 6.1 บทนำ..... | 187 |
| 6.2 การพัฒนาการกำหนดเวลาส่งมอบ..... | 187 |
| 6.3 การพัฒนาการ JDD โดยเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ | 202 |
| 6.4 สรุปผลการทดลอง..... | 218 |
| บทที่ 7 สรุปผลการดำเนินงาน | 221 |
| 7.1 สรุป..... | 221 |
| 7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต | 228 |
| รายการอ้างอิง | 229 |
| ภาคผนวก ก ตัวอย่างไฟล์ของแบบจำลองปัญหาที่เป็นแบบจำลองพื้นฐาน | 232 |
| ภาคผนวก ข ตารางการออกแบบการทดลอง | 240 |
| ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์..... | 243 |

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 3-1 ผลทางด้านเวลาการไหลของงานจากการรันโปรแกรม 10 Replications 46

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมา ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% 49

ตารางที่ 4-2 ค่าคงที่ (K) ที่ใช้ในการทดลองสำหรับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ 53

ตารางที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครง
สร้างแบบแบน..... 66

ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครง
สร้างแบบแบน..... 76

ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้าง
แบบแบน 86

ตารางที่ 5-4 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน
โครงสร้างแบบแบน 96

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครง
สร้างแบบสูง..... 106

ตารางที่ 5-6 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครง
สร้างแบบสูง..... 116

ตารางที่ 5-7 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้าง
แบบสูง 126

ตารางที่ 5-8 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน
โครงสร้างแบบสูง..... 136

ตารางที่ 5-9 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อ
พิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน
โครงสร้างซับซ้อน 146

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| ตารางที่ 5-10 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านเวลาต่ำซ้ำของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน | 156 |
| ตารางที่ 5-11 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานต่ำซ้ำ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน..... | 166 |
| ตารางที่ 5-12 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน..... | 176 |
| ตารางที่ 5-13 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน | 178 |
| ตารางที่ 5-14 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)..... | 181 |
| ตารางที่ 5-15 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)..... | 184 |
| ตารางที่ 6-1 ค่าคงที่ (K) ที่ใช้ในการทดลองสำหรับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ JISNL..... | 189 |
| ตารางที่ 6-2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test | 192 |
| ตารางที่ 6-3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test..... | 196 |
| ตารางที่ 6-4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test | 200 |
| ตารางที่ 6-5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการจัดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test..... | 206 |

สารบัญตาราง (ต่อ)

หน้า

ตารางที่ 6-6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิค
ในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง
โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test..... 211

ตารางที่ 6-7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิค
ในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน
โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test..... 216

ตารางที่ 7-1 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด..... 222



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

สารบัญรูป

| | หน้า |
|--|------|
| รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการจัดลำดับงานตามกฎ Importance Ratio (IR) | 15 |
| รูปที่ 3-1 โครงสร้างของรูปแบบรายการวัสดุ (BOMs)..... | 28 |
| รูปที่ 3-2 แบบจำลองของระบบผลิตแบบสายการประกอบ | 30 |
| รูปที่ 3-3 แผนภาพแสดงการไหลของงานในระบบ | 31 |
| รูปที่ 3-4 ตัวอย่าง Block Diagram ของแบบจำลองพื้นฐาน ในโปรแกรม ARENA | 35 |
| รูปที่ 3-5 ตัวอย่าง Element ของแบบจำลองพื้นฐาน ในโปรแกรม ARENA..... | 37 |
| รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Step และ Go..... | 38 |
| รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Break และ Cancel Break..... | 39 |
| รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Trace..... | 40 |
| รูปที่ 3-9 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Watch และ Cancel Watch..... | 41 |
| รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Show Command และ View Command..... | 42 |
| รูปที่ 3-11 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบบ | 43 |
| รูปที่ 3-12 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง | 44 |
| รูปที่ 3-13 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน..... | 44 |
| รูปที่ 3-14 กราฟ Correlogram ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง..... | 45 |
| รูปที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 58 |
| รูปที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 58 |
| รูปที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 58 |
| รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 59 |
| รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 60 |
| รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 60 |
| รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดย เฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 61 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 62 |
| รูปที่ 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 62 |
| รูปที่ 5-10 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 63 |
| รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 64 |
| รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 64 |
| รูปที่ 5-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 68 |
| รูปที่ 5-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 68 |
| รูปที่ 5-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 68 |
| รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 69 |
| รูปที่ 5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 70 |
| รูปที่ 5-18 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 70 |
| รูปที่ 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบเบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 71 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|----|
| รูปที่ 5-20 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 72 |
| รูปที่ 5-21 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 72 |
| รูปที่ 5-22 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 73 |
| รูปที่ 5-23 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 74 |
| รูปที่ 5-24 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 74 |
| รูปที่ 5-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 78 |
| รูปที่ 5-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 78 |
| รูปที่ 5-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 78 |
| รูปที่ 5-28 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 79 |
| รูปที่ 5-29 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 80 |
| รูปที่ 5-30 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 80 |
| รูปที่ 5-31 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 81 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|----|
| รูปที่ 5-32 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 82 |
| รูปที่ 5-33 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 82 |
| รูปที่ 5-34 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 83 |
| รูปที่ 5-35 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 84 |
| รูปที่ 5-36 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 84 |
| รูปที่ 5-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 88 |
| รูปที่ 5-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 88 |
| รูปที่ 5-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 88 |
| รูปที่ 5-40 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 89 |
| รูปที่ 5-41 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 90 |
| รูปที่ 5-42 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล | 90 |
| รูปที่ 5-43 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 91 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5-44 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 92

รูปที่ 5-45 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล 92

รูปที่ 5-46 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... 93

รูปที่ 5-47 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 94

รูปที่ 5-48 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน ในระบบที่ไม่สมดุล 94

รูปที่ 5-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... 98

รูปที่ 5-50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 98

รูปที่ 5-51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล 98

รูปที่ 5-52 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 99

รูปที่ 5-53 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% 100

รูปที่ 5-54 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล 100

รูปที่ 5-55 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 101

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| รูปที่ 5-56 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 102 |
| รูปที่ 5-57 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 102 |
| รูปที่ 5-58 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 103 |
| รูปที่ 5-59 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 104 |
| รูปที่ 5-60 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 104 |
| รูปที่ 5-61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 108 |
| รูปที่ 5-62 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 108 |
| รูปที่ 5-63 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 108 |
| รูปที่ 5-64 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 109 |
| รูปที่ 5-65 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 110 |
| รูปที่ 5-66 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 110 |
| รูปที่ 5-67 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 111 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 5-68 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 112 |
| รูปที่ 5-69 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 112 |
| รูปที่ 5-70 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 113 |
| รูปที่ 5-71 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 114 |
| รูปที่ 5-72 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 114 |
| รูปที่ 5-73 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 118 |
| รูปที่ 5-74 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 118 |
| รูปที่ 5-75 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 118 |
| รูปที่ 5-76 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 119 |
| รูปที่ 5-77 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 120 |
| รูปที่ 5-78 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 120 |
| รูปที่ 5-79 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 121 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| รูปที่ 5-80 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 122 |
| รูปที่ 5-81 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 122 |
| รูปที่ 5-82 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 123 |
| รูปที่ 5-83 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 124 |
| รูปที่ 5-84 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 124 |
| รูปที่ 5-85 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 128 |
| รูปที่ 5-86 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 128 |
| รูปที่ 5-87 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 128 |
| รูปที่ 5-88 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 129 |
| รูปที่ 5-89 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 130 |
| รูปที่ 5-90 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล..... | 130 |
| รูปที่ 5-91 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 131 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| รูปที่ 5-92 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 90%..... | 132 |
| รูปที่ 5-93 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 132 |
| รูปที่ 5-94 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 80%..... | 133 |
| รูปที่ 5-95 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 90%..... | 134 |
| รูปที่ 5-96 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ในระบบที่ไม่สมดุล | 134 |
| รูปที่ 5-97 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 138 |
| รูปที่ 5-98 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 138 |
| รูปที่ 5-99 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 138 |
| รูปที่ 5-100 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... | 139 |
| รูปที่ 5-101 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... | 140 |
| รูปที่ 5-102 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ใน ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 140 |
| รูปที่ 5-103 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 80%..... | 141 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5-104 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 142

รูปที่ 5-105 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล 142

รูปที่ 5-106 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... 143

รูปที่ 5-107 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 144

รูปที่ 5-108 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล 144

รูปที่ 5-109 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... 148

รูปที่ 5-110 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 148

รูปที่ 5-111 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล 148

รูปที่ 5-112 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 149

รูปที่ 5-113 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% 150

รูปที่ 5-114 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล..... 150

รูปที่ 5-115 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 151

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 5-116 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 152 |
| รูปที่ 5-117 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 152 |
| รูปที่ 5-118 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 153 |
| รูปที่ 5-119 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 154 |
| รูปที่ 5-120 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 154 |
| รูปที่ 5-121 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 158 |
| รูปที่ 5-122 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 158 |
| รูปที่ 5-123 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 158 |
| รูปที่ 5-124 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 159 |
| รูปที่ 5-125 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% | 160 |
| รูปที่ 5-126 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 160 |
| รูปที่ 5-127 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% | 161 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 5-128 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% 162

รูปที่ 5-129 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล..... 162

รูปที่ 5-130 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 163

รูปที่ 5-131 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% 164

รูปที่ 5-132 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล..... 164

รูปที่ 5-133 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% 168

รูปที่ 5-134 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%... 168

รูปที่ 5-135 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล..... 168

รูปที่ 5-136 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%..... 169

รูปที่ 5-137 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%..... 170

รูปที่ 5-138 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล 170

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|---|-----|
| รูปที่ 5-139 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 80%..... | 171 |
| รูปที่ 5-140 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 90%..... | 172 |
| รูปที่ 5-141 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 172 |
| รูปที่ 5-142 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 80%..... | 173 |
| รูปที่ 5-143 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ที่ระดับการใช้งานของ ระบบ 90%..... | 174 |
| รูปที่ 5-144 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยเมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน ในระบบที่ไม่สมดุล | 174 |
| รูปที่ 6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดย เฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 189 |
| รูปที่ 6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 190 |
| รูปที่ 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 190 |
| รูปที่ 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 191 |
| รูปที่ 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดย เฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 193 |
| รูปที่ 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 194 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

| | |
|--|-----|
| รูปที่ 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 194 |
| รูปที่ 6-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 195 |
| รูปที่ 6-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงาน โดย เฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 197 |
| รูปที่ 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดย เฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 198 |
| รูปที่ 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่า ช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 198 |
| รูปที่ 6-12 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD | 199 |
| รูปที่ 6-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการจัดลำดับ ความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน | 203 |
| รูปที่ 6-14 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการจัดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหล ของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้าง แบบแบน | 204 |
| รูปที่ 6-15 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการจัดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของ งาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบ แบน | 204 |
| รูปที่ 6-16 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการจัดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของ งานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน | 205 |
| รูปที่ 6-17 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการจัดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของ เวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้าง แบบแบน | 205 |

สารบัญรูป (ต่อ)

หน้า

รูปที่ 6-18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน 207

รูปที่ 6-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง..... 208

รูปที่ 6-20 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง 209

รูปที่ 6-21 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง 209

รูปที่ 6-22 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง..... 210

รูปที่ 6-23 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง 210

รูปที่ 6-24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง 212

รูปที่ 6-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน 213

รูปที่ 6-26 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน 214

รูปที่ 6-27 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน 214

รูปที่ 6-28 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน..... 215

รูปที่ 6-29 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน..... 215

รูปที่ 6-30 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน 217

บทที่ 1

บทนำ

1.1 บทนำ

ในสภาวะการแข่งขันทางธุรกิจที่เข้มข้นในปัจจุบัน ผู้ประกอบการย่อมไม่สามารถสร้างความได้เปรียบทางการแข่งขันโดยมุ่งปรับปรุงคุณภาพทางการผลิต รวมทั้งมุ่งพัฒนาเทคโนโลยีให้ทันสมัยเพียงเท่านั้น หากแต่จะต้องคำนึงถึงคุณภาพในการให้บริการและมุ่งเน้นการสร้างความปลอดภัยต่อลูกค้า โดยการพัฒนาความสามารถในการตอบสนองลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว จึงทำให้เกิดความสนใจและให้ความสำคัญต่อการจัดลำดับการทำงานในการผลิต (Production Scheduling) ซึ่งถือเป็นรูปแบบหนึ่งของการตัดสินใจที่มีบทบาทอย่างมากต่อการเพิ่มระดับของการบริการลูกค้า

การจัดลำดับการทำงาน มีอิทธิพลโดยตรงต่อการพิจารณากำหนดเวลาส่งมอบงาน (Due-date Assignment) ซึ่งการกำหนดเวลาส่งมอบ ถือเป็นส่วนที่สำคัญมากในการวางแผนและควบคุมการผลิต รวมทั้งมีผลกระทบต่อการจัดส่งที่ตรงเวลา และการลดระดับของสินค้าสำเร็จรูปในคลังสินค้า โดยธุรกิจจะไม่สามารถบรรลุผลสำเร็จได้อย่างสมบูรณ์ หากไม่สามารถกำหนดเวลาส่งมอบที่แน่นอนให้กับลูกค้าได้ ซึ่งเทคนิคในการจัดลำดับการทำงานและการกำหนดเวลาส่งมอบนั้นมีหลากหลายวิธีด้วยกัน โดยจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้ทราบว่า การจัดลำดับการทำงานมีความเกี่ยวข้องโดยตรงต่อการประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงาน (Flow Time) อีกทั้งพบว่าความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules) และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน (Due-date Assignment Rules) นั้นมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบอย่างมีนัยสำคัญ (Michelle and Kevin 1991, Huang 1984, Gary and Vincent 1984) จึงส่งผลให้การศึกษาเกี่ยวกับการวางแผนและควบคุมการผลิตทั้งหลาย มุ่งประเด็นไปที่การพัฒนาแบบจำลองเพื่อคาดการณ์ระยะเวลาการไหลของงานให้ได้อย่างถูกต้อง เพื่อมุ่งสู่การกำหนดเวลาส่งมอบให้ได้ประสิทธิภาพที่สูงที่สุด โดยการพัฒนาแบบจำลองที่นิยมกันมากที่สุดได้แก่ การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Techniques)

การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ เป็นวิธีการหนึ่งในการสร้างแบบจำลองของระบบงานจริง แล้วดำเนินการทดลองโดยใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงาน หรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆในการดำเนินงานของระบบ ภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้ ซึ่งการใช้เทคนิคการจำลองปัญหาลักษณะนี้ทำให้ไม่จำเป็นต้องหยุดการทำงานจริงเพื่อทำการทดลอง และสามารถลดระยะเวลาการทำงานในระบบจริงให้เหลือเพียงระยะเวลาการทำงานบนคอมพิวเตอร์ได้

จึงทำให้สามารถตรวจสอบผลลัพธ์อันเกิดจากการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขของการทำงานได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งผลลัพธ์เหล่านี้สามารถนำไปใช้เพื่อสร้างความเข้าใจเกี่ยวกับการดำเนินงานของระบบได้อย่างลึกซึ้ง อันจะทำให้เกิดการปรับปรุงประสิทธิภาพในการทำงานของระบบได้ในอนาคต

1.2 ที่มาและความสำคัญของปัญหา

งานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดลำดับการทำงานส่วนใหญ่ พบว่ามักมุ่งประเด็นของการศึกษาไปที่การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่เกิดจากกฎการจ่ายงานที่ต่างกัน หรือศึกษาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงานและกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพด้านต่างๆในระบบ โดยส่วนใหญ่เป็นการศึกษาในระบบผลิตแบบตามงาน (Job Shop) ซึ่งมักตั้งสมมติฐานไว้ว่าเส้นทางงานของแต่ละงานมีลักษณะเป็นแบบอนุกรม นั่นคือ แต่ละงานจะต้องถูกทำบนเครื่องจักรตามลำดับก่อนหลังที่กำหนดให้เท่านั้น ซึ่งหมายความว่างานทั้งหมดมีความเป็นอิสระต่อกัน และจะไม่พิจารณางานที่มีลักษณะเป็นการประกอบ ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้ว ผลิตภัณฑ์ส่วนใหญ่มักเกิดจากการประกอบแทบทั้งสิ้น

หลายปีต่อมา ได้มีการขยายผลของงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดลำดับการทำงาน ไปสู่ระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line) ที่ผลิตภัณฑ์หนึ่งเกิดจากส่วนประกอบย่อยหลายส่วนมาประกอบเข้าด้วยกัน เป็นระบบการผลิตที่ประกอบด้วยการทำงานทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน (Serial - Parallel Operations) ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้มักมุ่งประเด็นไปที่การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่เกิดจากกฎการจ่ายงานที่หลากหลาย ภายใต้แบบจำลองของสายการประกอบที่ต่างกัน โดยไม่ได้พิจารณาถึงความหลากหลายของกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ และปัญหาต่างๆที่มีอยู่ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้ว ระบบในลักษณะนี้มีความยากในการกำหนดเวลาไหลของงานที่แน่นอน สภาวะคอขวด (Bottleneck) มักเกิดขึ้นได้เสมอ เนื่องจากสาเหตุหลายประการ เช่น เกิดการรอคอยเนื่องจากส่วนประกอบย่อยบางส่วนไม่พร้อมสำหรับการประกอบ หรือความไม่สมดุลกันของอัตราการผลิต เป็นต้น บ่อยครั้งที่เวลาส่งมอบของงานถูกพิจารณาให้เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ (Uncontrollable Factor) ในปัญหาการจัดลำดับการทำงาน ส่งผลต่อการกำหนดเวลาส่งมอบที่ไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งที่โดยความเป็นจริงแล้วการทำงานเพื่อให้เสร็จสิ้นภายในเวลาที่ตกลงไว้กับลูกค้านั้นถือเป็นส่วนหลักที่สำคัญทางธุรกิจ อย่างไรก็ตาม การกำหนดเวลาส่งมอบยังถือเป็นเรื่องที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงของระบบ โดยเฉพาะในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งยังได้รับความสนใจศึกษาอยู่ไม่มากนักในปัจจุบัน

งานวิจัยฉบับนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line) รูปแบบต่างๆ ภายใต้แบบจำลองของระบบที่สมดุลและไม่สมดุล (Balanced Shop and Unbalanced Shop

Model) โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Techniques) ซึ่งดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบจะเกี่ยวข้องกับระยะเวลาการไหลของงาน รวมทั้งการส่งมอบงานให้ตรงตามกำหนดเวลาส่งมอบ

1.3 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตแบบสายการประกอบรูปแบบต่างๆ ทั้งในระบบที่สมดุลและไม่สมดุล โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์

1.4 ขอบเขตงานวิจัย

1.4.1 ทำการศึกษาภายใต้ปัจจัยการทดลองดังต่อไปนี้

1. กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

- Constant (CON)
- Random (RAN)
- Total Work (TWK)
- Total Work Content Critical Path (TWKCP)
- Jobs in System (JIS)
- กฎที่เสนอขึ้นใหม่ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ BOMs and Jobs in System (BJIS)

2. กฎการจ่ายงาน

- Slack per Remaining Operation (S/OPN)
- Earliest Job Due Date (JDD)
- Importance Ratio (IR)
- Latest Finish Time (LF)

3. ระดับการใช้งานของระบบ

- ระบบมีความสมดุล (Balanced Shop Model) นั่นคือ กำหนดให้ทุกสถานีงานมีระดับการใช้งานเท่ากัน ในที่นี้กำหนดขอบเขตของการศึกษาไว้ 2 ระดับ ได้แก่ ระดับการใช้งาน 80% แทนระบบที่มีภาระงานปานกลาง

และระดับการใช้งาน 90% แทนระบบที่มีภาระงานหนัก เพื่อทดสอบความไวของระบบ เมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนไป

- ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop Model) นั่นคือ ให้มีสถานีที่เกิดสถานะคอขวดอยู่ในระบบ โดยกำหนดให้แต่ละสถานีงานมีระดับการใช้งานไม่เท่ากัน

1.4.2 ทำการศึกษาโดยจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบ ที่ประกอบด้วยสถานีงาน 8 สถานี แต่ละสถานีงานประกอบไปด้วยเครื่องจักร 1 เครื่อง และมีสถานีการประกอบ (Assembly Station) 1 สถานี

1.4.3 โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Product Structure) ที่ทำการศึกษาได้แบ่งออกเป็น 3 กลุ่มที่ต่างกัน นั่นคือ โครงสร้างแบบแบน โครงสร้างแบบสูง และโครงสร้างแบบซับซ้อน โดยโครงสร้างของผลิตภัณฑ์แต่ละกลุ่มนั้น ประกอบไปด้วยรูปแบบของรายการวัสดุ (Bill of Materials, BOMs) 3 รูปแบบ ซึ่งหมายความว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้รวมเป็น 9 รูปแบบที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) มีระดับของการประกอบเพียงแค่ 1 ระดับ ที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 3 ถึง 7 ส่วน
2. โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) มีระดับของการประกอบ 2 ถึง 6 ระดับ โดยในแต่ละระดับ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน
3. โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) มีระดับของการประกอบ 2 ถึง 3 ระดับ โดยในแต่ละระดับ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ถึง 3 ส่วน

1.4.4 สมมติฐานที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่

1. เวลาปรับตั้งเครื่อง (Set up Time) สำหรับแต่ละการดำเนินงาน จะไม่ขึ้นกับลำดับงานที่อยู่ก่อนหน้า และถูกรวมเอาไว้แล้วกับเวลาดำเนินงาน
2. เวลาขนย้ายชิ้นงานระหว่างเครื่องจักรมีค่าน้อยมากและสามารถตัดทิ้งได้
3. เครื่องจักรทุกเครื่องไม่มีการเสียหรือขัดข้อง
4. พนักงาน เครื่องมือ และวัตถุดิบมีความพร้อมใช้งานและไม่จำกัด
5. ไม่มีงานเสียหรืองานที่ต้องนำกลับไปซ่อมใหม่เกิดขึ้นจากการทำงาน
6. งานที่ขึ้นจะต้องถูกทำให้เสร็จก่อนที่จะส่งไปยังเครื่องจักรอื่นได้
7. มีเพียงหนึ่งงานเท่านั้นที่อยู่บนเครื่องจักรได้ ณ เวลาใดเวลาหนึ่ง
8. การดำเนินงานที่ต่อเนื่องกันบนงานเดียวกันไม่สามารถทำซ้ำบนเครื่องจักรเดิมได้

9. ไม่มีการยกเลิกคำสั่งซื้อจากลูกค้า
10. พื้นที่ในแถวคอยของแต่ละสถานีงานมีไม่จำกัด
11. ไม่ยอมให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น
12. ค่าทางสถิติจะถูกเก็บหลังจากที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) แล้ว

1.4.5 ในงานวิจัยนี้ กำหนดดัชนีที่ใช้วัดประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ ดังนี้

1. เวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)
2. เวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)
3. เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)
4. ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)

1.5 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
- 1.5.2 วิเคราะห์หลักการของกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กฎการจ่ายงาน และปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมถึงวิธีการที่เหมาะสมที่จะใช้ในการทดลอง
- 1.5.3 ออกแบบแบบจำลองของสายการประกอบ โดยใช้การจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์
- 1.5.4 บันทึกผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง โดยใช้เทคนิคทางสถิติช่วยในการวิเคราะห์
- 1.5.5 วิเคราะห์หลักการในการปรับปรุงประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานรวมทั้งกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ และทำการทดลองเพิ่มเติม
- 1.5.6 สรุปผลการทดลองและเสนอแนะ
- 1.5.7 จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.6.1 ทราบถึงผลกระทบร่วมของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตแบบสายการประกอบรูปแบบต่างๆ
- 1.6.2 สามารถเลือกใช้กฎการจ่ายงาน และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ที่เหมาะสมได้ ทั้งในระบบที่สมดุลและไม่สมดุล
- 1.6.3 สามารถนำผลที่ได้ไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องต่อไปได้

1.7 สรุปเนื้อหาในงานวิจัย

- บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง บทนี้เป็นการกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ ทฤษฎีของระบบการผลิตแบบสายการประกอบ การจัดการการผลิต และการจำลองแบบปัญหา นอกจากนี้ได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อประยุกต์ใช้หลักการและข้อสรุปบางประการเพื่อเป็นแนวทางในการทำวิทยานิพนธ์
- บทที่ 3 การจำลองแบบปัญหา เป็นการอธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของแบบจำลอง ขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ในการทดลอง รวมถึงการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง และการดำเนินการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) โดยงานวิจัยนี้ใช้โปรแกรม ARENA Version 5.0 ในการสร้างแบบจำลอง
- บทที่ 4 การออกแบบการทดลอง เป็นการกำหนดพารามิเตอร์และเงื่อนไขต่างๆที่ใช้ในการทดลองให้กับแบบจำลองปัญหา รวมทั้งอธิบายรายละเอียดของปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง
- บทที่ 5 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง เป็นการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม และการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ได้จากปัจจัยในการทดลองแบบต่างๆ
- บทที่ 6 การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ ในบทนี้จะเป็นการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการพัฒนาและเพิ่มเทคนิคบางอย่างให้กับกฎการจ่ายงาน และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในบทที่ 5
- บทที่ 7 สรุป ในบทนี้จะสรุปสุดท้าย เพื่อสรุปผลทั้งหมดของการทำวิทยานิพนธ์โดยภาพรวมอีกครั้งหนึ่ง รวมทั้งนำเสนอข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 บทนำ

เนื่องจากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ เป็นการวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ในระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line) รูปแบบต่างๆ โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation Techniques) ดังนั้นในบทที่ 2 นี้จะกล่าวถึงทฤษฎีที่เกี่ยวข้องที่นำมาใช้ในงานวิทยานิพนธ์ อันได้แก่ ทฤษฎีของระบบการผลิตแบบสายการประกอบ การจัดการการผลิต และการจำลองแบบปัญหา นอกจากนี้ได้มีการรวบรวมงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อประยุกต์ใช้หลักการและข้อสรุปบางประการสำหรับเป็นแนวทางในการทำงานวิทยานิพนธ์

2.2 ระบบผลิตแบบสายการประกอบ

ระบบการผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Line Manufacturing System) ได้เริ่มต้นขึ้นตั้งแต่ก่อนปี ค.ศ. 1800 ซึ่งเริ่มมีช่างฝีมือที่ต้องการผลิตผลิตภัณฑ์โดยการแยกชิ้นส่วนผลิต แล้วจึงนำแต่ละชิ้นส่วนมาสวมเข้าด้วยกัน หลังจากนั้น Eli Whitney ได้ประยุกต์ใช้ความคิดของการแยกชิ้นส่วนผลิตในการผลิตปืนเล็กยาวให้กับคณะรัฐบาลของประเทศสหรัฐอเมริกา โดยการแบ่งแยกแรงงานเป็นแผนกต่างๆ เพื่อผลิตแต่ละส่วนประกอบของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งมีการใช้ค่าความเผื่อทางวิศวกรรม (Engineering Tolerance) ในการสวมประกอบ

ในปี ค.ศ. 1913 Henry Ford ได้ประยุกต์ใช้ระบบผลิตแบบสายการประกอบในโรงงานผลิตรถยนต์และในระบบการผลิตจำนวนมากๆ (Mass Production) ซึ่งถือเป็นการปฏิวัติกระบวนการผลิตรถยนต์ในสมัยนั้น โดยพบว่าสามารถลดต้นทุนในการผลิตและการจัดส่งผลิตภัณฑ์ให้น้อยลงได้ ซึ่งนับว่าเป็นจุดเริ่มต้นของการผลิตผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการนำส่วนประกอบย่อยหลายส่วนมาประกอบเข้าด้วยกันในโรงงานอุตสาหกรรม ส่งผลให้เทคโนโลยีทางการผลิตได้ขยายตัวไปอย่างรวดเร็ว และทำให้เกิดการสร้างสรรคผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายเพิ่มมากขึ้น

สายงานการประกอบ เป็นการจัดรูปแบบของผังการประกอบ ซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่างๆที่เรียกว่า สถานีงาน (Work Station) ในระบบสายการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่างๆ เมื่อชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ดังกล่าว

แต่ละหน่วยเข้ามาสู่สถานงานใดๆแล้ว ก็จะเกิดขึ้นขั้นตอนการประกอบ (Assembly Operation) ขึ้นในสถานีนั้นตามลำดับ เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการประกอบในสถานีนั้นแล้ว ชิ้นส่วนนั้นก็จะเคลื่อนที่ไปยังสถานีต่อไป ในขณะที่เดียวกันที่สถานีเดิมก็จะมีชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์หน่วยถัดไปเข้ามาแทน

โดยทั่วไปสายการประกอบจะแบ่งออกเป็น 3 ประเภท ตามประเภทของผลิตภัณฑ์ที่ผลิต ดังนี้

1. สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เดี่ยว (Single Model Assembly Line) เป็นสายงานการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์เพียงชนิดเดียว ที่มีเพียงรูปแบบเดียว
2. สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์เป็นชุด (Batch Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์สองชนิดหรือมากกว่า โดยที่ผลิตภัณฑ์เหล่านั้นต้องมีความคล้ายกัน และสามารถผลิตบนสายการประกอบเดียวกันได้ ซึ่งในการประกอบจะทำการผลิตทีละชุดผลิตภัณฑ์
3. สายการประกอบสำหรับผลิตภัณฑ์ผสม (Mix Model Assembly Line) เป็นสายการประกอบที่ใช้สำหรับผลิตผลิตภัณฑ์สองชนิดหรือมากกว่า ที่มีโครงสร้างแตกต่างกัน

2.3 การจัดการการผลิต

การจัดการ (Scheduling) เป็นกระบวนการตัดสินใจอย่างหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างมากต่อทั้งอุตสาหกรรมการผลิตและการบริการ โดยที่ผลลัพธ์ของกระบวนการตัดสินใจในที่นี้ก็คือ ตารางหรือกำหนดการ (Schedule) สำหรับกิจกรรมต่างๆ ในทางปฏิบัติมักพบว่า องค์กรจำนวนมากได้นำเอาทฤษฎีการจัดการมาประยุกต์ใช้ เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานให้สูงขึ้น

การจัดการ หมายถึง การจัดสรรทรัพยากร (Resource) ที่มีอยู่อย่างจำกัดให้กับภารกิจ (Task) จำนวนหนึ่งภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดให้ เพื่อที่จะทำให้องค์กรสามารถบรรลุถึงเป้าหมาย (Goal) หรือวัตถุประสงค์ (Objective) สูงสุดที่องค์กรกำหนดเอาไว้ที่เวลานั้นได้

คำว่า ทรัพยากร หมายถึง คนหรือสิ่งของที่มีอยู่เป็นจำนวนจำกัด ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการทำให้เกิดผลผลิตที่ต้องการขึ้นได้ เนื่องจากความจำกัดของทรัพยากรนี้เอง จึงต้องมีการจัดสรรให้กับกิจกรรมต่างๆที่ต้องการใช้ทรัพยากรดังกล่าวในเวลาเดียวกัน ในขณะที่งาน (Job) อาจจะถูกประกอบด้วยภารกิจพื้นฐาน ที่มีความสัมพันธ์กันในด้านของลำดับก่อนหลังเป็นจำนวนมาก ซึ่งในบางครั้งเราจะเรียกภารกิจพื้นฐานเหล่านี้ว่า การดำเนินงาน (Operation)

ทฤษฎีการจัดการเกี่ยวข้องกับการสร้างและพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และการหาเทคนิคที่เหมาะสมในการแก้ปัญหาการจัดการ โดยใช้การวิเคราะห์เชิงปริมาณเป็นเครื่องมือช่วย โดยแนวทางดังกล่าวนี้จะแปลงโครงสร้างของปัญหาการจัดการ ไปสู่รูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสม ซึ่งกระบวนการนี้จะเกี่ยวข้องกับการแปลงเป้าหมายและความมีอยู่อย่างจำกัดของทรัพยากรในด้านต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจ ไปสู่ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective

Function) และข้อจำกัด (Constraint) ต่างๆซึ่งจะเขียนขึ้นมาอย่างชัดเจนในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ (ปารเมศ ชุตินา, 2546)

2.3.1 เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิต

เป้าหมายหรือวัตถุประสงค์ของการจัดตาราง ถูกกำหนดมาเพื่อประเมินประสิทธิภาพของตารางที่จัดขึ้น โดยการพิจารณาจากผลรวมของข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับงานทั้งหมด ซึ่งผลรวมนี้จะเป็นข้อมูลแบบมิติเดียว เรียกว่า ตัววัดสมรรถนะ (Measure of Performance) ส่วนวัตถุประสงค์ (Objective) ของการจัดตารางจะหมายถึง เป้าหมายของตัววัดสมรรถนะที่ผู้จัดตารางต้องการที่จะให้เกิดขึ้น เช่น การหาค่าที่มากที่สุด (Maximize) หรือการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize) ของตัววัดสมรรถนะนั่นเอง (ปารเมศ ชุตินา, 2546) ซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ ได้เลือกใช้ตัววัดสมรรถนะที่มีความสำคัญต่อการประเมินผลประสิทธิภาพในระบบผลิตแบบสายการประกอบ โดยแบ่งออกเป็น 2 ด้าน ได้แก่ด้านระยะเวลาการไหลของงาน และเวลาล่าช้าของงาน ดังนี้

1. เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาการไหลของงานในระบบ ซึ่งสะท้อนให้เห็นถึงเวลาที่แต่ละงานต้องคอยในระบบตั้งแต่งานนั้นเข้ามาสู่ระบบจนกระทั่งออกจากระบบ สามารถหาค่าได้ตามสมการที่ 2-1

$$\bar{F} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n F_j \quad (2-1)$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด

2. เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness) หมายถึง ค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้าของงานในระบบ โดยเวลาล่าช้าของงานจะไม่มีทางมีค่าเป็นลบได้ อย่างน้อยที่สุดต้องมีค่าเท่ากับ 0 ซึ่งหมายความว่า จะไม่มีผลประโยชน์ตอบแทนอันใดถ้าสามารถทำงานเสร็จเร็วกว่ากำหนด แต่เมื่อใดก็ตามที่งานเสร็จช้ากว่ากำหนด งานล่าช้าจะมีค่าเป็นบวก ซึ่งย่อมต้องมีการเสียค่าปรับ รวมถึงเสียความเชื่อถือของลูกค้า เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย หาได้ตามสมการที่ 2-2

$$\bar{T} = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n T_j \quad (2-2)$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด

3. เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs) หมายถึง เปอร์เซ็นต์ของงานที่เสร็จสิ้นหลังกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งบ่งบอกถึงระดับของการบริการลูกค้าได้ เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า หาได้ตามสมการที่ 2-3

$$\%N_T = \frac{N_T}{n} * 100 \quad (2-3)$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าต่ำที่สุด

4. ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness) เป็นตัววัดสมรรถนะที่พิจารณาความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จงาน เทียบกับกำหนดเวลาส่งมอบทั้งทางด้านบวกและลบ โดยให้มีความรุนแรงเท่ากัน นั่นคือเมื่อใดที่งานเสร็จเร็วกว่ากำหนดเวลาส่งมอบ ก็อาจมีค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษา (Holding Cost) หรือค่าใช้จ่ายในคลังสินค้าสำเร็จรูปเกิดขึ้น และหากงานเสร็จหลังกำหนดเวลาส่งมอบย่อมต้องเสียค่าปรับในการส่งมอบช้ากว่ากำหนด รวมทั้งเสียความเชื่อถือของลูกค้าไป ดังนั้น การกำหนดเวลาส่งมอบที่มีประสิทธิภาพ ต้องทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนดังกล่าวนี้มีน้อยที่สุด ซึ่งค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะบ่งบอกว่าระบบการจัดตารางนี้ สามารถให้เวลาเสร็จงานที่ใกล้เคียงกับกำหนดเวลาส่งมอบเพียงใด ดังสมการที่ 2-4

$$MAL = \frac{1}{n} * \sum_{j=1}^n |L_j| \quad (2-4)$$

วัตถุประสงค์ของการจัดตารางการผลิตในที่นี้คือ เป็นการจัดตารางการผลิตให้ได้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด

| | | |
|--------|-------|--|
| โดยที่ | F_j | $= C_j - r_j$ |
| | F_j | หมายถึง เวลาการไหลของงาน j |
| | C_j | หมายถึง เวลาที่งาน j เสร็จสิ้น |
| | r_j | หมายถึง เวลาที่งาน j เข้ามาในระบบ |
| | n | หมายถึง จำนวนงานทั้งหมด |
| | T_j | $= \max \{L_j, 0\}$ |
| | L_j | หมายถึง เวลาสายของงาน j ซึ่งมีค่าเท่ากับ $C_j - d_j$ |
| | d_j | หมายถึง เวลาส่งมอบของงาน j |
| | N_T | หมายถึง จำนวนงานที่เสร็จสิ้นหลังกำหนดเวลาส่งมอบ |

2.3.2 การกำหนดเวลาส่งมอบของงาน

เวลาส่งมอบ (Due Date) ของงาน หมายถึง เวลาจัดส่ง หรือเวลาเสร็จสิ้นของงานตามที่สัญญาไว้กับลูกค้า ซึ่งเทคนิคในการกำหนดเวลาส่งมอบงานที่มีอยู่หลากหลายวิธีนั้น สามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ๆ ได้แก่

1. การกำหนดจากภายนอก (Externally Imposed) นั่นคือ การกำหนดเวลาส่งมอบอยู่นอกเหนือการควบคุมของผู้จัดการ เช่น กำหนดโดยคำสั่งซื้อที่เข้ามาของลูกค้า หรือกำหนดมาจากฝ่ายการตลาดขององค์กร
2. การกำหนดจากภายใน (Internally Set) นั่นคือ เวลาส่งมอบถูกกำหนดโดยผู้จัดการ ซึ่งจะใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน (Job Characteristics Information) เช่น เวลาการดำเนินงานทั้งหมด (Total Processing Time) หรือจำนวนการดำเนินงาน (Number of Operations) เป็นต้น ซึ่งโดยทั่วไปแล้ว พบว่ากฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานนั้น สามารถปรับปรุงสมรรถนะของเวลาส่งมอบได้ดีกว่ากฎที่ละเลยข้อมูลส่วนนี้ (Conway, Maxwell, and Miller 1967) นอกจากนี้ยังมีบางกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ใช้ข้อมูลทางด้านสถานะภาพของระบบในปัจจุบัน (Current Shop Status Information) อาทิเช่น ข้อมูลทางด้านจำนวนงานที่มีอยู่ในระบบ หรือจำนวนงานในแถวคอยของสถานีงาน เป็นต้น ซึ่งพบว่าให้การประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงานที่ถูกต้องแม่นยำ และสามารถให้สมรรถนะของเวลาส่งมอบที่ดีเช่นกัน (Baker and Bertrand 1981, Eilon and Chowdhury 1976) ซึ่งผู้จัดการจะประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงานในแต่ละงาน เพื่อที่จะกำหนดเวลาส่งมอบให้ได้อย่างสอดคล้องกัน

กฎในการกำหนดเวลาส่งมอบที่เลือกมาทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ กำหนดให้ครอบคลุมทุกประเภทของการกำหนดเวลาส่งมอบ นั่นคือ

1. การกำหนดจากภายนอก ได้แก่

- Constant (CON) กำหนดเวลาส่งมอบให้มีระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง และค่าคงที่นี้จะใช้กับทุกคำสั่งซื้อ มักใช้ในกรณีที่พนักงานขายเป็นผู้กำหนดเวลาส่งมอบเอง การกำหนดเวลาส่งมอบให้มีค่าคงที่นี้ เหมาะกับองค์กรที่ทำการผลิตชิ้นงานที่มีความหลากหลายน้อย หรืออีกนัยหนึ่งคือ เหมาะสำหรับองค์กรที่ทำการผลิตแบบปริมาณมาก (Mass Production) ชิ้นงานแต่ละประเภทใช้เวลาในการผลิตใกล้เคียงกัน จึงสามารถกำหนดเวลาส่งมอบของงานให้คงที่ได้
- Random (RAN) เป็นการกำหนดเวลาส่งมอบของงานโดยวิธีการสุ่ม ภายในช่วงที่กำหนด เป็นวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบที่ไม่ได้คำนึงถึงเวลาเสร็จสิ้นของการผลิต กฎนี้จึงเป็นตัวแทนของกรณีที่เวลาส่งมอบถูกกำหนดโดยคำสั่งซื้อที่เข้ามาของลูกค้า ซึ่งพนักงานขายอาจจะมีการต่อรองในเรื่องของระยะเวลาส่งมอบ ดังนั้น จึงทำให้เวลาส่งมอบในกรณีเช่นนี้เป็นแบบสุ่ม

2. การกำหนดจากภายใน ซึ่งแบ่งได้เป็น

ก. กฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน ได้แก่

- Total Work (TWK) เป็นกฎที่กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด โดยใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน (ค่าคงที่) คูณกับภาระงานทั้งหมด แล้วใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเวลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน การกำหนดเวลาส่งมอบของงานตามภาระงานทั้งหมดนี้เหมาะสำหรับองค์กรที่ผลิตชิ้นงานที่มีความหลากหลาย รวมถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกันมาก
- Total Work Content Critical Path (TWKCP) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานทั้งหมด บนสายงานวิกฤติ (Critical Path) ของงานนั้น

ข. กฎที่ใช้ทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน และทางด้านสถานภาพของระบบ

- Jobs in System (JIS) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของงานทั้งหมดในระบบ เมื่อเวลาที่งานนั้นมาถึง และภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด

2.3.3 กฎการจ่ายงาน

กฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules) ถูกนำมาใช้เพื่อแก้ไขความขัดแย้งที่เกิดขึ้น เมื่อใดก็ตามที่มีเซตของงานตั้งแต่ 2 งานขึ้นไปคอยรับบริการจากเครื่องจักรเดียวกัน (ปารเมศ ชุติมา, 2546) กฎการจ่ายงานมีความสัมพันธ์กับกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ และส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ

ต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบการผลิต การใช้กฎการจ่ายงานที่เหมาะสมอาจจะทำให้ความแออัดภายในระบบลดลง หรือทำให้สามารถส่งสินค้าทันตามกำหนดเวลาที่สัญญาไว้กับลูกค้าได้โดยทั่วไปแล้ว เราสามารถแบ่งกฎการจ่ายงานตามพฤติกรรมในการทำงานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. ลักษณะของการเปลี่ยนแปลงตามเวลา ซึ่งแบ่งได้เป็น

- กฎแบบสถิต (Static Rule) เป็นกฎที่หลังจากกำหนดค่าลำดับความสำคัญให้กับแต่ละงานแล้ว ค่าเหล่านี้จะไม่มีเปลี่ยนแปลงตามเวลา
- กฎแบบพลวัต (Dynamic Rule) เป็นกฎที่เปลี่ยนแปลงค่าลำดับความสำคัญของงานตามเวลา ดังนั้นจึงต้องมีการปรับปรุงค่าลำดับความสำคัญของงานให้เป็นปัจจุบันทุกครั้งก่อนที่จะทำการตัดสินใจว่าจะเลือกทำงานใดก่อน

2. ชนิดของข้อมูลที่ใช้

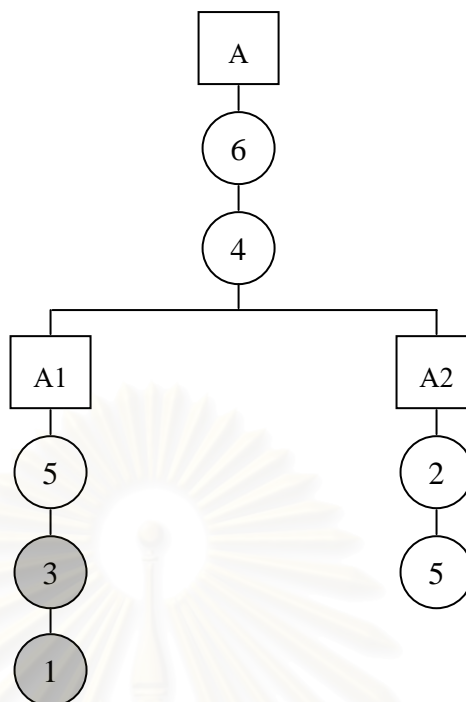
- กฎแบบเฉพาะที่ (Local Rule) เป็นกฎที่ใช้ข้อมูลเกี่ยวกับงานที่อยู่ในแถวคอยของเครื่องจักรที่กำลังพิจารณาการจัดตารางอยู่ในการกำหนดค่าลำดับความสำคัญของงานเท่านั้น
- กฎแบบวงกว้าง (Global Rule) เป็นกฎที่นอกจากจะใช้ข้อมูลเกี่ยวกับงานเช่นเดียวกับกฎแบบเฉพาะที่แล้ว ยังใช้ข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสถานะของงานที่อยู่บนแถวคอยของเครื่องจักรอื่น หรือสถานะของเครื่องจักรอื่น ในการกำหนดค่าลำดับความสำคัญของงาน

งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนใหญ่ก็มีสมมติฐาน 2 ข้อที่ถูกนำมาใช้เสมอในการศึกษากฎการจ่ายงาน ข้อแรกคือ เครื่องจักรเป็นทรัพยากรเพียงประเภทเดียวเท่านั้นที่จะนำมาพิจารณาจัดตาราง (คนงานไม่ได้ถือว่าเป็นข้อจำกัดของระบบ) ข้อสองคือ เส้นทางการของแต่ละงานจะมีลักษณะเป็นแบบอนุกรม คือแต่ละงานจะต้องถูกทำบนเครื่องจักรตามลำดับก่อนหลังที่กำหนดให้เท่านั้น ซึ่งหมายความว่า งานทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน และจะไม่พิจารณางานที่มีลักษณะเป็นการประกอบแน่นอนว่า การนำเอาปัจจัยเหล่านี้เข้ามาร่วมพิจารณาด้วยจะทำให้ความซับซ้อนของปัญหาการจัดตารางเพิ่มขึ้น (ปารเมศ ชูติมา, 2546) ดังนั้นกฎการจ่ายงานที่ถูกสรุปผลว่าให้ประสิทธิภาพการทำงานของระบบโดยรวมดีที่สุดในระบบผลิตแบบอนุกรมนั้น จึงไม่สามารถสรุปได้ว่าจะเป็นกฎที่ดีที่สุดในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ

ปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงาน ในระบบผลิตแบบสายการประกอบ ได้ถูกเสนอแนะไว้ในงานวิจัยของ Philipoom, Russell, and Fry (1991) ดังนี้

1. ความคับคั่งของระบบ (Shop Congestion) อาจวัดได้จากจำนวนงานในแถวคอย เวลา รวมทั้งหมดที่งานอยู่ในแถวคอย เวลาารอคอยโดยเฉลี่ยในแถวคอย เป็นต้น
2. ความก้าวหน้าของงาน (Job Progress) อาจวัดได้จาก เวลาการดำเนินงานที่เหลืออยู่ จำนวนการดำเนินงานที่เหลืออยู่ เป็นต้น

3. โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Product Structure) อาจประกอบด้วยจำนวนส่วนประกอบทั้งหมดในรายการวัสดุ (BOM) ระดับของการประกอบ หรือความยาวของสายงานวิกฤติ เป็นต้น
4. เวลารอคอยการประกอบ (Staging Delay) อาจประกอบไปด้วยจำนวนส่วนประกอบที่ขนานกัน ความใกล้ชิดของการประกอบ รวมถึงการใช้ข้อมูลที่ประสานเวลาเสร็จงานของแต่ละส่วนประกอบที่ต้องประกอบกันให้พร้อมกัน เป็นต้น
5. เวลาส่งมอบ (Due Date) คือ ใช้ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงานปฏิบัติการจ่ายงานที่ถูกเลือกมาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ จึงเป็นกฎที่ถูกสรุปผลมาแล้วว่าให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบดีที่สุด จากงานวิจัยต่างๆเกี่ยวกับการศึกษาการจ่ายงานในระบบผลิตแบบสายการประกอบที่มีเงื่อนไขในการทดลองต่างๆกัน โดยหลักการของกฎเหล่านั้น มีดังนี้
 - Slack per Remaining Operation (S/OPN) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีอัตราส่วนระหว่างเวลาหย่อน ต่อจำนวนการดำเนินงานที่เหลืออยู่ มีค่าน้อยที่สุด โดย S/OPN ถือได้ว่าเป็นกฎการจ่ายงานที่นิยมใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดลำดับงานในระบบผลิตแบบตามงาน รวมทั้งมักใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นกฎที่ให้ผลการดำเนินงานที่ดีในงานวิจัยที่ผ่านมาเกี่ยวกับระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Green and Appel 1981, and Fry et al. 1989a.)
 - The Earliest Job Due Date (JDD) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีเวลาส่งมอบของงานกระชั้นที่สุด โดยจากงานวิจัยของ Russell and Taylor (1985), Goodwin and Weeks (1986), และ Fry et al. (1989) ต่างพบว่ากฎ JDD ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีที่สุด เมื่อทดลองภายใต้ระบบผลิตแบบสายการประกอบ และในทุกโครงสร้างผลิตภัณฑ์ รวมทั้งจากงานวิจัยของ Adam et al. (1993) JDD ถูกพบว่าเป็นกฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาล่าช้าของงานมีค่าน้อยที่สุด
 - Importance Ratio (IR) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่บนเส้นทางงาน นับจนงานนั้นถูกประกอบเสร็จสิ้น ต่อจำนวนการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่บนเส้นทางที่มีการดำเนินงานยังเหลืออยู่มากที่สุดของงานนั้น โดยลำดับความสำคัญสูงสุดจะให้การดำเนินงานที่มีอัตราส่วนมากที่สุด และเนื่องจากกฎ IR เป็นกฎที่ค่อนข้างใหม่และอาจยากต่อการทำความเข้าใจ จึงได้มีการยกตัวอย่างสายการประกอบหนึ่งขึ้นมาดังรูปที่ 2.1 เพื่ออธิบายหลักการของกฎ IR ดังนี้



รูปที่ 2-1 ตัวอย่างการจัดลำดับงานตามกฎ Importance Ratio (IR)

จากรูปที่ 2.1 โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ A ที่มีสี่เหลี่ยมแทนส่วนประกอบ ซึ่งพบว่าผลิตภัณฑ์ A ประกอบขึ้นจากส่วนประกอบ A1 และ A2 โดยวงกลมแทนการดำเนินงานที่มีหมายเลขเครื่องจักรกำกับไว้ เช่น ชิ้นส่วน A1 มี 3 การดำเนินงานที่ต้องทำบนเครื่องจักร 1, 3, และ 5 ตามลำดับ วงกลมที่บแทนการดำเนินงานที่เสร็จสิ้นแล้ว ซึ่งขณะนี้ มีการดำเนินงานทั้งของชิ้นส่วน A1 และ A2 อยู่ที่แถวคอยของเครื่องจักรที่ 5 ซึ่งเมื่อพิจารณาตัดสินใจโดยกฎ IR จะพบว่า จำนวนการดำเนินงานที่เหลือของชิ้นส่วน A1 จนกระทั่งผลิตภัณฑ์ A เสร็จสิ้นนั้น เท่ากับ 3 การดำเนินงาน (1 การดำเนินงานสำหรับชิ้นส่วน A1 และ 2 การดำเนินงานสำหรับผลิตภัณฑ์ A) ส่วนทางด้านจำนวนการดำเนินงานที่เหลือของชิ้นส่วน A2 จนกระทั่งผลิตภัณฑ์ A เสร็จสิ้นนั้น เท่ากับ 4 จึงถือว่า 4 เป็นจำนวนการดำเนินงานสูงสุดที่ยังเหลืออยู่ ดังนั้น IR ของชิ้นส่วน A1 จึงเท่ากับ $3/4$ และ IR ของชิ้นส่วน A2 เท่ากับ $4/4$ (เท่ากับ 1) ซึ่งการที่มี IR เท่ากับ 1 ชี้ให้เห็นว่าการดำเนินงานนั้นน่าจะเป็นตัวที่ทำให้งานทั้งหมดล่าช้า จึงสมควรที่จะต้องถูกดำเนินการก่อน

- Latest Finish Time (LF) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีผลต่างที่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาเสร็จสิ้นที่เร็วที่สุดของงานกับผลรวมของเวลาการดำเนินงานที่เหลืออยู่ทั้งหมดบนเส้นทาง (Branch) ของ

การดำเนินงานนั้น โดยกฎ LF ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Mohanasundaram et al. (2002) ซึ่งพบว่า เป็นกฎที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการลดเวลาการไหลของงาน และเวลาการรอคอยการประกอบ (Staging Delay) เนื่องจากเป็นกฎที่พิจารณาความสัมพันธ์ภายในโครงสร้างของงาน มีการประสานและมีการเร่งงาน ระหว่างการดำเนินงานในสายงานวิกฤติ และการดำเนินงานที่ไม่ได้อยู่ในสายงานวิกฤติของงานให้มีความสอดคล้องกัน

2.4 การจำลองแบบปัญหา

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ ซึ่งมีผู้ที่ทำให้คำจำกัดความของการจำลองแบบปัญหายู่มากมาย แต่คำจำกัดความที่เป็นที่ยอมรับว่าครอบคลุมความหมายของการจำลองแบบปัญหาได้เหมาะสมที่สุดก็คือ คำจำกัดความที่ให้โดย Shannon (1975) ที่ว่า “การจำลองแบบปัญหา คือกระบวนการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองโดยใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ (Strategies) ต่างๆในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้”

ดังนั้นจะเห็นได้ว่ากระบวนการออกแบบแบบจำลองนั้นแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลอง และการนำแบบจำลองมาใช้งานวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีนั้นจะต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริง เพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อการปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริงได้

การจำลองแบบปัญหาคอมพิวเตอร์นั้นเป็นที่นิยมใช้กันมากที่สุด เพราะสามารถใช้ได้กับปัญหาของระบบงานมากมายหลายประเภท ซึ่งถึงแม้การจำลองแบบปัญหานั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก แต่ก็ถือว่ายังมีข้อจำกัดอยู่ นั่นคือ แบบจำลองปัญหาที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะสร้างให้เหมือนกับระบบจริงทุกประการได้ ซึ่งจะมีรายละเอียดบางอย่างของระบบถูกตัดออกไปบ้าง แต่ระบบจริงกับระบบจำลองนั้นจะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติซึ่งจะสามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้น การจำลองแบบปัญหาจึงมีไว้เพื่อศึกษาระบบ ไม่ใช่เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ เพราะสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองแบบปัญหาเป็นการเก็บข้อมูลในอดีต ดังนั้น การวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหา จะมีความคลาดเคลื่อนหรือแตกต่างกันได้จากระบบงานจริง ผู้ที่วิเคราะห์ระบบจะต้องมีความเข้าใจในข้อจำกัดและสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อระบบเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบงานจริง

แบบจำลอง (Simulation Model) หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่ง โดยโครงสร้างของแบบจำลองควรประกอบไปด้วย

- องค์ประกอบ (Component)
- ตัวแปรและพารามิเตอร์ (Variables and Parameters)
- ฟังก์ชันความสัมพันธ์ (Functional Relationships)
- ขอบข่ายจำกัด (Constraints)
- ฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function)

กระบวนการในการจำลองแบบปัญหา ประกอบด้วย

1. การตั้งปัญหาและการให้คำจำกัดความของระบบงาน เป็นการกำหนดวัตถุประสงค์ของการศึกษาระบบ การกำหนดขอบเขต ข้อจำกัดต่างๆ และวิธีการวัดผลของระบบงาน
2. การสร้างแบบจำลองจากลักษณะของระบบงานที่จะต้องทำการศึกษา
3. การจัดเตรียมข้อมูลและวิเคราะห์หาข้อมูลต่างๆที่จำเป็นสำหรับแบบจำลอง แล้วจัดเตรียมให้อยู่ในรูปแบบที่จะนำไปใช้งานกับแบบจำลองได้
4. การแปรรูปแบบจำลองไปอยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์
5. การทดสอบความถูกต้อง เป็นการวิเคราะห์เพื่อช่วยให้มั่นใจได้ว่าแบบจำลองนั้นสามารถใช้แทนระบบงานจริงได้ เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของการศึกษา
6. การออกแบบการทดลอง เป็นการออกแบบการทดลองที่ทำให้แบบจำลองสามารถให้ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์หาผลลัพธ์ตามที่ต้องการ
7. การวางแผนการใช้งานแบบจำลองเป็นการวางแผนว่าจะใช้งานแบบจำลองในการทดลองอย่างไร จึงจะได้ข้อมูลสำหรับการวิเคราะห์ผลที่เพียงพอ (ด้วยระดับความเชื่อมั่นในผลการวิเคราะห์ที่เหมาะสม) ความแตกต่างระหว่างขั้นตอนนี้กับการออกแบบการทดลองมีอยู่ว่า ในการออกแบบการทดลองนั้น เป็นเพียงแค่การบอกเงื่อนไขของการทดลอง ส่วนขั้นตอนนี้เป็นกรบอกว่าจะต้องดำเนินการทดลองตามเงื่อนไขดังกล่าวกี่ครั้ง เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่เหมาะสม หรือ ได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้
8. การดำเนินการทดลอง เป็นการคำนวณหาข้อมูลต่างๆที่ต้องการ และความไวของการเปลี่ยนแปลงข้อมูลจากแบบจำลอง
9. การตีความผลการทดลอง โดยตีความว่าระบบงานจริงมีปัญหาอย่างไร และการแก้ปัญหาจะได้ผลอย่างไร
10. การนำไปใช้งาน เป็นการเลือกวิธีการที่จะแก้ปัญหาได้ดีที่สุดไปใช้กับระบบจริง
11. การจัดทำเป็นเอกสารการใช้งาน เป็นการบันทึกกิจกรรมในการจัดทำแบบจำลองโครงสร้างของแบบจำลอง วิธีการใช้งาน และผลที่ได้จากการใช้งาน เพื่อประโยชน์สำหรับผู้ที่จะนำแบบจำลองไปใช้งาน และเพื่อประโยชน์ในการปรับปรุงตัดแปลงแบบจำลองเมื่อเกิดการเปลี่ยนแปลงระบบ

2.5 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.5.1 งานวิจัยที่ศึกษาประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานในระบบผลิตแบบตามงาน

งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนมาก มุ่งเน้นไปที่การศึกษาประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานที่แตกต่างกัน ในปัญหาการจัดตารางของระบบการผลิตแบบตามงาน (Job Shop Scheduling) ซึ่งมักมีการตั้งสมมติฐานเอาไว้ว่า เส้นทางงานของแต่ละงานจะมีลักษณะเป็นแบบอนุกรม คือแต่ละงานจะต้องถูกทำบนเครื่องจักรตามลำดับก่อนหลังที่กำหนดให้เท่านั้นซึ่งหมายความว่างานทั้งหมดเป็นอิสระต่อกัน และจะไม่พิจารณางานที่มีลักษณะเป็นการประกอบ ซึ่งปัญหาการจัดตารางภายใต้สมมติฐานเช่นนี้จะทำให้ลดความซับซ้อนของปัญหาการจัดตารางลงได้เป็นอย่างมาก

จากงานวิจัยของ Baker and Kanet (1983) ซึ่งทำการศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ อันได้แก่ เวลาล่าช้าเฉลี่ย และสัดส่วนของงานล่าช้า ภายใต้แบบจำลองระบบผลิตแบบตามงาน พบว่า กฎการจ่ายงานเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่กฎ Modified Due Dates (MOD) เป็นกฎที่ให้ผลการปฏิบัติงานที่ดี เมื่อทำการวัดผลทางด้านเวลาล่าช้าของงาน นอกจากนี้ พบว่า ระดับการใช้งานของระบบ (Shop Utilization) ที่ต่างกันนั้น ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดให้มีระดับการใช้งานของระบบที่ 80% และ 90% อันเนื่องมาจากผลการสำรวจระดับการใช้งานของระบบในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ของสหรัฐอเมริกา ภายในช่วงปี 1965 - 1980 พบว่า อยู่ในช่วง 80 - 90%

งานวิจัยของ Ragatz and Mabert (1984) ซึ่งทำการศึกษาประสิทธิภาพของเวลาส่งมอบภายใต้แบบจำลองของระบบการผลิตแบบตามงาน โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ กฎการจ่ายงาน 3 กฎ (SPT, FCFS, และ MINSLK) และ กฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ต่างกัน 8 กฎ ซึ่งทั้ง 8 กฎนั้นถูกกำหนดให้มีความหลากหลาย นั่นคือ มีบางกฎที่ใช้ข้อมูลด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบ อันได้แก่กฎ TWK, NOP, และ TWK+NOP และกฎที่ใช้ทั้งข้อมูลด้านคุณลักษณะของงานร่วมกับข้อมูลด้านสถานภาพของระบบ ได้แก่ JIQ, WIQ, WEEKS, JIS, และ RMR โดยพิจารณาบนตัววัดประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับเวลาล่าช้า และเวลาสายของงาน ซึ่งพบว่ากฎการจ่ายงานมีผลร่วมระหว่างกันกับกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ รวมทั้งมีผลต่อประสิทธิภาพของเวลาส่งมอบอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่ากฎ RMR, JIQ, และ WIQ ซึ่งเป็นกฎที่ใช้ทั้งข้อมูลด้านคุณลักษณะของงานร่วมกับข้อมูลด้านสถานภาพของระบบ ให้ผลการปฏิบัติงานได้ดีกว่ากฎที่ใช้เพียงแค่ข้อมูลด้านคุณลักษณะของงาน

งานวิจัยของ Vig and Dooley (1991) มุ่งประเด็นของการศึกษาการกำหนดเวลาส่งมอบไปที่การประมาณค่าเวลาการไหลของงาน โดยนำเสนอกฎใหม่ในการกำหนดเวลาส่งมอบ 2 กฎ ได้แก่ Operation Flow time Sampling (OFS) และ Congestion and Operation Flow time Sampling

(COFS) ภายใต้วัตถุประสงค์ คือการพัฒนาทฤษฎีใหม่ในการกำหนดเวลาส่งมอบที่ง่ายต่อการนำไปใช้ และเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อประสิทธิภาพทางด้านเวลาส่งมอบภายใต้แบบจำลองระบบการผลิตแบบตามงาน โดยปัจจัยที่ใช้ได้แก่ กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กฎการจ่ายงาน และระดับการใช้งานของระบบ ซึ่งตัววัดประสิทธิภาพที่ใช้ได้แก่ เวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาสายของงาน รวมถึงค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาล่าช้าของงาน

ผลการวิจัยครั้งนี้ถือเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ว่าข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานและทางด้านสถานภาพของระบบนั้น มีประโยชน์อย่างมากต่อการประมาณค่าเวลาการไหลของงาน เนื่องจากทฤษฎีใหม่ที่นำเสนออันได้แก่ OFS และ COFS นั้นให้การประมาณค่าเวลาการไหลของงานที่ถูกต้องและแม่นยำกว่าทฤษฎีอื่นๆ ที่ใช้เพียงแต่ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน ซึ่งในที่นี้คือ TWK และ NOP

นอกจากนั้นในงานวิจัยฉบับนี้ ยังได้มีการพิจารณาว่างานวิจัยอื่นๆที่ผ่านมามีส่วนใหญ่อันที่ใช้ระดับการใช้งานของระบบเป็นหนึ่งในปัจจัยที่ศึกษานั้น กำหนดให้มีระดับการใช้งานที่เท่ากันทั้งระบบ นั่นคือให้ระบบมีความสมดุล ทั้งที่ในอุตสาหกรรมทั่วไป ระดับการใช้งานของระบบการผลิตส่วนใหญ่ก็มักมีความไม่สมดุลเกิดขึ้น สภาวะคอขวด (Bottleneck) มักเกิดขึ้นอยู่เสมอ ดังนั้นในงานวิจัยฉบับนี้จึงได้จำลองระบบการผลิตแบบตามงาน ที่ประกอบด้วย 5 สถานียาน ที่มีลักษณะงานเฉพาะตัว แต่ละสถานีมีเครื่องจักร 1 เครื่อง โดยทำการทดลองภายใต้เงื่อนไข 2 แบบ นั่นคือให้ระบบมีความสมดุล (มีระดับการใช้งานของระบบที่ 95%) และระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือให้แต่ละสถานีงานมีระดับการใช้งานที่ไม่เท่ากัน โดยอยู่ในช่วง 85 – 95% ซึ่งพบว่าภายใต้แบบจำลองที่ระบบไม่สมดุลนั้น ระบบมีความแปรปรวนเพิ่มขึ้น และประสิทธิภาพของระบบลดน้อยลง

งานวิจัยของ Chang (1996) มีลักษณะโดยรวมคล้ายกันกับงานวิจัยที่ผ่านมา นั่นคือเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการผลิตแบบตามงาน โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการทดลอง คือ กฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่แตกต่างกัน 8 กฎ (CON, SLK, NOP, PPW, TWK, JIS, JIQ, และ WIQ) กฎการจ่ายงานที่แตกต่างกัน 6 กฎ (FCFS, SPT, LST, EDD, ODD, และ MOD) และปัจจัยทางด้านระดับการใช้งานของระบบ ที่ระดับการใช้งาน 50%, 70%, และ 90% โดยใช้ตัววัดประสิทธิภาพคือเวลาล่าช้าเฉลี่ย และสัดส่วนของงานล่าช้า ซึ่งผลการศึกษาพบว่า การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ PPW ให้ผลการปฏิบัติงานที่เหนือกว่า CON, SLK, NOP, และ JIS ในทุกกรณี ในขณะที่กฎ JIQ และ WIQ ให้ผลที่ใกล้เคียงกันมาก ซึ่งไม่สามารถสรุปได้ว่าทั้งกฎ PPW, JIQ, และ TWK นั้น กฎใดเป็นกฎที่ดีที่สุด อย่างไรก็ตาม ประสิทธิภาพของระบบยังขึ้นอยู่กับกฎการจ่ายงานที่ใช้รวมถึงระดับการใช้งานของระบบด้วยเช่นกัน เช่น ที่ระดับการใช้งานสูงๆ (90%) หากใช้กฎการจ่ายงานเป็นกฎ SPT กฎ TWK จะเป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ดีที่สุด แต่หากใช้กฎการจ่ายงานอื่นๆ กฎ JIQ จะเป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ดีที่สุด เป็นต้น

งานวิจัยของ Cheng and Jiang (1998) ก็มีลักษณะโดยรวมคล้ายกับงานวิจัยที่ผ่านมา นั่นคือเป็นการศึกษาประสิทธิภาพของเวลาส่งมอบ ภายใต้แบบจำลองของระบบผลิตแบบตามงาน โดยมีปัจจัยที่ใช้ในการศึกษาคือกฎการจ่ายงาน กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และระดับการใช้งานของระบบ แต่มีความต่างกันตรงที่ในงานวิจัยนี้มีการใช้ ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness, MAL) เป็นหนึ่งในดัชนีวัดประสิทธิภาพของระบบการผลิต ซึ่งเป็นตัววัดที่พิจารณาความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จงานทั้งทางด้านบวกและลบ เมื่อเทียบกับกำหนดเวลาส่งมอบของงาน โดยกำหนดให้มีความรุนแรงเท่ากัน เพราะถือว่าไม่ว่างานจะเสร็จก่อนหรือหลังกำหนดเวลาส่งมอบ ย่อมทำให้เกิดค่าใช้จ่ายและความเสียหายขึ้นเทียบเท่ากัน MAL จึงถือเป็นตัววัดที่สามารถบ่งบอกความรุนแรงของความเสียหายที่เกิดขึ้นได้สมบูรณ์กว่าการวัดเพียงแค่ค่าเฉลี่ยของเวลาล่าช้าของงาน หรือค่าเฉลี่ยของเวลาสายของงาน

ได้มีการขยายผลงานวิจัยของระบบผลิตแบบตามงานขึ้นในงานวิจัยของ Gargeya and Deane (1999) ซึ่งทำการศึกษาการจัดลำดับการทำงานในระบบผลิตแบบตามงาน ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านทรัพยากรที่มีจำกัด โดยมีปัจจัยในการศึกษา 2 ปัจจัยได้แก่ กฎการจ่ายงาน และระดับการใช้งานของทรัพยากร ซึ่งระดับการใช้งานของทรัพยากรในที่นี้ หมายถึงอัตราส่วนระหว่างเวลาทั้งหมดที่ทรัพยากรถูกใช้ต่อเวลาทั้งหมดของระบบ โดยกำหนดไว้ 3 ระดับคือ 50, 60, และ 65% ดัชนีวัดประสิทธิภาพที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะเกี่ยวกับเวลาล่าช้าของงาน เวลาที่ใช้ในระบบ และเปอร์เซ็นต์ของการเปลี่ยนแปลงทรัพยากร โดยผลการทดลองพบว่า เมื่อระดับการใช้งานของระบบเพิ่มสูงขึ้น กฎ CBS (Contingency-Based Scheduling) ถือเป็นกฎที่สามารถปฏิบัติงานได้ดีที่สุด

2.5.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดลำดับการทำงานในระบบผลิตแบบสายการประกอบ

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดลำดับการทำงาน ภายใต้แบบจำลองของระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Shop Model) นั้นมีอยู่มากมาย ซึ่งงานวิจัยเหล่านี้มักเป็นงานวิจัยที่ต่อเนื่องหรือใช้ข้อสรุปบางประการจากงานวิจัยที่ใช้แบบจำลองของระบบผลิตแบบตามงาน ซึ่งโดยหลักการต่างๆแล้วจะมีลักษณะหลายประการที่คล้ายกัน เพียงแต่ว่าการจัดตารางในระบบผลิตแบบสายการประกอบนั้นจะมีความซับซ้อนและมีปัญหาต่างๆเพิ่มขึ้นมา อันเนื่องมาจากการยกเลิกสมมติฐานหลายประการทิ้งไป

งานวิจัยของ Huang (1984) เป็นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพที่เกิดจากการใช้กฎการจ่ายงานที่แตกต่างกัน ซึ่งได้ขยายขอบเขตการศึกษาเพิ่มเติมจากงานวิจัยที่ผ่านมาโดยการให้มีทั้งโครงสร้างของงานที่เป็นการดำเนินงานแบบอนุกรม และงานที่มีลักษณะเป็นสายการประกอบ นั่นคือมีการดำเนินงานทั้งแบบอนุกรมและขนานอยู่ด้วยกัน (Serial-Parallel Operations) งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาปัจจัยเพียง 2 ปัจจัย นั่นคือ กฎการจ่ายงานที่แตกต่างกัน และการรวมกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Product-Mix) ที่แตกต่างกัน โดยไม่ได้พิจารณาถึงการใช้อุปกรณ์ในการกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งการใช้

กฎการจ่ายงานนั้น จำเป็นที่จะต้องมีการกำหนดเวลาส่งมอบให้กับงานที่เข้ามาในระบบก่อน โดยในงานวิจัยนี้ กำหนดให้เวลาส่งมอบมาจากการคูณด้วยค่าคงที่ กับเวลารวมของการดำเนินงาน (Total Processing Time) และสำหรับในโครงสร้างแบบสายการประกอบ จะใช้เวลารวมของการดำเนินงานบนเส้นทางที่ยาวที่สุด

เป็นที่น่าสนใจที่ในงานวิจัยนี้มีหนึ่งในดัชนีวัดประสิทธิภาพเป็นค่าของ Staging Time ซึ่งเป็นเวลาที่งานเกิดการรอคอยการประกอบ เนื่องจากอีกส่วนประกอบหนึ่งยังไม่พร้อม จึงถือเป็นดัชนีวัดประสิทธิภาพที่ใช้สำหรับงานที่มีโครงสร้างแบบสายการประกอบ โดยผลการศึกษาพบว่าทั้งสองปัจจัย และผลร่วมระหว่างกันของสองปัจจัยนี้ ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบ โดยที่กฎ SPT ให้ผลการปฏิบัติงานโดยรวมที่เด่นกว่ากฎอื่นๆ

จากงานวิจัยของ Russell and Taylor (1985) พบว่าโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Product Structure) ที่แตกต่างกัน มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานแต่ละกฎอย่างมีนัยสำคัญ โดยในงานวิจัยนี้ได้ทำการกำหนดรายการวัสดุ (BOMs) ขึ้นมา 2 แบบ นั่นคือ โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ซึ่งมีระดับของการประกอบ 4 ระดับ และโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ซึ่งมีระดับของการประกอบ 3 ระดับ ทำให้สามารถสรุปได้ว่า ผลิตภัณฑ์ที่ยังมีระดับของการประกอบสูง ยิ่งทำให้เกิดความน่าจะเป็นในการทำงานจะเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งมอบสูงเช่นกัน รวมทั้งพบว่ากฎ SPT จะให้ประสิทธิภาพสูงเมื่อใช้กับงานที่มีระดับของการประกอบสูงๆ หลังจากนั้น Fry, Oliff, Minor, and Leong (1989) ได้ทำการศึกษาผลกระทบของโครงสร้างผลิตภัณฑ์ที่มีต่อประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานต่างๆ โดยจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบที่หลากหลายมากกว่าเดิม นั่นคือ กำหนดรูปแบบของ BOMs ขึ้นมา 10 รูปแบบ อันประกอบไปด้วย โครงสร้างแบบแบน โครงสร้างแบบสูง และโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ดัชนีวัดประสิทธิภาพที่ใช้ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานแบบต่างๆนั้น คือ เวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า รวมถึงค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย กำหนดให้งานเข้ามาในระบบเป็นไปตามระดับการใช้งานของระบบที่ 85% โดยกำหนดเวลาส่งมอบให้กับงานที่เข้ามาในระบบโดยใช้กฎ TWKCP ซึ่งถึงแม้ในงานวิจัยก่อนหน้านี้ เช่น Biggs (1985) กำหนดเวลาส่งมอบโดยค่าความเผื่อคงที่ และในงานวิจัยของ Goodwin and Goodwin (1982) กำหนดเวลาส่งมอบโดยใช้กฎ TWK ก็ตาม กฎ TWKCP ก็ได้ถูกเลือกใช้งานในงานวิจัยฉบับนี้ เนื่องจากพบว่าสามารถให้การประมาณค่าเวลาการไหลของงานในระบบการผลิตแบบสายการประกอบที่มีลักษณะการดำเนินงานแบบขนานได้ดี (Orlicky 1975) ซึ่งผลการทดลองกลับพบว่าขัดแย้งกับข้อสรุปของ Russell and Taylor (1985) นั่นคือ กฎ SPT ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ดีกับงานที่มีโครงสร้างการประกอบสูงๆ เช่นเดียวกันกับกฎ ORIB และ ORIA ซึ่งมีหลักการที่ใกล้เคียงกับกฎ SPT ก็พบว่าไม่สามารถปฏิบัติงานได้ดีในงานที่มีระดับการประกอบสูงๆเช่นกัน นอกจากนี้ยังพบว่ากฎ SPT ไม่สามารถปฏิบัติงานได้ดีกับงานที่มีโครงสร้างแบบแบน

ในทุกๆดัชนีวัดประสิทธิภาพ ซึ่งทำให้สรุปได้ว่า ถึงแม้กฎ SPT จะเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุดสำหรับระบบการผลิตแบบตามงาน แต่ก็ไม่ได้ให้ผลที่ดีที่สุดสำหรับระบบผลิตแบบสายการประกอบ

กฎใหม่ที่ถูกเสนอในงานวิจัยนี้ได้แก่ LVLSTP ซึ่งกำหนดให้การดำเนินงานที่อยู่บนระดับที่สูงกว่าของ BOMs มีลำดับความสำคัญที่สูงกว่าการดำเนินงานที่อยู่ในระดับที่ต่ำกว่า ซึ่งกฎนี้ถูกออกแบบมาเพื่อให้การดำเนินงานที่ใกล้จะเสร็จสิ้นกว่าได้ทำก่อน จึงถือว่าเป็นกฎที่ใช้ข้อมูลทั้งโครงสร้างผลิตภัณฑ์ และเวลาการดำเนินงาน โดยพบว่า LVLSTP สามารถปฏิบัติงานได้ดีในระบบผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งก็พบว่ากฎอื่นๆที่ใช้ข้อมูลทั้งสองส่วนนี้ก็สามารถปฏิบัติงานได้ดีเช่นกัน โดยสรุปแล้ว พบว่ากฎ BDD เป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมดีที่สุด เมื่อพิจารณาในทุกๆโครงสร้างผลิตภัณฑ์ และสอดคล้องกับข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยของ Goodwin and Goodwin (1982), Russell and Taylor (1985), and Goodwin and Weeks (1986)

เช่นเดียวกันกับในงานวิจัยของ Fry, Philipoom, and Markland (1989) ซึ่งเป็นการศึกษาการกำหนดเวลาส่งมอบในระบบผลิตแบบสายการประกอบ โดยให้กฎในการกำหนดเวลาส่งมอบใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน ร่วมกับข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบ ซึ่งในงานวิจัยนี้เป็นการศึกษาว่ากฎใดสามารถปฏิบัติงานได้ดีที่สุดเมื่อกำหนดให้มีโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และระดับการใช้งานของระบบที่หลากหลาย โดยพบว่ากฎที่เกิดจากการผสมผสานกฎที่ใช้ข้อมูลเพียงทางด้านคุณลักษณะของงาน ได้แก่กฎ TWK และ TWKCP ร่วมกับกฎที่ใช้ข้อมูลเพียงทางด้านสถานภาพของระบบ ได้แก่กฎ WINS สามารถให้การประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงานได้อย่างแม่นยำในระดับการใช้งานของระบบที่ไม่สูงมาก ได้แก่ 70% หรือ 80% และเมื่อระดับการใช้งานของระบบมีค่าสูงถึง 90% กลับพบว่ากฎ WINS สามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้แม่นยำกว่ากฎ TWK และ TWKCP อย่างเห็นได้ชัด ซึ่งการประยุกต์ใช้กฎ WINS ในการทำงานจริงนั้นจำเป็นต้องอาศัยระบบการควบคุมและติดตามสถานภาพของระบบอย่างมีประสิทธิภาพ

ในงานวิจัยนี้ กำหนดให้การจ่ายงานเป็นไปตามหลักการของกฎ EDD ซึ่งจำเป็นต้องมีการศึกษาเพิ่มเติมว่าผลสรุปนี้จะสามารถใช้ได้กับกฎการจ่ายงานอื่นๆหรือไม่ นอกจากนี้การศึกษากครั้งนี้ยังเป็นการทดลองภายใต้ระดับการดำเนินงานที่สมดุลกัน ทั้งที่ในความเป็นจริงแล้ว การเกิดภาวะคอขวดแบบถาวรมักมีอยู่เสมอ ซึ่งจำเป็นต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป

งานวิจัยของ Philipoom, Russell, and Fry (1991) เป็นการพัฒนางานวิจัยเกี่ยวกับระบบผลิตแบบสายการประกอบที่ผ่านๆมา โดยเพิ่มเติมแบบจำลองของระบบให้มีความสมจริงยิ่งขึ้น นั่นคือ ประกอบไปด้วยสถานีงาน 10 สถานี แต่ละสถานีงานมีเครื่องจักร 1 เครื่อง โดยมีสถานีการประกอบ 1 สถานี กำหนดงานให้มีโครงสร้างผลิตภัณฑ์ 15 รูปแบบที่มีความหลากหลายมากขึ้น ซึ่งแบ่งออกเป็น 3 กลุ่ม นั่นคือ โครงสร้างแบบแบน โครงสร้างแบบสูง และโครงสร้างแบบซับซ้อน นอกจากนี้ ได้มีการเสนอกฎการจ่ายงานกฎใหม่ขึ้น นั่นคือ กฎ Importance Ratio (IR) ซึ่ง

ทดสอบบนดัชนีชี้วัดที่เกี่ยวข้องกับการล่าช้าของงาน และระบบคลังสินค้า โดยผลการทดลองพบว่า กฎ S/OPN เป็นกฎที่ปฏิบัติงานได้ดีในงานวิจัยครั้งนี้ และถือว่าเป็นกฎที่ได้รับความนิยมมากในอุตสาหกรรม รวมทั้งพบว่า กฎใหม่ที่เสนอในงานวิจัยครั้งนี้ (IR) สามารถปฏิบัติงานได้ดีในระบบผลิตแบบสายการประกอบ หรือในการจัดลำดับงานที่มีระดับของการประกอบหลายๆระดับ ซึ่งกฎ IR จำเป็นต้องใช้ร่วมกับกฎการจ่ายงานอื่นๆ ในการแก้ปัญหาความเสมอภาคที่เกิดขึ้น โดยพบว่ากฎในการแก้ไขความเสมอภาคสำหรับกฎ IR นั้นมีผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่กฎ LWKR เป็นกฎที่มีความเหมาะสมที่สุดในการใช้ร่วมกับกฎ IR (เขียนเป็น IR-LWKR) สำหรับระบบผลิตแบบสายการประกอบ เนื่องจากให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยโดยรวมทั้งให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำ ในผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบแบน และแบบซับซ้อน แต่ IR-LWKR กลับให้ค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของเวลาล่าช้าที่กว้างมาก ซึ่งผลลักษณะนี้คล้ายกับผลที่ได้จากกฎ SPT ในงานที่มีโครงสร้างแบบเส้นตรง (Linear Structure)

งานวิจัยของ Smith, Minor, and Wen (1995) ได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบการผลิตแบบสายการประกอบ โดยเลือกกฎการจ่ายงานมาจากเหตุผล 2 ประการ ได้แก่ เป็นกฎที่สามารถปฏิบัติงานได้ดีในงานวิจัยที่ผ่านมา ที่ทดลองภายใต้ระบบผลิตแบบสายการประกอบ และกฎที่สามารถปฏิบัติงานได้ดีในงานวิจัยที่ทดลองภายใต้ระบบผลิตแบบตามงาน ซึ่งกฎส่วนใหญ่มาจากงานวิจัยของ Fry et al. (1989) ได้แก่ BDD, BMDD, BCR, ADD, และ MODD นอกจากนี้ได้มีการทดลองร่วมกับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ 2 กฎ คือ TWKCP และ REG โดยที่กฎ REG เป็นกฎที่ใช้ข้อมูลทั้งทางด้านคุณลักษณะของงานและสถานภาพของระบบ โดยกำหนด BOMs ของผลิตภัณฑ์ขึ้นมา 10 รูปแบบเหมือนกับในงานวิจัยของ Fry et al. (1989) เช่นกัน เพียงแต่ในงานวิจัยนี้มีการวิเคราะห์ความไว (Sensitivity analysis) ของแบบจำลอง โดยเพิ่มการทดลองที่กำหนดให้มีงานที่เข้ามาในระบบ ประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบสูงถึง 60% และการทดลองที่ประกอบไปด้วยผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบแบนถึง 60% เพื่อเปรียบเทียบกัน ซึ่งพบว่าระบบที่มีสัดส่วนของผลิตภัณฑ์โครงสร้างแบบสูงมากกว่านั้น กฎ REG ปฏิบัติงานได้ดีกว่ากฎ TWKCP ในทุกประเภทของกฎการจ่ายงาน และเมื่อพิจารณาระบบที่มีสัดส่วนของผลิตภัณฑ์โครงสร้างแบบแบนมากกว่า กลับพบว่ากฎ TWKCP ให้ค่าประสิทธิภาพที่เกี่ยวกับการล่าช้าของงาน อันได้แก่เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า เหนือกว่ากฎ REG ในทุกประเภทของกฎการจ่ายงานเช่นกัน

งานวิจัยของ Roman and Valle (1996) เป็นงานวิจัยที่มุ่งศึกษาการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบ นั่นคือเวลาล่าช้าของงาน และเปอร์เซ็นต์ของจำนวนงานล่าช้า โดยใช้แบบจำลองของสายการประกอบที่คล้ายกับงานวิจัยของ Philipoom et al. (1991) ซึ่งความแตกต่างของงานวิจัยนี้อยู่ตรงที่ มีการพิจารณากฎในการกำหนดเวลาส่งมอบที่

หลากหลายอันได้แก่ TWK และ TWKCP ซึ่งถือเป็นกฎที่ได้รับความนิยมในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ รวมทั้งได้มีการเสนอกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่ขึ้นมา ได้แก่ Total Work based on Simulation (TWSIM) โดยพิจารณาร่วมกับกฎการจ่ายงานอันได้แก่ IR-LWKR, IR-FASFS, FASFS-IR, และ FASFS-IR-IIT (Insertion of Idle Time) ซึ่งเป็นกฎแบบฮิวริสติกใหม่ที่เสนอไว้ในงานวิจัยฉบับนี้ นั่นคือมีการใส่เวลาเดินเปล่าให้กับเครื่องจักร

ผลการทดลองของงานวิจัยนี้ พบว่ากฎ IR-LWKR ให้ผลการปฏิบัติงานคล้ายกับงานวิจัยของ Philipoom et al. (1991) นั่นคือ ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำในทุกโครงสร้างผลิตภัณฑ์ ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับกฎ IR-FASFS ที่พบว่าให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงกว่า แต่กฎ IR-FASFS กลับเป็นที่นิยมใช้ในอุตสาหกรรมมากกว่า เนื่องจากการที่กฎ IR-LWKR ให้ช่วงความแปรปรวนในเวลาล่าช้าที่กว้างมาก ดังนั้นจึงไม่ถือว่ากฎ IR-FASFS นั้นดีไปกว่ากฎ IR-LWKR นอกจากนี้พบว่า การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ใกล้เคียงกับกฎ TWK ในผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบสูง แต่กลับให้ประสิทธิภาพที่ต่ำกว่าในผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบแบนและแบบซับซ้อน รวมทั้งพบว่ากฎ TWSIM ให้ประสิทธิภาพที่เหนือกว่ากฎ TWK และ TWKCP เมื่อใช้ร่วมกับกฎการจ่ายงานแบบ FASFS และสามารถให้ค่าเวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงศูนย์เมื่อใช้ร่วมกับทุกกฎการจ่ายงาน แต่กลับพบว่ากฎ TWSIM ให้ค่าเวลาเสร็จก่อนกำหนดโดยเฉลี่ย (Mean Earliness) และค่าความเบี่ยงเบนของเวลาล่าช้าที่สูงมาก เมื่อใช้ร่วมกับกฎ LWKR เนื่องจากการที่กฎ LWKR ให้ค่าความแปรปรวนในเวลาการไหลของงานที่สูง อย่างไรก็ตามแล้วนั้นเอง

งานวิจัยของ Reeya and Rajendran (2000), Part 1 เป็นการศึกษาปัญหาการจัดลำดับการทำงานในสายการประกอบ โดยมุ่งพิจารณาประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานและเวลารอคอยการประกอบ หรือที่เรียกว่า Staging Delay รวมทั้งมีการนำเสนอกฎการจ่ายงานใหม่นั้นคือ OSD (Operation Synchronization Date) โดยเป็นกฎที่มุ่งเน้นการประสานสอดคล้องกันของเวลาเสร็จงานของแต่ละส่วนประกอบย่อยที่ต้องประกอบเข้าด้วยกัน เพื่อลดเวลาที่เรียกว่า Staging Delay ซึ่งทำการเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกฎการจ่ายงานที่พบว่าสามารถใช้งานได้ดีในสายการประกอบจากงานวิจัยที่ผ่านมาในอดีต โดยกำหนดให้แบบจำลองของระบบ ดำเนินการภายใต้ระดับการใช้งานที่ 85 และ 95% เพื่อทดสอบความไวของประสิทธิภาพที่ได้ เมื่อภาระงานเปลี่ยนไป โดยผลการทดลองพบว่ากฎ ECT-OSD และ OSD มีประสิทธิภาพในการปฏิบัติงานที่เหนือกว่า โดยเฉพาะทางด้านความเบี่ยงเบนมาตรฐานของระยะเวลาการไหลของงาน และ Staging Delay หลังจากนั้นในงานวิจัยของ Reeya and Rajendran (2000), Part 2 ได้ทำการศึกษาในลักษณะเดียวกัน เพียงแต่มุ่งเน้นการเปรียบเทียบประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงาน (Tardiness) และเวลาเสร็จก่อนกำหนด (Earliness) ซึ่งพบว่ากฎ JDD-ODD และ ODD ซึ่งเป็นกฎใหม่ที่เสนอขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ สามารถปฏิบัติงานได้ดีในทุกระดับการใช้งานของระบบ และในทุกโครงสร้าง

ผลิตภัณฑ์ รวมทั้งพบว่ากฎในการแก้ไขความเสมอภาค (Tie-Breaking) นั้นมีผลให้ประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานมีความแตกต่างกัน

จากงานวิจัยของ Reeja and Rajendran (2000) และ Mohanasundaram et al. (2002) ซึ่งทำการศึกษากฎการจ่ายงานรูปแบบต่างๆในระบบผลิตแบบสายการประกอบนั้น ได้ให้ข้อสรุปที่คล้ายกันเกี่ยวกับจำนวนเครื่องจักรที่เหมาะสมว่า ขนาดของระบบงาน (Shop Size) ไม่ได้เป็นปัจจัยที่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการกำหนดให้มีจำนวนเครื่องจักรที่มากกว่า 6 เครื่องนั้น ถือว่าเพียงพอในการให้ผลสรุปที่แน่นอนเกี่ยวกับประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานรูปแบบต่างๆได้ นอกจากนี้ในงานวิจัยทั้งสองฉบับ ได้กำหนดให้ระดับการใช้งานของเครื่องจักร (Machine Utilization) เป็นหนึ่งในปัจจัยที่ศึกษา โดยทำการทดลองที่ระดับการใช้งานของเครื่องจักรที่ต่างกันเพื่อทดสอบความไวของระบบเมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนไป

นอกจากนี้ ในงานวิจัยของ Mohanasundaram et al. (2002) ได้มีการนำเสนอกฎการจ่ายงานใหม่ได้แก่ กฎ ECT-FIFO และ LF-ECT เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับกฎที่พบว่าเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงาน และ Staging Time ที่ดีเมื่อสำรวจจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่กฎ LWKR-RRP และมีการนำเสนอกฎ JDD-FIFO และ LFD-JDD เพื่อเปรียบเทียบกับกฎที่ให้ประสิทธิภาพทางด้านเวลาต่ำซ้ำของงานที่ดีเมื่อสำรวจจากงานวิจัยที่ผ่านมา ได้แก่กฎ JDD-Random โดยผลการทดลองพบว่า ทั้งที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% ในทุกๆโครงสร้างผลิตภัณฑ์ กฎ LF-ECT ให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานที่ดีมาก และกฎ LFD-JDD ให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาต่ำซ้ำของงานที่ดีมากเช่นกัน

งานวิจัยของ Song, Hicks, and Earl (2002) เป็นการศึกษาวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบของงานในผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบสายการประกอบ โดยใช้ดัชนีวัดประสิทธิภาพตัวหนึ่ง คือ ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness, MAL) ซึ่งให้ความรุนแรงของการทำงานเสร็จก่อนกำหนด และการทำงานเสร็จล่าช้ากว่ากำหนดส่งมอบ เท่ากัน เช่นการเสียค่าปรับเมื่อส่งมอบงานช้ากว่ากำหนดที่ได้ตกลงกับลูกค้าไว้ หรือกรณีทำงานเสร็จเร็วกว่ากำหนดส่งมอบ ก็จะทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาและค่าใช้จ่ายในคลังสินค้าสำเร็จรูปขึ้น ดังนั้น การกำหนดเวลาส่งมอบที่มีประสิทธิภาพ คือการทำให้ค่าใช้จ่ายดังกล่าวนี้มีค่าน้อยที่สุด

งานวิจัยของ Bertrand and Wakker (2002) เป็นการศึกษาผลกระทบของกฎการจ่ายงานและค่าความเผื่อของเวลาการไหลของงาน ที่มีต่อประสิทธิภาพของเวลาส่งมอบในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งผลการวิจัยทำให้ได้ข้อสรุปบางประการเพิ่มเติมนั่นคือ การปล่อยงานทั้งหมดในคำสั่งซื้อ (Order) เดียวกันออกไปในเวลาเดียวกันจะนำไปสู่ประสิทธิภาพที่ดีที่สุดของระบบ อีกทั้งพบว่า เมื่อกำหนดให้ค่าความเผื่อของเวลาการไหลของงานมีค่าเท่ากับเวลาการรอคอยโดยเฉลี่ยของการดำเนินงาน จะทำให้ระบบเกิดแนวโน้มที่จะมีเวลาสายของงานเป็นศูนย์

งานวิจัยของ Azizoglu (2003) ศึกษาปัญหาการจัดตารางในระบบการผลิตที่เครื่องจักรมีการดำเนินงานแบบขนาน (Parallel Machines) โดยเพิ่มเงื่อนไขทางด้านการทำงาน นั่นคือการทำงานที่ถึงกำหนดเวลาส่งมอบงานแล้วสามารถแทรกงานอื่นได้ และให้ถือว่าการแทรกงานนั้นไม่กระทบต่อต้นทุนการผลิตเลย โดยเป้าหมายของการจัดตารางอยู่ที่การทำให้เวลาเสร็จสิ้นของงานมีค่าน้อยที่สุด

2.6 สรุป

ระบบผลิตแบบสายการประกอบ เป็นระบบการผลิตซึ่งประกอบไปด้วยหน่วยการผลิตต่างๆที่เรียกว่า สถานีงาน (Work Station) ในระบบสายการประกอบแบบต่อเนื่อง ชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ที่จะทำการประกอบจะเคลื่อนย้ายมาตามสถานีงานต่างๆ จนกระทั่งเข้าสู่ขั้นตอนการประกอบ ถือเป็นระบบการผลิตที่มีการดำเนินงานทั้งแบบอนุกรมและแบบขนาน (Serial-Parallel Operations) ทำให้ปัญหาการจัดตารางมีความยุ่งยากและซับซ้อน ทั้งในด้านของการจัดลำดับการทำงานและการกำหนดเวลาส่งมอบ ส่งผลให้การศึกษาระบบการทำงานหรือการเปลี่ยนแปลงเงื่อนไขการทำงานต่างๆในระบบการผลิตแบบสายการประกอบนั้น นิยมใช้การจำลองแบบปัญหาทางคอมพิวเตอร์ (Computer Simulation) ซึ่งเป็นวิธีการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ โดยการออกแบบแบบจำลองของระบบงานจริง แล้วใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานหรือเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆในการดำเนินงานของระบบ ภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้เพื่อเป็นแนวทางในการปรับปรุงการดำเนินงานจริงต่อไป

บทที่ 3

การจำลองแบบปัญหา

3.1 บทนำ

การจำลองแบบปัญหา (Simulation) เป็นกระบวนการหนึ่งซึ่งใช้ในกระบวนการแก้ปัญหาในด้านต่างๆ โดยการออกแบบแบบจำลอง (Model) ของระบบงานจริง (Real System) แล้วดำเนินการทดลองใช้แบบจำลองนั้นเพื่อการเรียนรู้พฤติกรรมของระบบงานจริง รวมทั้งเพื่อประเมินผลการใช้กลยุทธ์ต่างๆ ในการดำเนินงานของระบบภายใต้ข้อกำหนดที่วางไว้

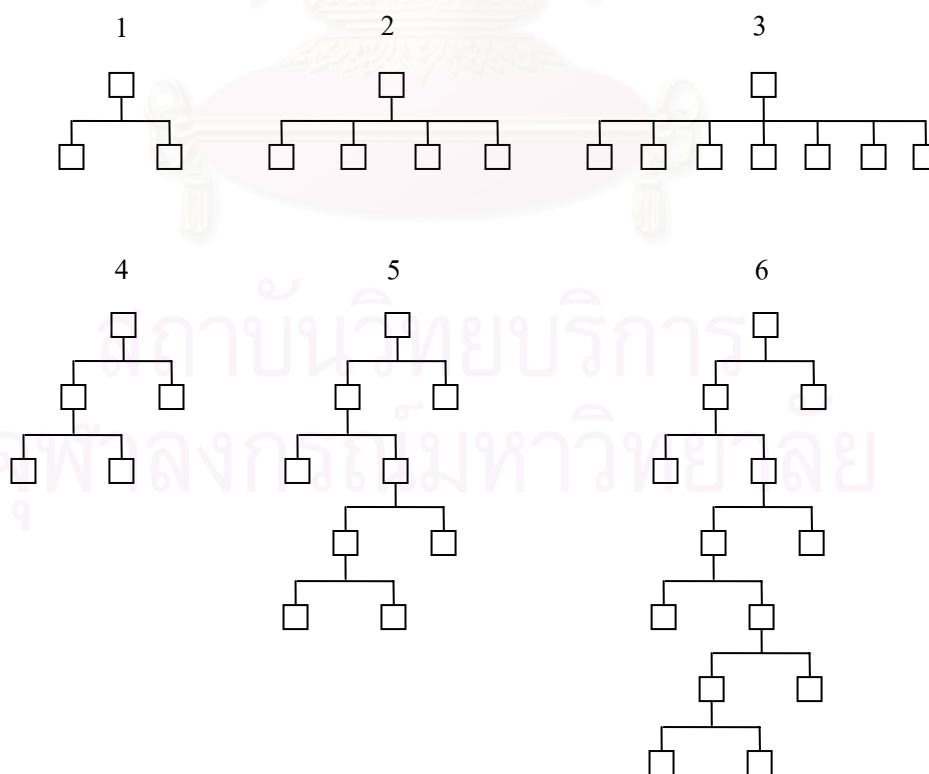
ดังนั้นกระบวนการจำลองแบบปัญหาจึงแบ่งออกเป็นสองส่วนคือ การสร้างแบบจำลอง และการนำแบบจำลองนั้นมาใช้ในงานวิเคราะห์ แบบจำลองที่ดีนั้นต้องสามารถช่วยให้เข้าใจระบบงานจริงเพื่อประโยชน์ในการอธิบายพฤติกรรมและเพื่อปรับปรุงการดำเนินงานของระบบงานจริงได้

การจำลองแบบปัญหา ปัจจุบันได้รับความสนใจและตื่นตัวในการนำมาใช้แก้ปัญหาในสาขาอาชีพต่างๆอย่างแพร่หลาย เป็นผลเนื่องมาจากความเจริญก้าวหน้าทางคอมพิวเตอร์ ซึ่งถึงแม้ว่าการจำลองแบบปัญหานั้นจะมีประโยชน์อย่างมาก แต่ก็ถือว่ายังมีข้อจำกัดอยู่ นั่นคือความถูกต้องของแบบจำลอง เนื่องจากแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นไม่สามารถที่จะสร้างให้เหมือนกับระบบจริงทุกประการได้ จำเป็นต้องมีรายละเอียดบางอย่างของระบบถูกตัดออกไปบ้าง แต่ระบบจริงกับระบบที่จำลองขึ้นนั้นจะมีความเหมือนกันทางด้านสถิติ ทำให้สามารถยอมรับรายละเอียดที่ตัดออกไปได้ ดังนั้นการจำลองแบบปัญหาจึงใช้เพื่อการศึกษาระบบ ไม่ใช่เพื่อการหาคำตอบที่ดีที่สุดของระบบ และสิ่งที่ต้องยอมรับคือการจำลองแบบปัญหาเป็นการเก็บข้อมูลในอดีต ดังนั้นการวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาจะมีความคลาดเคลื่อนได้บ้างจากระบบจริง ดังนั้นผู้วิเคราะห์จะต้องมีความเข้าใจในระบบและสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อระบบด้วยเป็นอย่างดี จึงจะสามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบจริง (ศิริจันทร์, 2537)

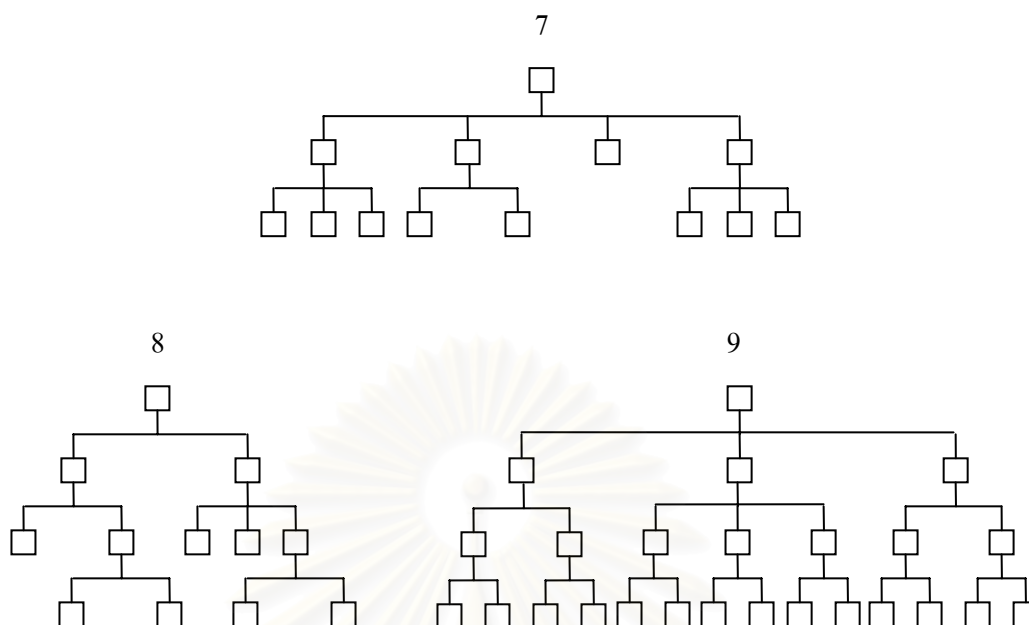
3.2 โครงสร้างผลิตภัณฑ์

โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Product Structure) ที่กำหนดขึ้นในงานวิจัยครั้งนี้ ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Fry et al.(1989), Philipoom et al.(1991), และ Roman and Valle (1996) ซึ่งกำหนดให้เป็นผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากการประกอบ โดยแบ่งออกเป็น 3 กลุ่มเพื่อให้ครอบคลุมทุกประเภทของผลิตภัณฑ์ อันได้แก่ โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure), โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure), และโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยโครงสร้างแต่ละกลุ่มนั้นประกอบไปด้วยรูปแบบของรายการวัสดุ (Bill of Materials, BOMs) 3 รูปแบบ ซึ่งหมายความว่ามีการสร้างของผลิตภัณฑ์ที่ศึกษาในงานวิจัยนี้รวมเป็น 9 รูปแบบที่แตกต่างกัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

1. โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) มีระดับของการประกอบเพียงแค่ 1 ระดับ ที่ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ถึง 7 ส่วน อันได้แก่โครงสร้างที่ 1 ถึง 3 ในรูปที่ 3-1
2. โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) มีระดับของการประกอบ 2 ถึง 6 ระดับ โดยในแต่ละระดับ ประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ส่วน อันได้แก่โครงสร้างที่ 4 ถึง 6 ในรูปที่ 3-1
3. โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) มีระดับของการประกอบ 2 ถึง 3 ระดับ โดยในแต่ละระดับประกอบไปด้วยส่วนประกอบ 2 ถึง 3 ส่วน ได้แก่โครงสร้างที่ 7 ถึง 9 ในรูปที่ 3-1



รูปที่ 3-1 โครงสร้างของรูปแบบรายการวัสดุ (BOMs)

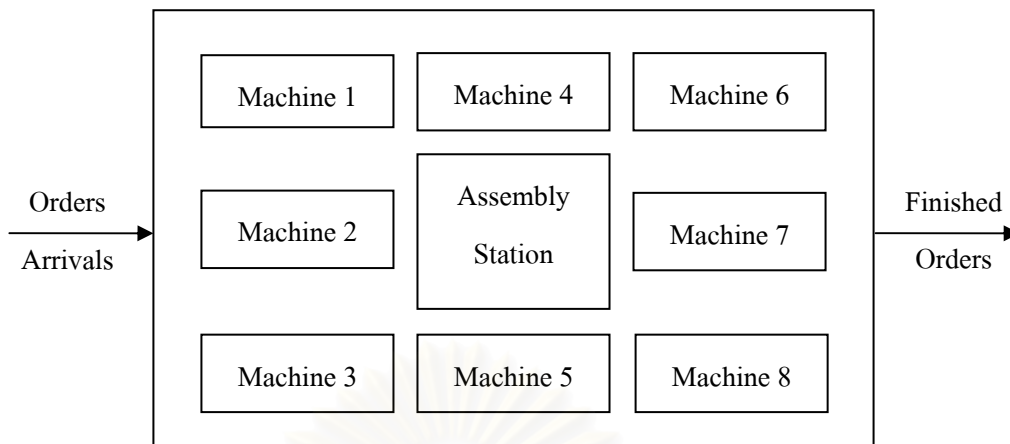


รูปที่ 3-1 (ต่อ) โครงสร้างของรูปแบบรายการวัสดุ (BOMs)

จำนวนการดำเนินงาน (Number of Operations) ที่ต้องการในการผลิตแต่ละส่วนประกอบ กำหนดให้มีการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (Uniformly Distribution) ระหว่าง 1 ถึง 4 โดยที่เส้นทางงาน (Routing) ของแต่ละส่วนประกอบ กำหนดให้มีการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์มเช่นกัน นั่นคือให้แต่ละเครื่องจักรมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกเท่ากัน โดยต้องอยู่ภายใต้สมมติฐานที่กำหนดให้ นั่นคือการดำเนินงานที่ต่อเนื่องกันบนงานเดียวกันไม่สามารถทำซ้ำบนเครื่องจักรเดิมได้

3.3 แบบจำลองของระบบผลิตแบบสายการประกอบ

แบบจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Assembly Shop Model) ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ ดัดแปลงมาจากงานวิจัยของ Philipoom et al.(1991), Roman and Valle (1996), และ Reeja and Rajendran (2000) โดยกำหนดให้ระบบประกอบด้วยสถานีงาน (Work Stations) 8 สถานี แต่ละสถานีงานประกอบด้วยเครื่องจักร (Machine) 1 เครื่อง กำหนดให้มีสถานีการประกอบ (Assembly Station) 1 สถานี ดังรูปที่ 3-2

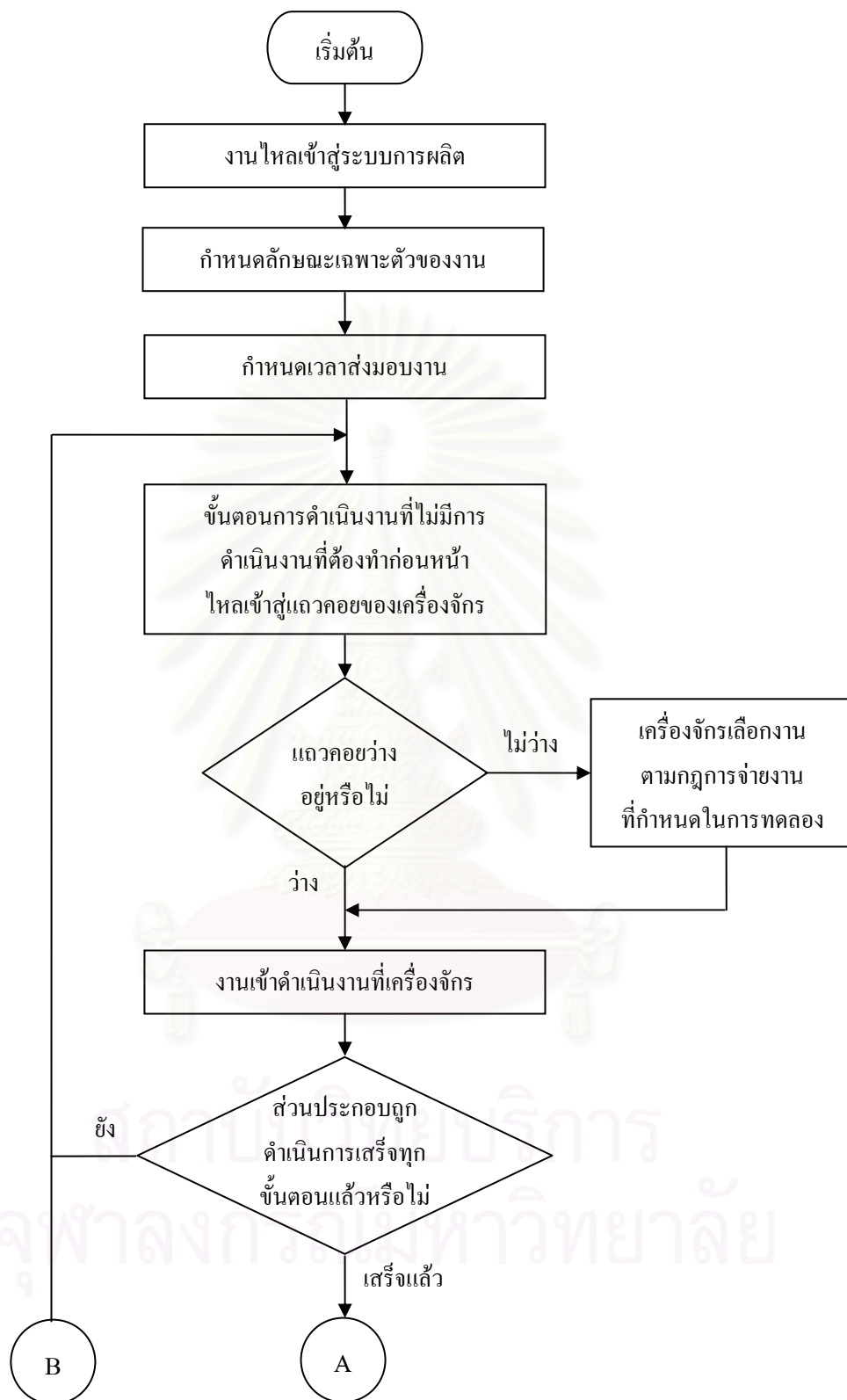


รูปที่ 3-2 แบบจำลองของระบบผลิตแบบสายการประกอบ

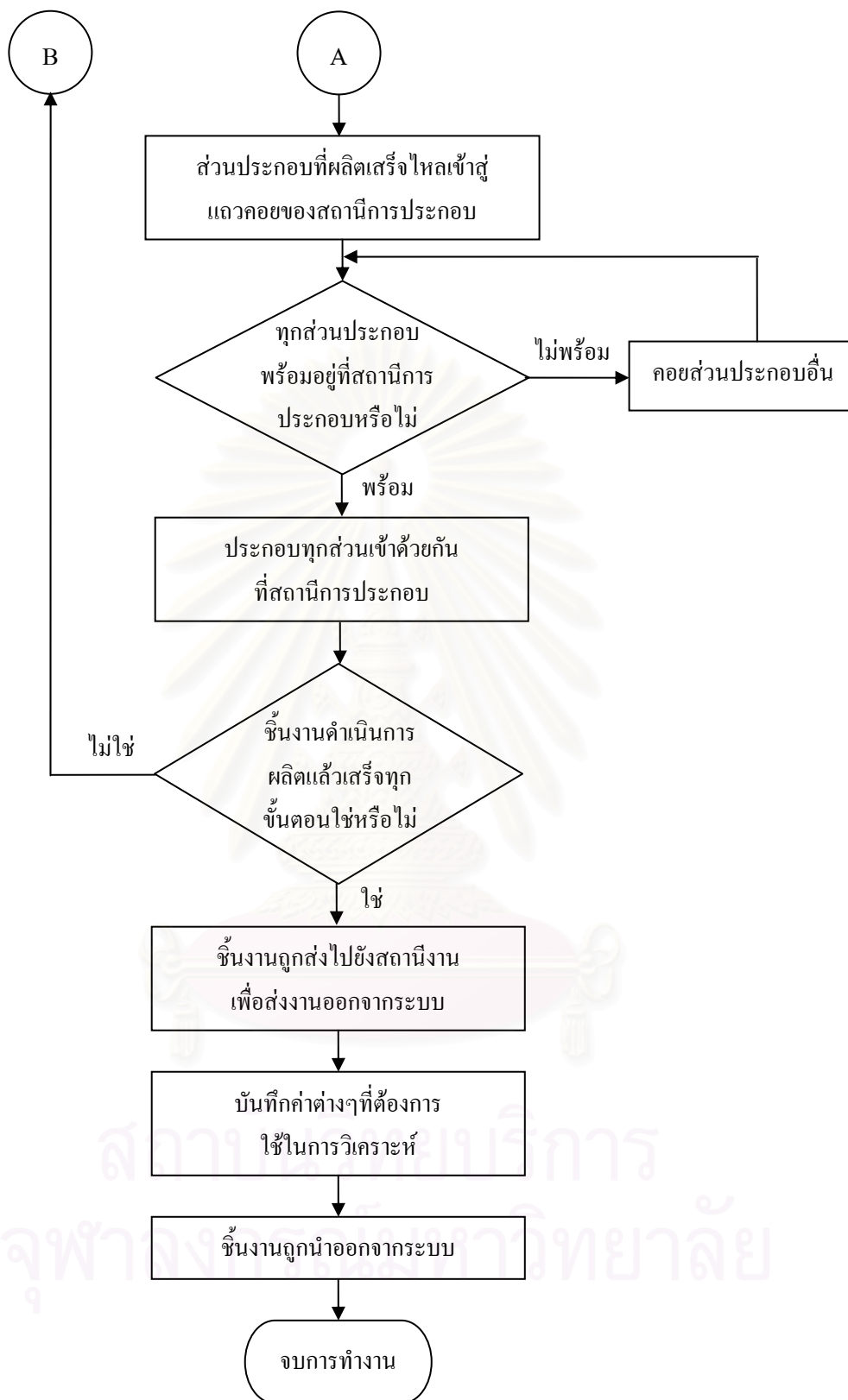
งานเข้ามาในระบบ ด้วยเวลาระหว่างการมา (Interarrival Times) ที่มีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) ด้วยค่าเฉลี่ยที่ถูกกำหนดให้เป็นไปตามระดับการใช้งานของระบบที่ 80% และ 90% จากนั้นงานจะถูกกำหนดให้เป็น 1 ใน 3 รูปแบบของรายการวัสดุ (BOMs) ด้วยความน่าจะเป็นที่เท่ากันในแต่ละรูปแบบ กำหนดให้เวลาการดำเนินงานของแต่ละเครื่องจักรต่อ 1 การดำเนินงาน มีการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ที่มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 15 นาที และมีความเบี่ยงเบนมาตรฐานเท่ากับ 3 นาที ซึ่งจากงานวิจัยที่ผ่านมาทำให้พบว่าการกระจายตัวแบบปกติ นั้น ถือว่ามีความเหมาะสมมากที่สุดสำหรับแทนเวลาการดำเนินงานของเครื่องจักร กำหนดให้เวลาการประกอบที่สถานีการประกอบมีค่าเป็นศูนย์ นั่นหมายความว่าเมื่อส่วนประกอบทั้งหมดที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันเสร็จสิ้นแล้ว งานก็สามารถผ่านไปสู่อันดับต่อไปได้ทันที และถือว่าสถานีการประกอบมีความยืดหยุ่นสูง นั่นคือทุกกิจกรรมการประกอบที่เกิดขึ้นสามารถดำเนินงานบนสถานีการประกอบเดียวกันนี้ได้ทั้งหมด

เมื่อการดำเนินงานทั้งหมดของส่วนประกอบหนึ่งเสร็จสิ้น ส่วนประกอบนั้นจะถูกส่งไปยังสถานีการประกอบ ซึ่งหากส่วนประกอบทั้งหมดที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันมีความพร้อมที่สถานีการประกอบแล้ว กิจกรรมการประกอบก็จะสามารถดำเนินการได้ทันที แต่หากบางส่วนประกอบที่ต้องประกอบเข้าด้วยกัน ยังไม่พร้อมที่สถานีการประกอบ หรือยังไม่เสร็จสิ้นแล้ว ส่วนประกอบที่เสร็จสิ้นก่อนจะเข้าสู่แถวคอยของสถานีการประกอบ และคอยจนกระทั่งส่วนประกอบทั้งหมดที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันเสร็จสิ้น โดยที่พื้นที่ในแถวคอยถูกสมมติให้มีไม่จำกัด

กำหนดให้องค์ประกอบและขั้นตอนการดำเนินงานของระบบ แสดงในรูปที่ 3-3



รูปที่ 3-3 แผนภาพแสดงการไหลของงานในระบบ



รูปที่ 3-3 (ต่อ) แผนภาพแสดงการไหลของงานในระบบ

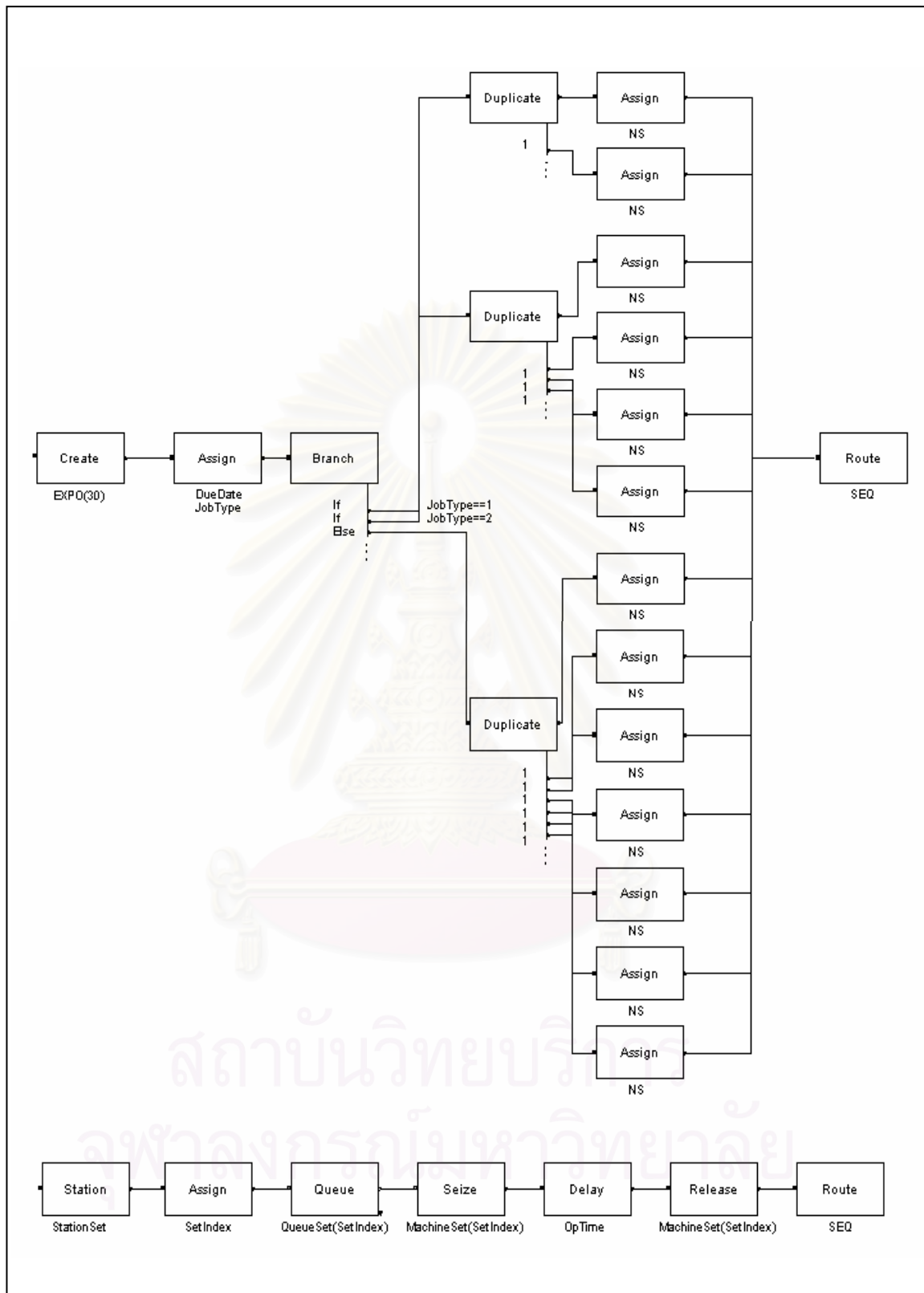
จากรูปที่ 3-3 สามารถอธิบายขั้นตอนการดำเนินงานของระบบได้ ดังนี้

1. กำหนดให้งานไหลเข้าสู่ระบบการผลิต
2. กำหนดค่าต่างๆที่เป็นลักษณะเฉพาะตัวของงาน เช่น รูปแบบของรายการวัสดุ (BOMs) และกำหนดเวลาส่งมอบงาน ให้เป็นไปตามกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบที่กำหนด
3. ขั้นตอนการดำเนินงานที่ไม่มีการดำเนินงานที่ต้องทำก่อนหน้า สามารถเข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักรตามที่กำหนดไว้
4. หากงานหนึ่งไหลเข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักรใดที่ว่างอยู่ งานนั้นสามารถเข้าดำเนินงานที่เครื่องจักรได้เลย
5. หากงานหนึ่งไหลเข้าสู่แถวคอยของเครื่องจักรใดที่มีงานหนึ่งกำลังดำเนินงานอยู่ งานที่ไหลเข้ามานั้นจะได้รับลำดับความสำคัญให้เข้ารับบริการในลำดับถัดไป
6. ในกรณีที่ม้งานตั้งแต่สองงานขึ้นไป คอยรับบริการอยู่ในแถวคอยของเครื่องจักรเครื่องเดียวกันแล้ว ลำดับความสำคัญที่จะให้กับแต่ละงานที่คอยอยู่นั้นจะเป็นไปตามหลักการของกฎการจ่ายงานที่กำหนดในการทดลอง
7. เมื่อการดำเนินงานทั้งหมดของส่วนประกอบหนึ่งเสร็จสิ้น ส่วนประกอบนั้นจะถูกส่งไปยังแถวคอยของสถานีการประกอบ
8. หากส่วนประกอบทั้งหมดที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันมีความพร้อมอยู่ที่แถวคอยของสถานีการประกอบแล้ว กิจกรรมการประกอบก็จะสามารถดำเนินการได้ทันที และผ่านเข้าสู่ขั้นตอนการดำเนินงานต่อไปได้เลย
9. ในกรณีที่บางส่วนประกอบที่ต้องประกอบเข้าด้วยกัน ยังไม่พร้อมอยู่ที่แถวคอยของสถานีการประกอบ ส่วนประกอบที่เสร็จสิ้นก่อนที่เข้าสู่แถวคอยของสถานีการประกอบ จะคอยจนกระทั่งส่วนประกอบทั้งหมดที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันเสร็จสิ้น
10. ในกรณีที่ชิ้นงานดำเนินงานเสร็จทุกขั้นตอนแล้ว ชิ้นงานจะถูกขนส่งไปยังสถานีงานเพื่อส่งงานออกจากระบบ
11. ระบบจะบันทึกค่าต่างๆที่ต้องการ เพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์
12. ชิ้นงานจะถูกนำออกจากระบบ

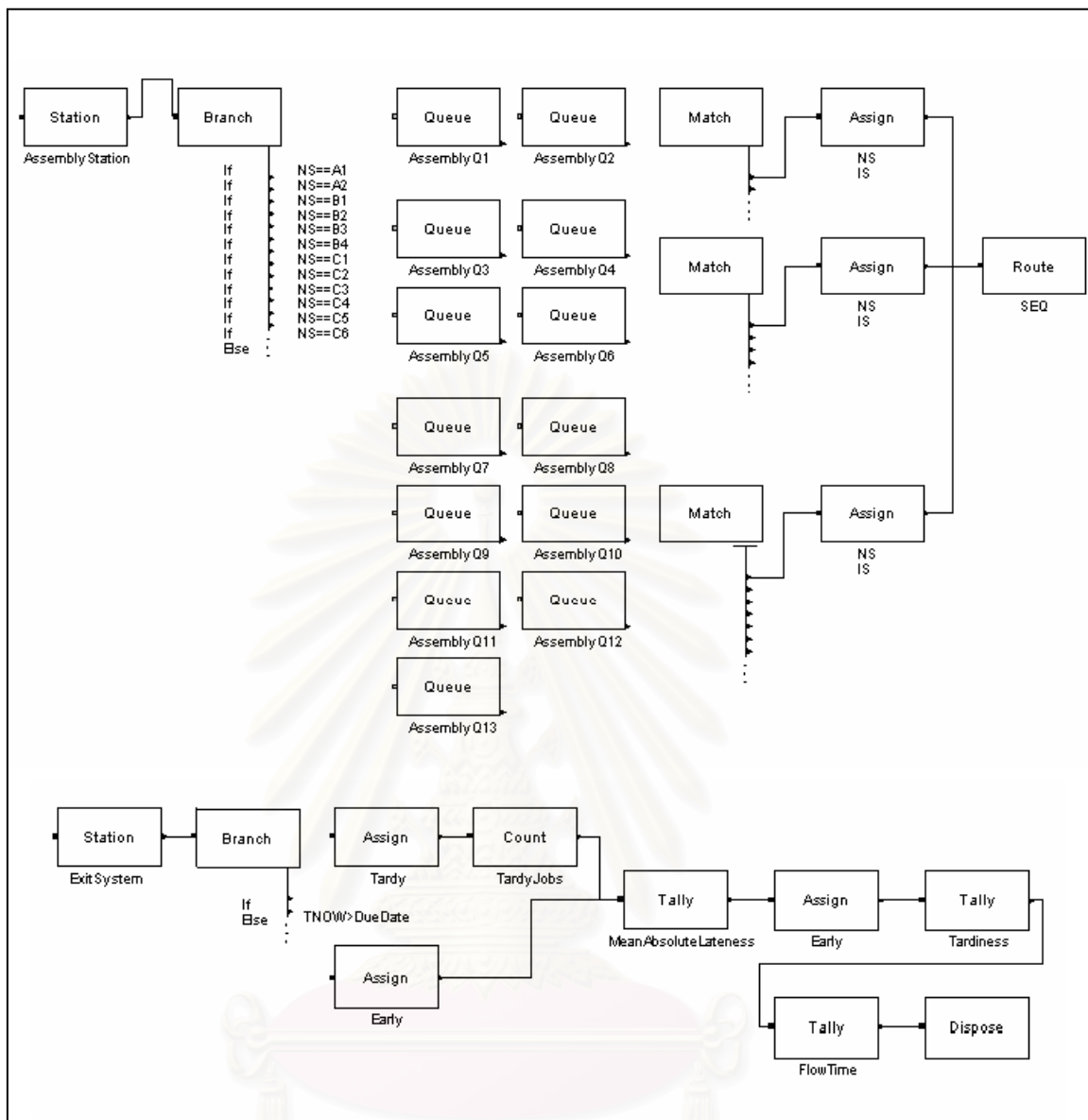
3.4 การสร้างแบบจำลอง

แบบจำลอง หมายถึง ตัวแทนของวัตถุ ระบบ หรือแนวคิดลักษณะใดลักษณะหนึ่งที่สร้างขึ้น เพื่อใช้ศึกษาแทนระบบงานจริง โดยการสร้างแบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ในงานวิจัยครั้งนี้ ดำเนินการโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ARENA Version 5.01 ซึ่งประกอบไปด้วยส่วนประกอบสำคัญ 2 ส่วนคือ Model และ Experiment โดยแบบจำลองทั้งสองส่วนจะทำงานร่วมกัน มีรายละเอียด ดังนี้

- Model จะเป็นส่วนที่ใช้อธิบายส่วนประกอบของระบบที่ทำการศึกษา รวมทั้งใช้อธิบายความสัมพันธ์ของขั้นตอนต่างๆของระบบ โดยคำสั่งต่างๆจะอยู่ในรูปของ Block Diagram ซึ่งแสดงการไหลของชิ้นงาน หรือ Entity ที่เคลื่อนที่ในระบบอย่างเป็นลำดับขั้นตอนตามที่กำหนด ดังตัวอย่างในรูปที่ 3-4 ซึ่งเป็นตัวอย่างของแบบจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบที่ใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานในการทำการทดลอง นั่นคือ ใ้การจ่ายงานเป็นไปตามกฎ First Come First Served (FCFS) และกำหนดเวลาส่งมอบเป็นไปตามกฎ Constant (CON) โดยเป็นระบบที่ทำการผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน
- Experiment เป็นส่วนในการกำหนดเงื่อนไขต่างๆของการสร้างแบบจำลอง เช่นกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ รวมถึงกำหนดระยะเวลาในการทำการทดลอง โดยเป็นการกำหนดในส่วน Element ของโปรแกรม ดังแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3-5



รูปที่ 3-4 ตัวอย่าง Block Diagram ของแบบจำลองพื้นฐาน ในโปรแกรม ARENA



รูปที่ 3-4 (ต่อ) ตัวอย่าง Block Diagram ของแบบจำลองพื้นฐาน ในโปรแกรม ARENA

สถาบันวิจัยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

| Project | Attributes | Queues | Resources | Stations | Sequences | Tallies | Counters |
|--|---|---|--|---|--|---|-----------|
| DistP-FCFS,DD-CON#Flat | ArrivalTime OpTime DueDate SetIndex Tardy JobType Early | MC1Q MC2Q MC3Q MC4Q MC5Q MC6Q MC7U MC8Q Assembly Q1 Assembly Q2 Assembly Q3 Assembly Q4 Assembly Q5 Assembly Q6 Assembly Q7 Assembly Q8 Assembly Q9 Assembly Q10 Assembly Q11 Assembly Q12 Assembly U13 | Machine1 Machine2 Machine3 Machine4 Machine5 Machine6 Machine7 Machine8 | MC1 MC2 MC3 MC4 MC5 MC6 MC7 MC8 Assembly Station Exit System | A1 A2 JobA B1 B2 B3 B4 JobB C1 C2 C3 C4 C5 U6 C7 JobC | FlowTime Tardiness MeanAbsoluteLateness | TardyJobs |
| DStats | | | | | | | |
| | | | | | | Sets | Replicate |
| NR(Machine1)*100 NR(Machine2)*100 NR(Machine3)*100 NR(Machine4)*100 NR(Machine5)*100 NR(Machine6)*100 NR(Machine7)*100 NR(Machine8)*100 | | | | | | Queue Set Station Set Machine Set | 400000 |

รูปที่ 3-5 ตัวอย่าง Element ของแบบจำลองพื้นฐาน ในโปรแกรม ARENA

3.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

หลังจากทำการสร้างแบบจำลองในแต่ละรูปแบบเรียบร้อยแล้ว จะต้องมีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมานั้นเป็นไปตามระบบที่ออกแบบไว้หรือไม่ และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นจะเป็นผลที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง โดยคำสั่งในโปรแกรม ARENA ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

- Step Command เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงการไหลที่ละขั้นตอนของชิ้นงานที่ผ่าน Block ต่างๆ ในแบบจำลอง โดยจะเป็นไปตามลำดับของการสร้าง Block ซึ่งในการใช้คำสั่ง Step 1 ครั้ง โปรแกรมจะแสดงเวลาที่ชิ้นงานไหลผ่าน Block นั้น ทำให้สามารถตรวจสอบขั้นตอนการทำงานของแบบจำลองได้อย่างละเอียด แสดงดังรูปที่ 3-6
- Go Command เป็นคำสั่งที่ใช้ตรวจสอบแบบจำลองในบางช่วงเวลา โดยการใช้คำสั่ง Go Until แล้วตามด้วยเวลาที่ต้องการ โปรแกรมจะรันโปรแกรมผ่านช่วงเวลาที่ไม่ต้องการ แล้วหยุดในเวลาที่ต้องการ หลังจากนั้นสามารถใช้คำสั่ง Step ในการตรวจสอบต่อไปได้ ทำให้การตรวจสอบแบบจำลองทำได้สะดวกและรวดเร็ว แสดงดังรูปที่ 3-6

```

0.0>st
SIMAN Run Controller.

* 1 0$ CREATE,1:EXPO(30):MARK(ArrivalTime):NEXT(1$);

0.0>st
* 2 1$ ASSIGN:
    DueDate=ArrivalTime+4800:
    JobType=DISC(1/3,1,2/3,2,1.0,3);

0.0>go until 2000
Break at time: 2000.0

2000.0>st
SIMAN Run Controller.

* 26 11$ RELEASE:MachineSet(SetIndex),1;

```

รูปที่ 3-6 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Step และ Go

- Set และ Cancel Command โดยคำสั่ง Set เป็นการกำหนดให้โปรแกรมทำตามเงื่อนไขที่กำหนด ส่วนคำสั่ง Cancel นั้นเป็นการใช้เพื่อยกเลิกคำสั่ง Set โดยประกอบด้วยคำสั่งที่ใช้ในการตรวจสอบความถูกต้องในงานวิจัยครั้งนี้ ดังนี้
- Set Break ใช้ในการกำหนดจุดหยุดชั่วคราว ณ Block ที่กำหนด เพื่อตรวจสอบสถานะหรือการทำงานของชิ้นงานที่ Block นั้น แสดงดังรูปที่ 3-7

```

0.0>set break 2
*** Break set on block 2

0.0>go

Break on current block.
* 2 1$ ASSIGN:
    DueDate=ArrivalTime+4800:
    JobType=DISC(1/3,1,2/3,2,1.0,3);

0.0>st

* 3 23$ BRANCH,1:
    If,JobType==1,2$,Yes:
    If,JobType==2,24$,Yes:
    Else,29$,Yes;

0.0>go until 2000

Break on current block.
* 2 1$ ASSIGN:
    DueDate=ArrivalTime+4800:
    JobType=DISC(1/3,1,2/3,2,1.0,3);

10.384568>cancel break 2
*** Break cancelled on block 2

```

รูปที่ 3-7 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Break และ Cancel Break

- Set Trace โดยคำสั่ง Set Trace 1 ครั้ง จะแสดง Block ทั้งหมดที่ขึ้นงานหนึ่งๆไหลผ่าน ซึ่งแสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3-8

```

0.0>set trace entity 2
*** Trace set on entity 2

0.0>go
Time: 0 Entity: 2
  1 0¢          CREATE          ArrivalTime set to 0.0
                                   Next creation scheduled at time 10.384568
                                   Batch of 1 entities created
  2 1¢          ASSIGN          DueDate set to 4800.0
                                   JobType set to 2.0
  3 23¢        BRANCH          Selecting at most 1 of 3 branches
                                   IF: Branch not selected
                                   IF: Entity 2 sent to 24¢
  8 24¢        DUPLICATE       Send 1 duplicate(s) to 26¢
                                   Entity 4 created
                                   Send 1 duplicate(s) to 27¢
                                   Entity 5 created
                                   Send 1 duplicate(s) to 28¢
                                   Entity 6 created
  9 25¢        ASSIGN          Entity Sequence set to 4
                                   Entity transferred to block 5¢
  6 5¢         ROUTE           Entity Job Step set to 1
                                   OpTime set to 12.850108
                                   To arrive at station MC3 at time 0.0
                                   Entity transferred to block 6¢
.
.
.
51 NonTardy    COUNT          Counter No.of Jobs incremented by 1 to 1
52 18¢         TALLY          Tally FlowTime recorded 129.05338
53 22¢         DISPOSE        Disposing entity 2

```

รูปที่ 3-8 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Trace

- Set Watch ใช้สำหรับตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรหรือเงื่อนไขต่างๆที่ต้องการ โดยโปรแกรมจะหยุดการทำงานชั่วคราวเมื่อเงื่อนไขที่กำหนดมีค่าเปลี่ยนไป จึงสามารถตรวจสอบค่าต่างๆที่ต้องการได้ แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3-9

```

341.81821>set watch nq(MC3Q)

Set Watch Expression:
Expr# Stop Entity Value Expression
  1    Y          0.0    nq(MC3Q)

341.81821>go
*** nq(MC3Q)
    Changed value at time 341.81821
    Old value = 0.0      New value = 1.0

341.81821>go
*** nq(MC3Q)
    Changed value at time 342.30468
    Old value = 1.0      New value = 2.0

342.30468>cancel watch nq(MC3Q)
*** 1 watch expressions cancelled.

```

รูปที่ 3-9 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Set Watch และ Cancel Watch

- Show Command เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงค่าของตัวแปรหรือเงื่อนไขต่างๆ ณ เวลานั้นๆ
- View Command เป็นคำสั่งที่ใช้แสดงค่าของตัวแปรหรือเงื่อนไขต่างๆ เช่นเดียวกับคำสั่ง Show แต่สามารถแสดงรายละเอียดของข้อมูลได้มากกว่า ทำให้สามารถตรวจสอบข้อมูลด้านต่างๆของชิ้นงาน ณ เวลานั้นๆได้ละเอียดยิ่งขึ้น โดยคำสั่ง Show และ View แสดงตัวอย่างดังรูปที่ 3-10

```

500.0>show jobtype
  jobtype =          3

500.0>show duedate
  duedate =    5141.8182

500.0>show nq(MC3Q)
  nq(MC3Q) =          3

500.0>view count

                                COUNTERS

  Identifier                      Count  Limit
  -----
  TardyJobs                        0  Infinite
  No.of Jobs                       6  Infinite

```

รูปที่ 3-10 ตัวอย่างการใช้คำสั่ง Show Command และ View Command

3.6 การวางแผนการใช้งานแบบจำลอง

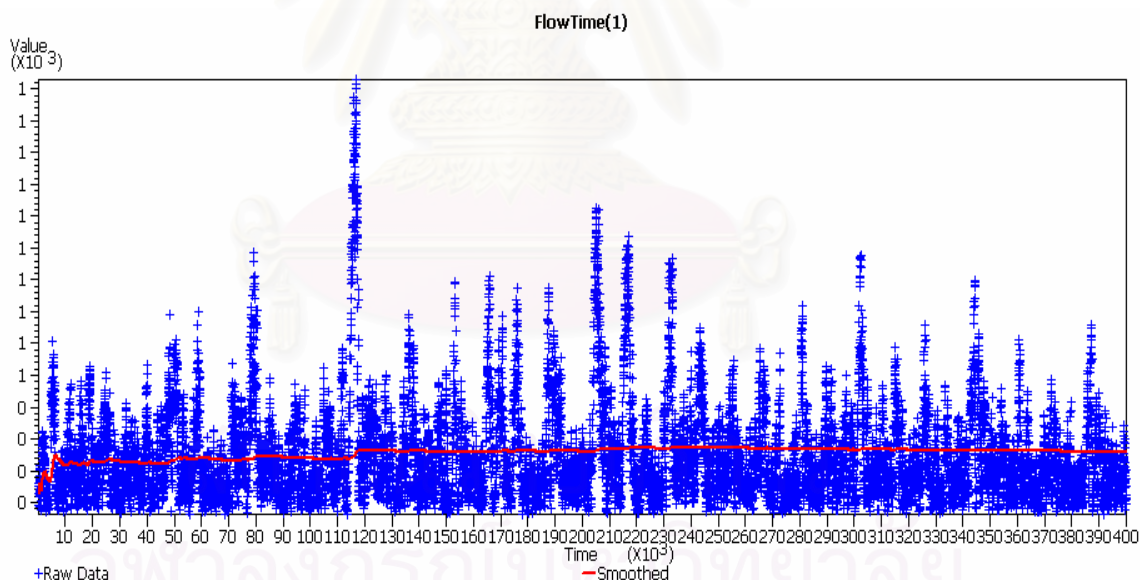
ในส่วนนี้เป็นการวางแผนการใช้งานแบบจำลอง เพื่อให้ได้สถานะที่เหมาะสมในการทดลอง รวมทั้งจำนวนข้อมูลเพียงพอสำหรับการวิเคราะห์ผล ด้วยระดับความเชื่อมั่นที่เหมาะสม หรือ เพื่อให้ได้ความมีนัยสำคัญทางสถิติที่ยอมรับได้

ระบบที่ทำการทดลองในครั้งนี้เป็นระบบที่ทำการผลิตในช่วงเวลาทำงานของแต่ละวัน โดยงานระหว่างกระบวนการ (Work in Process) ทั้งหมดที่ค้างอยู่ในระบบเมื่อสิ้นสุดเวลาทำงานของแต่ละวัน จะถูกโอนไปทำต่อในวันถัดไป เป็นเช่นนี้ไปเรื่อยๆ โดยให้ถือว่าการทำงานตอนต้นวันนั้น ไม่มีการหน่วงเวลา (Delay) หรือความผิดปกติใดๆเกิดขึ้น จึงถือเป็นระบบที่มีลักษณะเป็นแบบ Non-Terminating System นั่นคือเป็นระบบที่ไม่สามารถกำหนดจุดสิ้นสุดของการทำงานได้ ซึ่งระบบในลักษณะนี้จำเป็นต้องดำเนินการหาจำนวนการทดลองที่เหมาะสม เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่ต้องการ โดยการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) กับแบบจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบที่ใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานในการทำการทดลอง นั่นคือ ให้การจ่ายงานเป็นไปตามกฎ First Come First Served (FCFS) และกำหนดเวลาส่งมอบเป็นไปตามกฎ Constant (CON) โดยทำการทดลองที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% โดยกำหนดให้ค่าเฉลี่ย (Mean) ของเวลาระหว่างการ

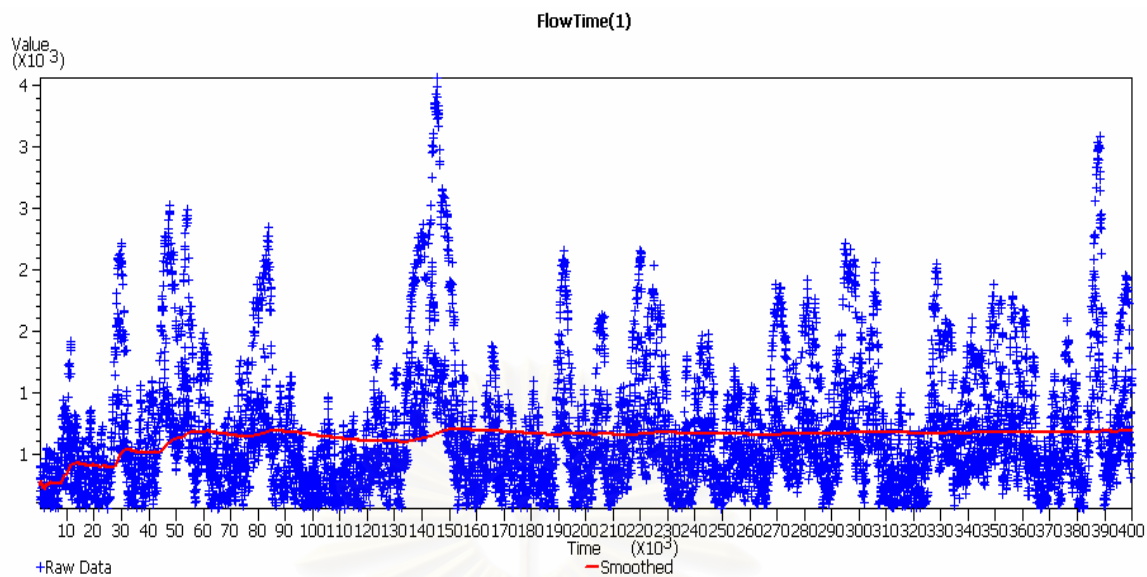
มา (Interarrival Times) เป็นไปตามตารางที่ 4-1 ในบทที่ 4 ซึ่งการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) นั้นมีรายละเอียด ดังนี้

3.6.1 การหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State)

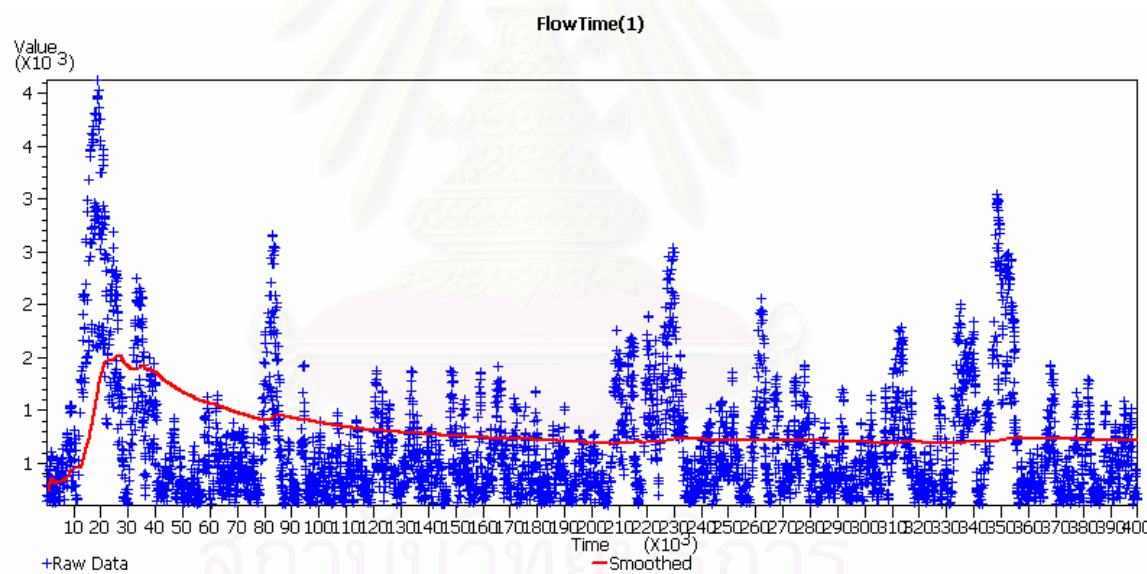
เนื่องจากการทดลองช่วงแรกอาจมีการแกว่งของข้อมูล ทำให้ประสิทธิภาพของการทำงานยังไม่เต็มที่ จึงไม่ควรนำผลการทดลองช่วงแรกมาทำการวิเคราะห์ เพราะอาจทำให้สรุปผลผิดพลาดได้ วิธีการในการหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวในที่นี้ คือการนำข้อมูลเวลาการไหลของงาน (Flow Time) มาหา Moving Average แบบ Cumulative โดยทำการทดลองทั้งในระบบที่ทำการผลิตชิ้นงานแบบแบน แบบสูง และแบบสมบรูณ์ ซึ่งพบว่าในการทำการทดลองเบื้องต้นโดยใช้เวลาในการรันเท่ากับ 400,000 นาที จะได้จำนวนข้อมูลสำหรับระบบที่ทำการผลิตชิ้นงานแบบแบน แบบสูง และแบบสมบรูณ์ เท่ากับ 13,245, 9,324, และ 4,912 ข้อมูล ตามลำดับ โดยผลจากการทำ Moving Average ของระบบทั้งสามแบบ พบว่าจุดที่ทำให้ระบบเริ่มเข้าสู่สภาวะคงตัวที่มีค่ามากที่สุดอยู่ที่แบบจำลองของระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง โดยมีค่าประมาณ 160,000 นาที นั่นหมายความว่าช่วง Warm-Up Period คือ 160,000 นาที แสดงดังรูปที่ 3-11 ถึง 3-13



รูปที่ 3-11 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน



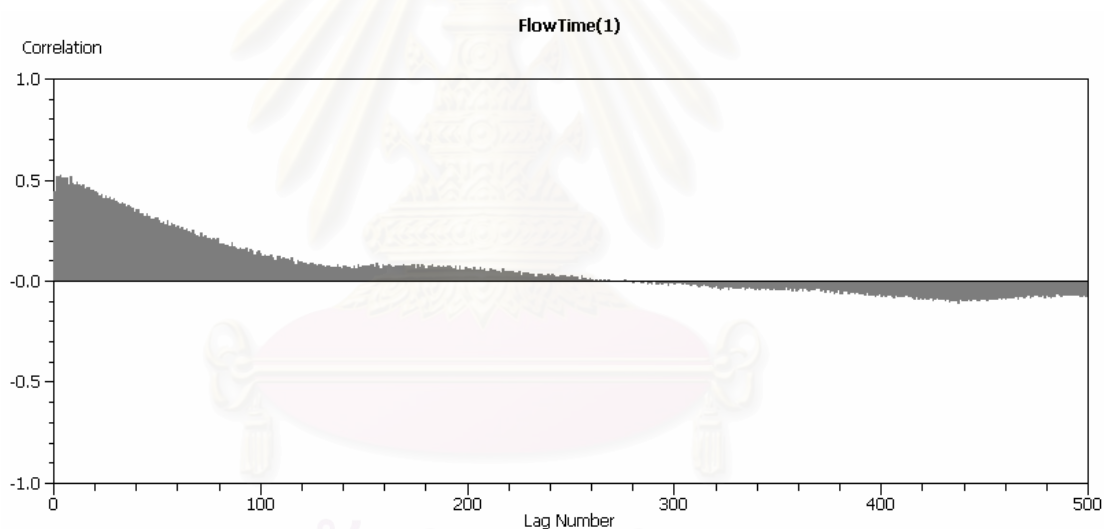
รูปที่ 3-12 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง



รูปที่ 3-13 กราฟ Moving Average ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน

3.6.2 การหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมต่อการรัน 1 ครั้ง

การหาจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมต่อการรัน 1 ครั้ง เพื่อให้ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองแต่ละครั้งมีความเป็นอิสระต่อกัน ทำได้โดยการนำข้อมูลเวลาการไหลของงาน (Flow Time) มาพล็อตกราฟ Correlogram โดยจาก Rule of Thumb (Pegden et al., 1995) พบว่าจำนวนข้อมูลที่เหมาะสมจะมีค่าประมาณ 10 เท่าของจำนวน Lag ซึ่งหาได้จากกราฟที่มีค่าใกล้ศูนย์ ซึ่งจากการพล็อตกราฟ Correlogram ของระบบทั้งสามแบบ พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานแบบสูง จะให้ค่า Lag ที่มากที่สุด ซึ่งเท่ากับ 270 ดังรูปที่ 3-14 ดังนั้น จำนวนข้อมูลที่เหมาะสมที่มีค่าประมาณ 10 เท่าของจำนวน Lag จึงเท่ากับ 2,700 ข้อมูล ซึ่งการทดลองเพื่อจะได้จำนวนข้อมูลเท่ากับ 2,700 ข้อมูลนั้น จะต้องทำการรันโปรแกรมเป็นเวลาประมาณ 115,830 นาที ดังนั้น การใช้เวลาในการรันข้อมูลเท่ากับ 400,000 นาที โดยมีเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัวเท่ากับ 160,000 นาที นั่นคือ ใช้เวลาในการทดลองจริงเท่ากับ 240,000 นาที เท่ากันในทุกการทดลอง จึงถือว่าเป็นระยะเวลาที่เพียงพอที่จะทำให้ข้อมูลมีความเป็นอิสระต่อกัน



รูปที่ 3-14 กราฟ Correlogram ของระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง

3.6.3 การหาจำนวนซ้ำของการรัน (Number of Replications) ที่เหมาะสม

การหาช่วงความเชื่อมั่นที่เหมาะสม จำเป็นที่จะต้องหาจำนวนซ้ำของการรัน (Number of Replications) ที่เหมาะสมก่อน โดยจากหนังสือ Introduction to Simulation Using SIMAN ได้กล่าวไว้ว่า จำนวน Replications ที่เหมาะสม สามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3-1

$$n^* = n (h / h^*)^2 \quad (3-1)$$

โดยที่ n = จำนวนซ้ำของการรัน (Number of Replications) ที่ได้รันไปแล้ว

h = ครึ่งหนึ่งของความกว้างช่วงความเชื่อมั่นที่คำนวณได้

h^* = ครึ่งหนึ่งของความกว้างช่วงความเชื่อมั่นที่ต้องการ

(ซึ่งโดยทั่วไปกำหนดให้เป็น 5% ของค่าเฉลี่ย)

สำหรับระบบที่กำลังศึกษาอยู่นี้ ถูกกำหนดให้รันโปรแกรมเป็นจำนวน 10 Replications ในตอนเริ่มแรก ซึ่งการหาช่วงความเชื่อมั่นของระบบ ทำได้โดยการนำข้อมูลเวลาการไหลของงาน (Flow Time) มาวิเคราะห์ผ่านทาง Output Analyzer ในโปรแกรม Arena (5.01) โดยกำหนดช่วงความเชื่อมั่นเท่ากับ 95% ซึ่งการหาช่วงความเชื่อมั่นด้วยวิธีการดังกล่าวนี้ ถือเป็นวิธีเดียวกับการประมาณค่าช่วงความเชื่อมั่น (Confident Interval Estimation) ตามหลักการทางสถิติ โดยผลจากการรันโปรแกรมจำนวน 10 Replications ทำให้สามารถหาค่าตัวแปรต่างๆได้ ดังตารางที่ 3-1 และทำให้พบว่าจำนวนซ้ำของการรันที่เหมาะสมที่สุดคือ 20 Replications เนื่องจากการรันโปรแกรมเพียง 20 Replications นั้นถือว่ามากพอ รวมทั้งการรันโปรแกรมที่เกินกว่า 20 Replications นั้นไม่เป็นที่นิยม และถือว่าไม่มีประโยชน์ที่จะทำให้ความแปรปรวนของข้อมูลลดลงได้

ตารางที่ 3-1 ผลทางด้านเวลาการไหลของงาน (Flow Time) จากการรัน โปรแกรม 10 Replications

| ประเภทของชิ้นงาน | Mean | ช่วงความเชื่อมั่น | h | h* | n* |
|---------------------|--------|-------------------|-------|-------|----|
| โครงสร้างแบบแบน | 269.10 | 259.68 – 278.52 | 9.42 | 13.45 | 5 |
| โครงสร้างแบบสูง | 663.38 | 612.74 – 714.03 | 50.64 | 33.17 | 24 |
| โครงสร้างแบบซับซ้อน | 807.94 | 749.17 – 866.71 | 58.77 | 40.39 | 22 |

3.7 สรุปผลการสร้างแบบจำลองปัญหา

แบบจำลองปัญหาสำหรับงานวิจัยนี้ได้ใช้โปรแกรม ARENA Version 5.01 ในการจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งหลังจากสร้างแบบจำลองขึ้นมาแล้ว ได้มีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อตรวจสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นมาเป็นไปตามระบบที่ออกแบบไว้ และเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลที่ได้จากแบบจำลองนั้นจะเป็นผลที่ถูกต้องตามวัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลอง หลังจากนั้น ได้มีการดำเนินการทดลองเบื้องต้น เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) และหาจำนวนซ้ำของการรัน (Number of Replications) ที่เหมาะสม โดยจากผลการทดลองพบว่า การใช้เวลาในการรันข้อมูลเท่ากับ 400,000 นาที ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัวที่เวลาประมาณ 160,000 นาที นั่นคือ ใช้เวลาในการทดลองจริงเท่ากับ 240,000 นาที โดยเพื่อให้มั่นใจได้ว่าผลที่ได้จากการทดลองมีความถูกต้องและเพื่อความแปรปรวนของผลมีค่าลดน้อยลงยิ่งขึ้น ในการทดลองจริงจึงได้ตั้งเวลาที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Warm-Up Period) ให้นานถึง 400,000 นาที และใช้เวลาในการรัน โปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติอีก 400,000 นาที เป็นจำนวน 20 Replications ที่ต่อเนื่องกัน

บทที่ 4

การออกแบบการทดลอง

4.1 บทนำ

ในบทนี้เป็นการออกแบบการทดลอง ซึ่งจำเป็นต้องมีการกำหนดพารามิเตอร์ต่างๆที่ใช้ในการทดลองให้กับแบบจำลองปัญหา โดยในงานวิจัยนี้เป็นการทดลองภายใต้ปัจจัยหลัก 3 ปัจจัย อันได้แก่ ระดับการใช้งานของระบบ (Shop Utilization) กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rule) และกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rule) ซึ่งข้อมูลส่วนใหญ่ได้อ้างอิงมาจากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง โดยมีรายละเอียด ดังนี้

4.2 ระดับการใช้งานของระบบ

กำหนดให้ระดับการใช้งานของระบบ (Shop Utilization) ถือเป็นหนึ่งปัจจัยในการทดลอง เพื่อวิเคราะห์ความไวของระบบที่มีต่อประสิทธิภาพที่ได้ เมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนแปลงไป โดยระดับการใช้งานของระบบที่เลือกมาทำการศึกษางานวิจัยนี้ อ้างอิงมาจาก Economic Report of the President, United States Government Printing Office, Washington (1982) ซึ่งแสดงระดับการใช้งานโดยเฉลี่ยในอุตสาหกรรมของประเทศสหรัฐอเมริกา ในช่วงปี ค.ศ. 1965-1980 ซึ่งพบว่ามีค่าอยู่ในช่วง 80% ถึง 90% นอกจากนี้ได้พบว่า งานวิจัยที่ผ่านมาส่วนมากที่ทำการทดลองภายใต้แบบจำลองระบบผลิตแบบตามงาน และระบบผลิตแบบสายการประกอบนั้น กำหนดให้ระบบมีความสมดุล ทั้งที่พบว่าในอุตสาหกรรมจริงแล้ว ระดับการใช้งานของระบบมักมีความไม่สมดุล และมักมีสถานะคอขวดเกิดขึ้นในระบบอยู่เสมอ ดังนั้น จึงกำหนดให้ปัจจัยทางด้านระดับการใช้งานของระบบเป็นดังต่อไปนี้

4.2.1 ระบบมีความสมดุล (Balanced Shop Model) นั่นคือ กำหนดให้ทุกสถานีงานมีระดับการใช้งานเท่ากัน อันได้แก่

- ระดับการใช้งานของระบบ 80% แทนระบบที่มีภาระงานปานกลาง
- ระดับการใช้งานของระบบ 90% แทนระบบที่มีภาระงานหนัก

4.2.2 ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop Model) นั่นคือ ให้มีสถานีที่เกิดสถานะคอขวดอยู่ในระบบ โดยกำหนดให้แต่ละสถานีงานมีระดับการใช้งานไม่เท่ากัน

ในการทำงานวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้ระดับการใช้งานของระบบที่ 80% และ 90% ถูกกำหนดโดยค่าเฉลี่ย (Mean) ของเวลาระหว่างการมา (Interarrival Times) ที่มีการกระจายตัวแบบเอ็กซ์โปเนนเชียล (Exponential Distribution) โดยดำเนินการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาครั้งละ 5 นาที กับแบบจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบที่ใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานในการทำการทดลอง นั่นคือ ให้การจ่ายงานเป็นไปตามกฎ First Come First Served (FCFS) และกำหนดเวลาส่งมอบเป็นไปตามกฎ Constant (CON) แล้วบันทึกค่าระดับการใช้งานของระบบ ซึ่งผลที่ได้แสดงในตารางที่ 4-1 นั่นคือ ในการทดลองระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 30 นาที และที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 27 นาที ส่วนในการทดลองระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 43 นาที และที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 40 นาที สุดท้ายคือในการทดลองระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 80 นาที และที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมาจะอยู่ที่ 73 นาที

ตารางที่ 4-1 ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมา ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90%

| โครงสร้างผลิตภัณฑ์ | ค่าเฉลี่ยของเวลาระหว่างการมา (นาที) | |
|--------------------|-------------------------------------|---------------------------|
| | ระดับการใช้งานของระบบ 80% | ระดับการใช้งานของระบบ 90% |
| แบบแบน | 30 | 27 |
| แบบสูง | 43 | 40 |
| แบบซับซ้อน | 80 | 73 |

สำหรับการทำการทดลองในระบบที่ไม่สมดุลนั้น อ้างอิงมาจากงานวิจัยของ Vig and Dooley (1991) นั่นคือ การกำหนดเส้นทางงาน (Routing) ของแต่ละส่วนประกอบ กำหนดโดยให้แต่ละเครื่องจักรมีความน่าจะเป็นที่จะถูกเลือกไม่เท่ากัน ซึ่งจะพบว่าการกำหนดดังกล่าวทำให้ระดับการใช้งานของเครื่องจักรแต่ละเครื่องมีค่าแตกต่างกันค่อนข้างมาก นั้นหมายความว่าเกิดสภาวะคอขวดขึ้นที่เครื่องจักรบางเครื่องที่ต้องรับภาระงานสูงกว่าเครื่องจักรเครื่องอื่นๆ

4.3 กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

กำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date) ของงาน หมายถึง เวลาจัดส่ง หรือเวลาเสร็จงานที่สัญญาไว้กับลูกค้า โดยที่วิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงานและความกระชั้น (Tightness) ของเวลาส่งมอบจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบและประสิทธิภาพในเชิงเปรียบเทียบของกฎการจ่ายงาน หลักการสำคัญของการกำหนดเวลาส่งมอบอยู่ที่การประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงาน รวมเข้ากับเวลาที่งานเข้ามาในระบบ ซึ่งกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบแบ่งได้เป็นหลายประเภท ขึ้นอยู่กับลักษณะที่มาและข้อมูลที่น่ามาใช้ โดยกฎที่เลือกมาทำการศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ กำหนดให้ครอบคลุมทุกประเภทของการกำหนดเวลาส่งมอบ นั่นคือ

4.3.1 การกำหนดจากภายนอก (Externally Imposed) ได้แก่

- Constant (CON) เป็นการกำหนดเวลาส่งมอบให้มีระยะเวลาคงที่ค่าหนึ่ง และค่าคงที่นี้จะใช้กับทุกงาน มักใช้ในกรณีที่พนักงานขายเป็นผู้กำหนดเวลาส่งมอบเอง การกำหนดเวลาส่งมอบให้มีค่าคงที่นี้เหมาะกับองค์กรที่ทำการผลิตชิ้นงานที่มีความหลากหลายน้อย หรืออีกนัยหนึ่งคือ เหมาะสำหรับองค์กรที่ทำการผลิตแบบปริมาณมาก (Mass Production) ชิ้นงานแต่ละประเภทใช้เวลาในการผลิตใกล้เคียงกัน จึงสามารถกำหนดเวลาส่งมอบของงานให้คงที่ได้ หลักการของกฎ CON เป็นดังสมการที่ 4-1

$$d_j = r_j + K \quad (4-1)$$

- Random (RAND) เป็นการกำหนดเวลาส่งมอบของงานโดยวิธีการสุ่มภายในช่วงที่กำหนด เป็นวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบที่ไม่ได้คำนึงถึงเวลาเสร็จสิ้นของการผลิต กฎนี้จึงเป็นตัวแทนของกรณีที่เวลาส่งมอบถูกกำหนดโดยคำสั่งซื้อที่เข้ามาของลูกค้า ซึ่งพนักงานขายอาจมีการต่อรองในเรื่องของระยะเวลาส่งมอบ ดังนั้นจึงทำให้เวลาส่งมอบในกรณีเช่นนี้เป็นแบบสุ่ม หลักการของกฎ RAND เป็นดังสมการที่ 4-2

$$d_j = r_j + \text{RAND} \quad (4-2)$$

- #### 4.3.2 การกำหนดจากภายใน (Internally Set) แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ตามลักษณะของข้อมูลที่ใช้ นั่นคือ กฎที่ใช้เพียงข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน (Job Characteristic) และกฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานร่วมกับข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบ

ในปัจจุบัน (Current Shop Status Information)

ก. กฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน ได้แก่

- Total Work (TWK) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด โดยใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน (ค่าคงที่) คูณกับภาระงานทั้งหมด แล้วใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเวลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน การกำหนดเวลาส่งมอบของงานตามภาระงานทั้งหมดนี้เหมาะสำหรับองค์กรที่มีการผลิตชิ้นงานที่มีความหลากหลาย รวมถึงเวลาที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานแต่ละประเภทนั้นมีความแตกต่างกันมาก หลักการของกฎ TWK เป็นดังสมการที่ 4-3

$$d_j = r_j + KP_j \quad (4-3)$$

- Total Work Content Critical Path (TWKCP) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับภาระงานทั้งหมด บนสายงานวิกฤติ (Critical Path) ของงานนั้น โดยใช้ปัจจัยที่แสดงถึงความกระชั้นของงาน (ค่าคงที่) คูณกับภาระงานทั้งหมดบนสายงานวิกฤติ แล้วใช้ค่าผลคูณที่ได้นี้เป็นระยะเวลาในการกำหนดเวลาส่งมอบของงาน หลักการของกฎ TWKCP เป็นดังสมการที่ 4-4

$$d_j = r_j + KP_{CPj} \quad (4-4)$$

ข. กฎที่ใช้ทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน และทางด้านสถานภาพของระบบ

- Jobs in System (JIS) กำหนดเวลาส่งมอบของงานให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนของงานทั้งหมดในระบบ เมื่อเวลาที่งานนั้นมาถึง และภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำทั้งหมด หลักการของกฎ JIS เป็นดังสมการที่ 4-5

$$d_j = r_j + K_1P_j + K_2(JIS_j) \quad (4-5)$$

- BOMs and Jobs in System (BJIS) เป็นกฎใหม่ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ โดยอ้างอิงมาจากข้อสรุปของ Russell and Taylor (1985) ที่ว่างานที่มีโครงสร้างแบบสูงนั้นมีแนวโน้มที่จะเสร็จงานล่าช้า มากกว่างานที่มีโครงสร้างแบบแบน กฎนี้จึงอาศัยแนวความคิดที่ว่างานที่มีระดับของการประกอบหลายระดับนำที่จะใช้เวลาอยู่ในระบบนานกว่า รวมทั้งยังมีการคำนึงถึงว่า งานที่ผลิตมาจากการ

ประกอบกันของส่วนประกอบหลายๆส่วน ตั้งแต่ระดับต่ำสุดจนถึงประกอบ เป็นผลิตภัณฑ์สำเร็จนั้น น่าที่จะมีเวลาการรอคอยในแถวคอยสูงกว่า และมี แนวโน้มที่จะเสร็จงานล่าช้ากว่างานที่มีส่วนประกอบน้อยกว่า นอกจากนี้จาก ข้อสรุปที่ว่า กฎที่พิจารณาทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานร่วมกับ ข้อมูล ทางด้านสถานภาพของระบบให้การประมาณค่าเวลาการไหลของงานที่ถูกต้อง แม่นยำมากกว่ากฎอื่นๆที่ใช้เพียงแค่ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน (Ragatz and Mabert 1984, Vig and Dooley 1991) ดังนั้น กฎที่นำเสนอในงานวิจัยนี้จึง กำหนดเวลาส่งมอบของงาน ให้เป็นสัดส่วนโดยตรงกับจำนวนส่วนประกอบ ทั้งหมด และจำนวนระดับของการประกอบในรายการวัสดุของงาน (Number of Levels and Number of Components in the BOM) รวมทั้งจำนวนของงาน ทั้งหมดในระบบ โดยหลักการของกฎ BJIS เป็นดังสมการที่ 4-6

$$d_j = r_j + K_1(NL_j) + K_2(NC_j) + K_3(JIS_j) \quad (4-6)$$

| | | | |
|--------|-----------|---------|---|
| โดยที่ | d_j | หมายถึง | เวลาส่งมอบของงาน j |
| | r_j | หมายถึง | เวลาที่งาน j เข้ามาในระบบ |
| | RAND | หมายถึง | ค่าที่ได้จากการสุ่มภายในช่วงที่กำหนด |
| | P_j | หมายถึง | ผลรวมของเวลาการดำเนินงานทั้งหมดของงาน j |
| | P_{CPj} | หมายถึง | ผลรวมของเวลาการดำเนินงานทั้งหมดบนสายงานวิกฤติ ของงาน j |
| | JIS_j | หมายถึง | จำนวนของงานทั้งหมดในระบบ เมื่องาน j มาถึง |
| | NL_j | หมายถึง | จำนวนระดับในรายการวัสดุของงาน j |
| | NC_j | หมายถึง | จำนวนส่วนประกอบทั้งหมดในรายการวัสดุของงาน j |

งานวิจัยนี้จะทำการทดลองโดยใช้กฎการกำหนดเวลาส่งมอบทั้ง 6 แบบข้างต้น ซึ่งจะเห็นได้ว่าในทุกกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น มีการคูณด้วยค่าแฟคเตอร์ซึ่งเป็นค่าคงที่ โดยวิธีการหนึ่งที่นิยมใช้ในการกำหนดค่าคงที่นั้น ได้แก่ การกำหนดค่าดังกล่าวที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าตามที่ต้องการ ซึ่งในงานวิจัยนี้ ได้ทำการทดลองเพื่อหาค่าคงที่ดังกล่าวที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าเท่ากับ 5% และกำหนดให้ค่าที่ได้จากการสุ่มของกฎ Random (RAND) นั้นเป็นการสุ่มอยู่ในช่วงบวกและลบ 20% ของค่าคงที่ที่ได้จากกฎ Constant (CON) โดยได้ผลดังนี้

ตารางที่ 4-2 ค่าคงที่ (K) ที่ใช้ในการทดลองสำหรับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

| กฎการกำหนด เวลาส่งมอบ | ค่าคงที่ | โครงสร้างผลิตภัณฑ์ | | |
|--------------------------|----------------|--------------------|---------------|---------------|
| | | แบบแบน | แบบสูง | แบบซับซ้อน |
| CON | K | 570 | 1,650 | 1,730 |
| RAND | RAND | 456 – 684 | 1,320 – 1,980 | 1,384 – 2,076 |
| TWK | K | 3.42 | 4.95 | 3.56 |
| TWKCP | K | 6.72 | 9.95 | 11.30 |
| JIS | K ₁ | 1.5 | 1.8 | 1 |
| | K ₂ | 16.7 | 35.7 | 66 |
| BJIS | K ₁ | 158 | 92 | 160 |
| | K ₂ | 40 | 46 | 27 |
| | K ₃ | 13 | 22 | 41 |

4.4 กฎการจ่ายงาน

กฎการจ่ายงานที่ถูกเลือกมาศึกษาในงานวิจัยครั้งนี้ ถือได้ว่าเป็นกฎที่ถูกสรุปผลมาแล้วว่าให้ประสิทธิภาพการทำงานโดยรวมของระบบดีที่สุด จากงานวิจัยต่างๆเกี่ยวกับการศึกษากฎการจ่ายงานภายใต้ระบบผลิตแบบสายการประกอบที่มีเงื่อนไขในการทดลองต่างๆกัน โดยหลักการของกฎเหล่านั้น มีดังนี้

- Earliest Job Due Date (JDD) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีกำหนดเวลาส่งมอบของงานกระชั้นที่สุด โดยจากงานวิจัยของ Russell and Taylor (1985), Goodwin and Weeks (1986), และ Fry et al. (1989) ต่างพบว่ากฎ JDD ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีที่สุด เมื่อทดลองภายใต้ระบบผลิตแบบสายการประกอบ ในทุกโครงสร้างผลิตภัณฑ์ รวมทั้งจากงานวิจัยของ Adam et al. (1993) JDD ถูกพบว่าเป็นกฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาล่าช้าของงานมีค่าน้อยที่สุด โดยหลักการของกฎ JDD เป็นดังสมการที่ 4-7

$$\text{Min } \{ d_j \}$$

(4-7)

- Slack per Remaining Operation (S/OPN) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีอัตราส่วนระหว่างเวลาหย่อนต่อจำนวนการดำเนินงานที่เหลืออยู่ มีค่าน้อยที่สุด โดย S/OPN ถือได้ว่าเป็นกฎการจ่ายงานที่นิยมใช้ในงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดลำดับงานในระบบผลิตแบบตามงาน รวมทั้งมักใช้กันโดยทั่วไปในอุตสาหกรรม นอกจากนี้ยังพบว่าเป็นกฎที่ให้ผลการดำเนินงานที่ดีในงานวิจัยที่ผ่านๆมาเกี่ยวกับระบบผลิตแบบสายการประกอบ (Green and Appel 1981, และ Fry et al. 1989a.) โดยหลักการของกฎ S/OPN เป็นดังสมการที่ 4-8

$$\text{Min} \left\{ (d_j - \sum_{i \in U_j} P_{ij} - T) / B_{ij} \right\} \quad (4-8)$$

- Importance Ratio (IR) โดยที่กฎ IR เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีอัตราส่วนระหว่างจำนวนการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่บนเส้นทางงาน งานนั้นถูกประกอบเสร็จสิ้น ต่อจำนวนการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่บนเส้นทางที่มีการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่มากที่สุดของงานนั้น ลำดับความสำคัญสูงสุดจะให้กับการดำเนินงานที่มีอัตราส่วนมากที่สุด ซึ่งพบว่ากฎ IR สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำในทุกโครงสร้างผลิตภัณฑ์ (Philipoom et al. 1991, Roman and Valle 1996) โดยหลักการของกฎ IR เป็นดังสมการที่ 4-9

$$\text{Max} \left\{ B_{ij} / \text{Max}_{k \in U} (B_{kj}) \right\} \quad (4-9)$$

- Latest Finish Time (LF) เป็นการให้ลำดับความสำคัญสูงสุดกับการดำเนินงานที่มีผลต่างที่น้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบระหว่างเวลาเสร็จสิ้นที่เร็วที่สุดของงานกับผลรวมของเวลาการดำเนินงานที่เหลืออยู่ทั้งหมดบนเส้นทาง (Branch) ของการดำเนินงานนั้น โดยกฎ LF ถูกนำเสนอเป็นครั้งแรกโดย Mohanasundaram et al. (2002) ซึ่งพบว่าเป็นกฎที่มีประสิทธิภาพสูงในด้านการลดเวลาการไหลของงาน และเวลาการรอคอยการประกอบ (Staging Delay) เนื่องจากเป็นกฎที่พิจารณาความสัมพันธ์ภายในโครงสร้างของงาน มีการประสานและมีการเร่งงาน ระหว่างการดำเนินงานในสายงานวิกฤติ และการดำเนินงานที่ไม่ได้อยู่ใน

สายงานวิกฤติของงานให้มีความสอดคล้องกัน โดยหลักการของกฎ LF เป็นดังสมการที่ 4-10

$$\text{Min} \{ r_j + P_{CPj} - \sum_{i \in U_B} P_{ij} \} \quad (4-10)$$

| | | | |
|--------|-----------|---------|--|
| โดยที่ | d_j | หมายถึง | เวลาส่งมอบของงาน j |
| | P_{ij} | หมายถึง | เวลาการดำเนินงานของการดำเนินงานที่ i งานที่ j |
| | P_{CPj} | หมายถึง | ผลรวมของเวลาการดำเนินงานทั้งหมดบนสายงานวิกฤติของงาน j |
| | r_j | หมายถึง | เวลาที่งาน j เข้ามาในระบบ |
| | T | หมายถึง | เวลาในปัจจุบัน |
| | B_{ij} | หมายถึง | จำนวนการดำเนินงานที่เหลืออยู่บนเส้นทาง (Branch) ของการดำเนินงานที่ i งานที่ j |
| | U | หมายถึง | เซตของการดำเนินงานที่เหลืออยู่ของงานที่ j |
| | U_B | หมายถึง | เซตของการดำเนินงานที่เหลืออยู่บนเส้นทาง (Branch) ของการดำเนินงานที่ i งานที่ j |

4.5 สรุปปัจจัยในการทดลอง

1. กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

- Constant (CON)
- Random (RAND)
- Total Work (TWK)
- Total Work Content Critical Path (TWKCP)
- Jobs in System (JIS)
- BOMs and Jobs in System (BJIS)

2. กฎการจ่ายงาน

- Earliest Job Due Date (JDD)
- Slack per Operation (S/OPN)
- Importance Ratio (IR)
- Latest Finish Time (LF)

3. ระดับการใช้งานของระบบ

- ระบบมีความสมดุล (Balanced Shop Model)
 - ระดับการใช้งานของระบบ 80% แทนระบบที่มีภาระงานปานกลาง
 - ระดับการใช้งานของระบบ 90% แทนระบบที่มีภาระงานหนัก
- ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop Model)

บทที่ 5

ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

5.1 บทนำ

หลังจากทำการทดลองตามปัจจัยในการทดลองที่ระบุไว้ในบทที่ 4 แล้ว ในบทที่ 5 นี้จึงเป็นการนำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติ โดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ โดยทำการวิเคราะห์แยกตามดัชนีวัดประสิทธิภาพ และแยกตามระดับการใช้งานของระบบที่ 80% และ 90% รวมถึงในระบบที่ไม่สมดุล โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม และการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test โดยมีรายละเอียด ดังนี้

5.2 ระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

5.2.1 การวิเคราะห์เวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)

5.2.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน เป็นการทดสอบอิทธิพลของปัจจัยในการทดลอง ที่มีผลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบ โดยปัจจัยในการทดลองครั้งนี้ ได้แก่ กฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ รวมถึงทดสอบอิทธิพลของผลร่วมระหว่างสองปัจจัย (Interaction Effect) ซึ่งจะช่วยให้สามารถสรุปผลได้ครอบคลุมและชัดเจนยิ่งขึ้น โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งผลที่ได้เป็นดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|---------|--------|---------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 1813788 | 604596 | 2251.96 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 18652 | 3730 | 13.89 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 26986 | 1799 | 6.70 | 0.000 |
| Error | 456 | 122425 | 268 | | |
| Total | 479 | 1981851 | | | |

รูปที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 19856095 | 6618698 | 668.89 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 161815 | 32363 | 3.27 | 0.007 |
| Interaction | 15 | 370536 | 24702 | 2.50 | 0.001 |
| Error | 456 | 4512122 | 9895 | | |
| Total | 479 | 24900568 | | | |

รูปที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

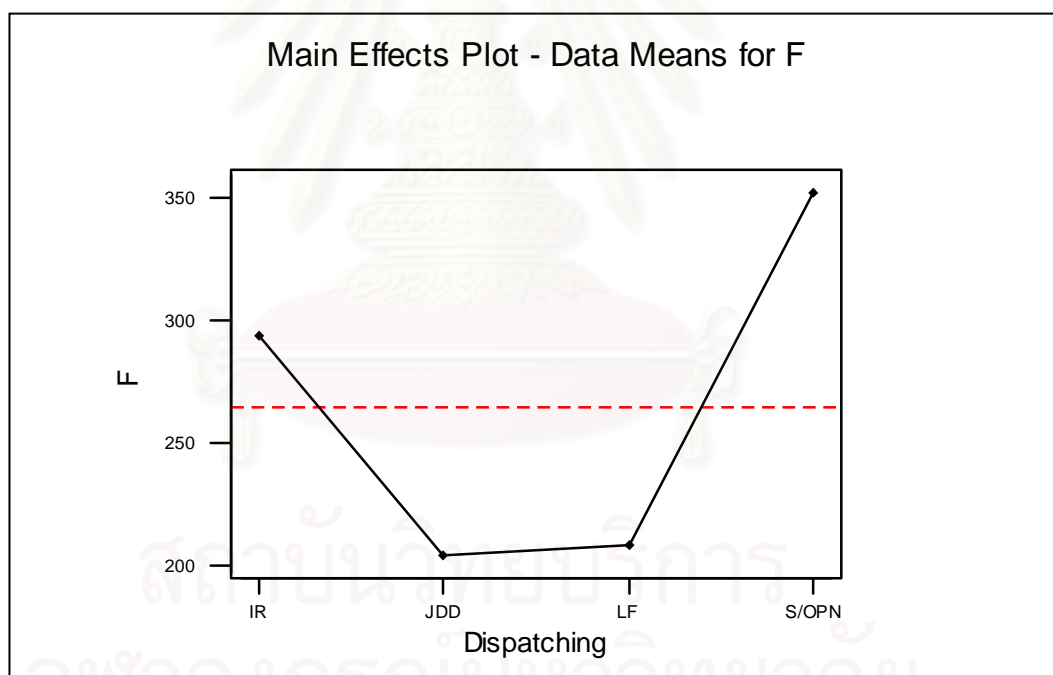
| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|---------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 6007408 | 2002469 | 670.67 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 74701 | 14940 | 5.00 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 237036 | 15802 | 5.29 | 0.000 |
| Error | 456 | 1361521 | 2986 | | |
| Total | 479 | 7680667 | | | |

รูปที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

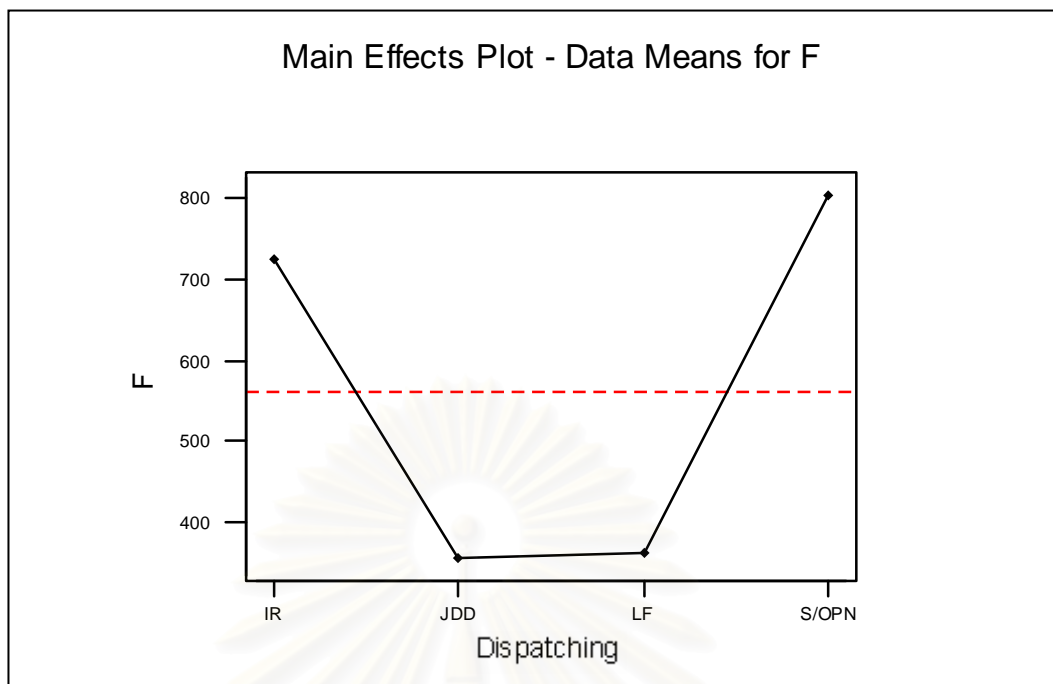
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น มีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่า ผลรวมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ

5.2.1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)

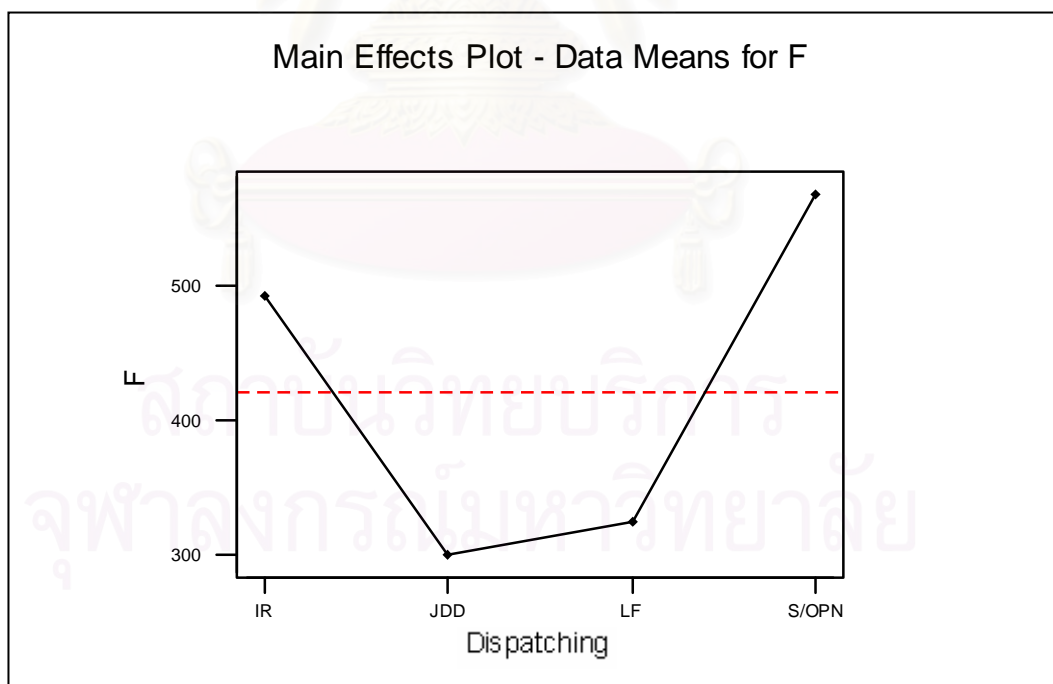
การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก จะทำให้ทราบถึงการเปลี่ยนแปลงค่าประสิทธิภาพของระบบเมื่อมีการเปลี่ยนระดับของปัจจัยต่างๆ ซึ่งปัจจัยหลักที่ทดสอบในที่นี้ ได้แก่ กฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยทำการวิเคราะห์จากการพิจารณากราฟความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยหลัก กับค่าประสิทธิภาพของระบบในแต่ละด้าน ดังนี้



รูปที่ 5-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



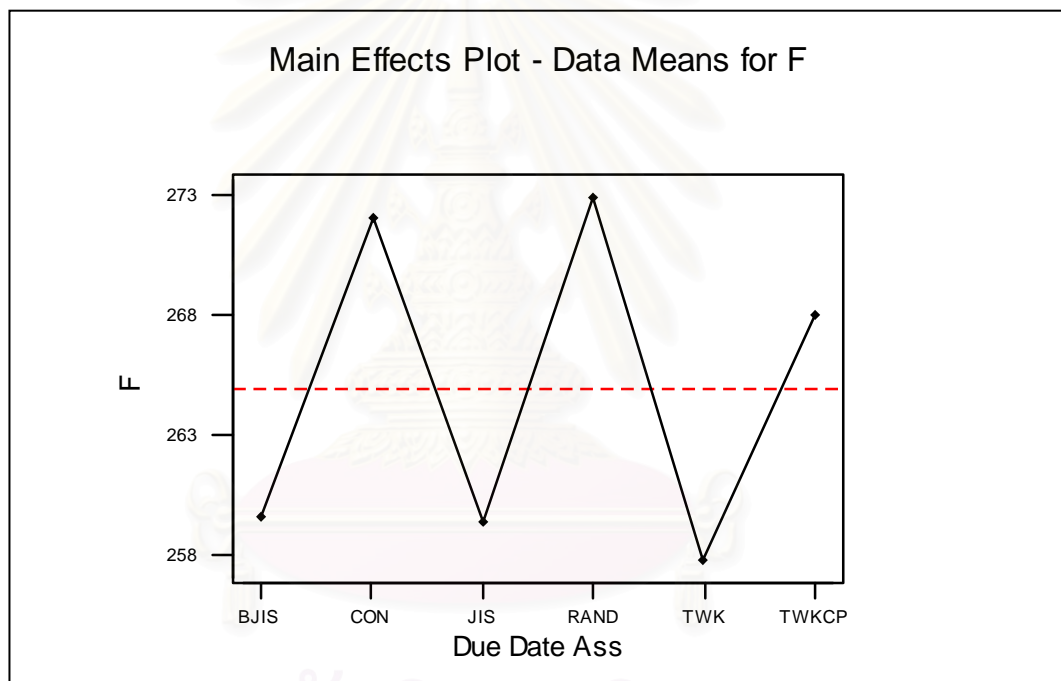
รูปที่ 5-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



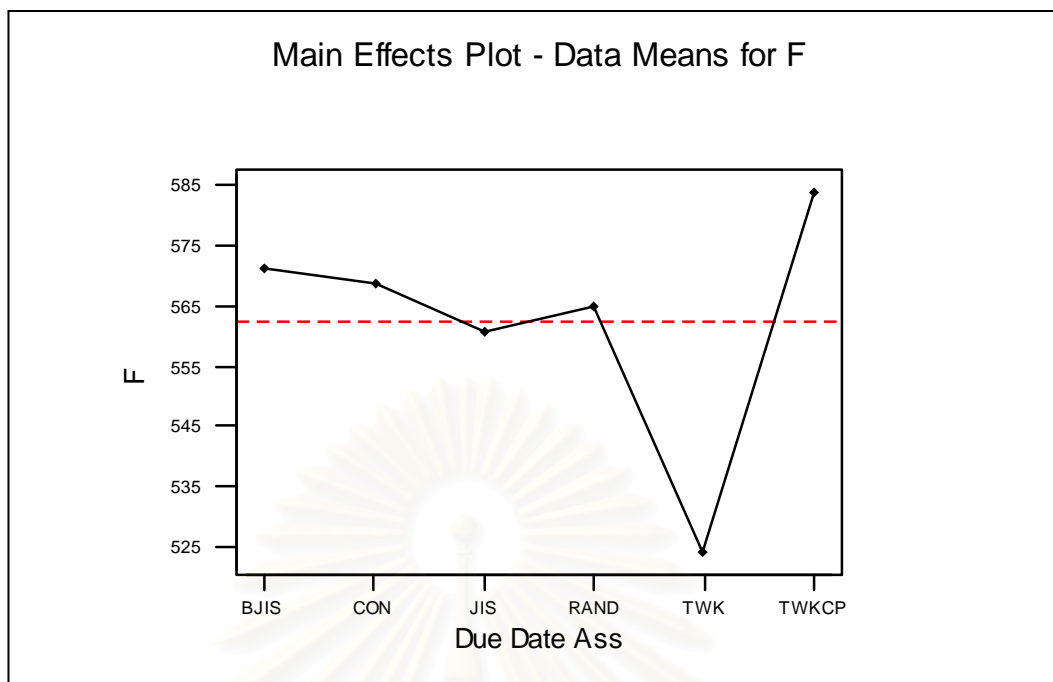
รูปที่ 5-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-4 – 5-6 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% และพบว่ากฎ JDD ให้ค่าระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อยในระบบที่ไม่สมดุล ส่วนกฎที่ให้ค่าระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

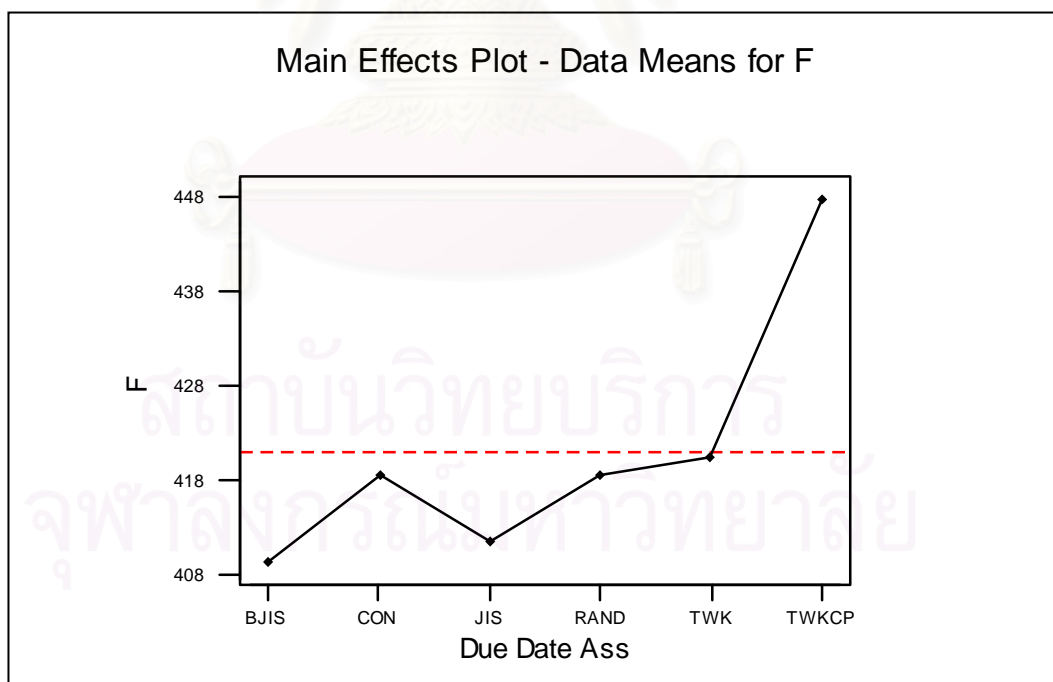
5.2.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-7 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



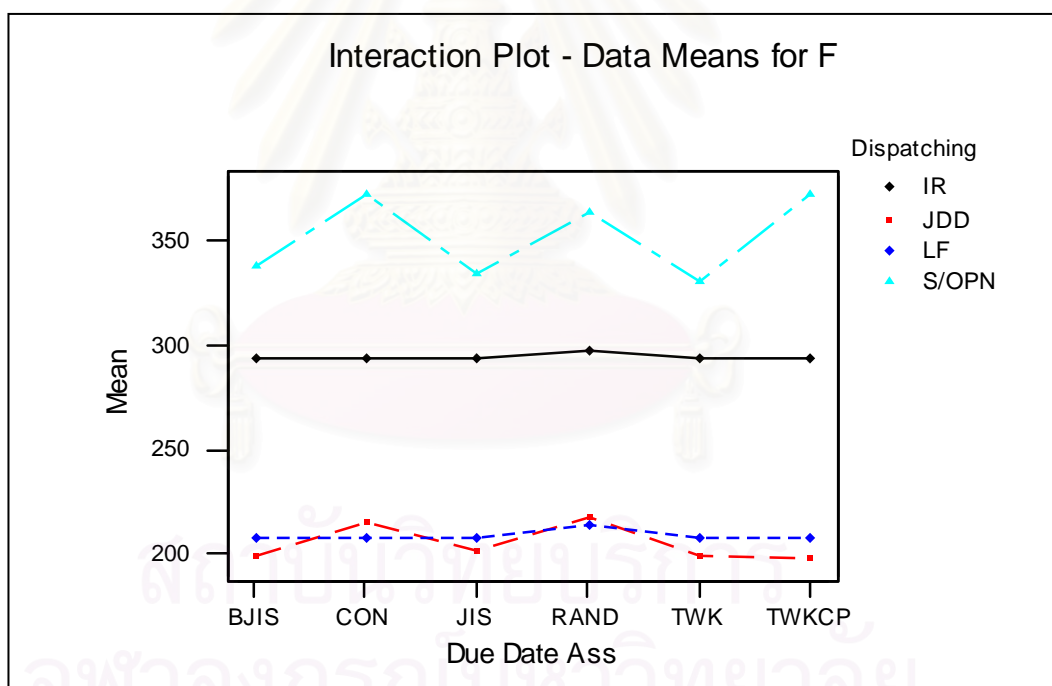
รูปที่ 5-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



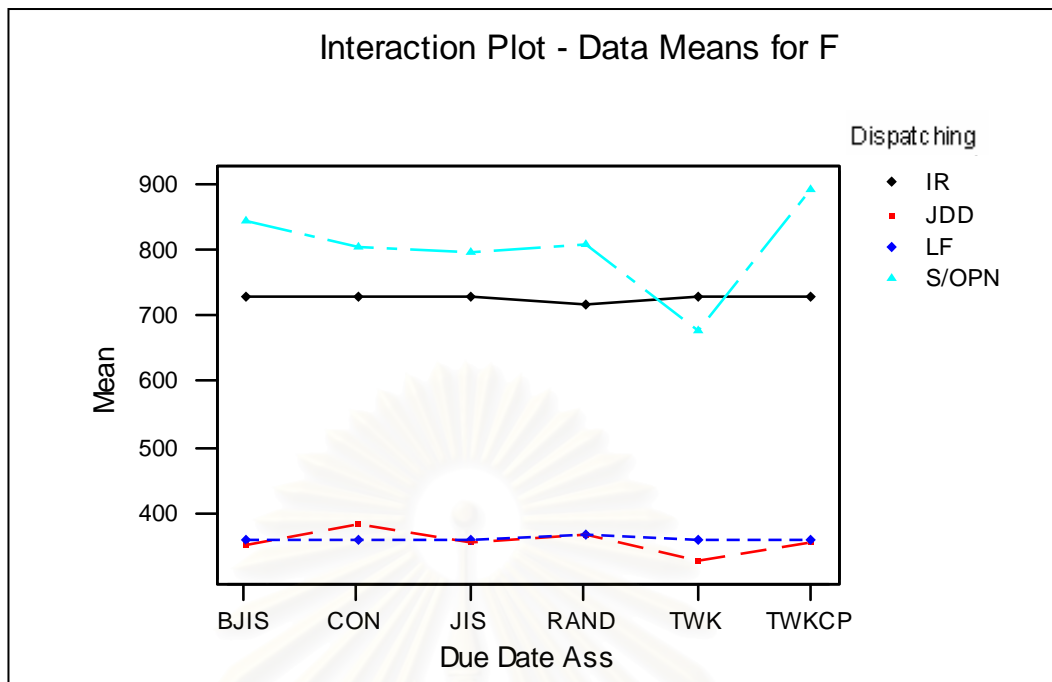
รูปที่ 5-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ซึ่งในที่นี้ความแตกต่างจะมาจากผลของการใช้กฎการจ่ายงานแบบ JDD และ S/OPN เท่านั้น เนื่องมาจากกฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF นั้น ไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน ซึ่งเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 5-7 – 5-9 พบว่า กฎ TWK สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% แต่ให้ค่าที่ค่อนข้างสูง ในระบบที่ไม่สมดุล ซึ่งตรงข้ามกับกฎ JIS และ BJIS ที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำในระบบที่มีระดับการใช้งาน 80% และในระบบที่ไม่สมดุล แต่ให้ค่าที่ค่อนข้างสูง ในระบบที่มีระดับการใช้งาน 90% ส่วนกฎ TWKCP ซึ่งมีการใช้ข้อมูลทางด้านสายงานวิกฤติ (Critical Path) นั้นกลับให้ค่าเวลาการไหลของงานที่สูงในทุกสภาวะของระบบ

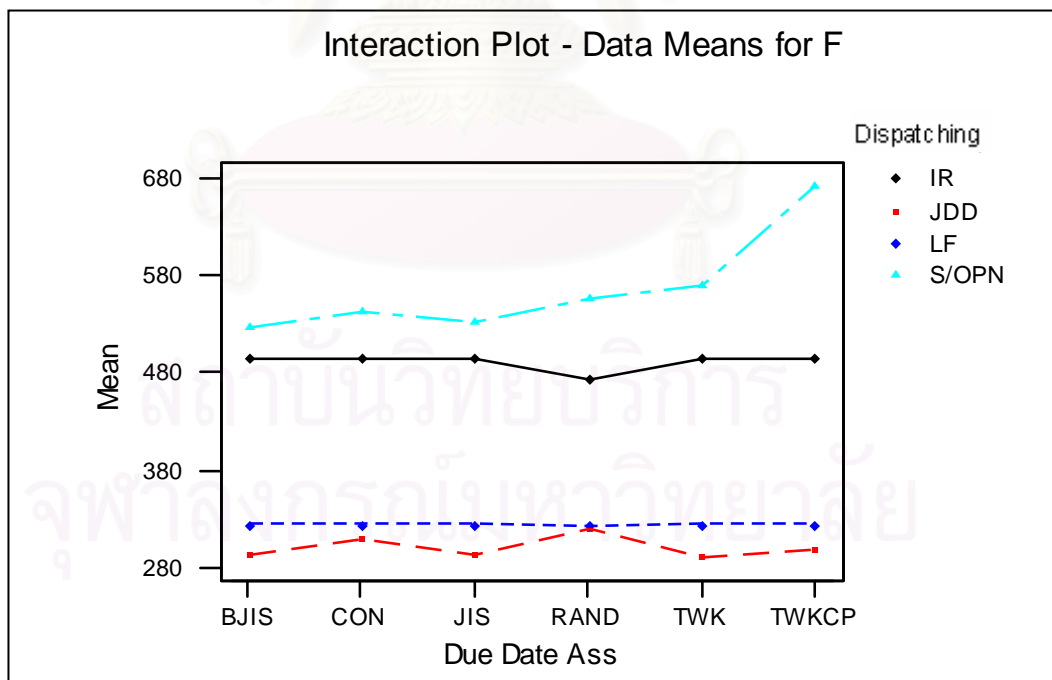
5.2.1.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-10 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-11 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-12 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ จากกราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย ดังรูปที่ 5-10 – 5-12 จะพบว่ากฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF ให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากกฎ IR และ LF นั้น ไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยพบว่าในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งาน 80% นั้น การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS BJIS TWK และ TWKCP ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำมาก เมื่อใช้ร่วมกับกฎการจ่ายงานแบบ JDD และข้อสังเกตที่เห็นได้ชัดอีกด้านก็คือ กฎ S/OPN นั้นให้ค่าเวลาการไหลของงานที่สูง และให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON RAND และ TWKCP ส่วนในระบบที่ระดับการใช้งาน 90% พบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK นั้น ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ทั้งในกฎการจ่ายงานแบบ JDD และ S/OPN

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด และให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่สมดุล นั่นคือจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS BJIS TWK และ TWKCP แต่กลับพบว่ากฎ TWK นั้นให้ค่าที่สูงมากเมื่อจัดลำดับงานตามกฎ S/OPN ซึ่งต่างจากในระบบที่สมดุล

5.2.1.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-TWKCP | 198.52 | ↑ JDD-TWK | 331.25 | ↑ JDD-TWK | 291.68 |
| ↑ JDD-TWK | 198.80 | JDD-BJIS | 351.87 | JDD-BJIS | 292.74 |
| JDD-BJIS | 199.13 | JDD-TWKCP | 356.51 | JDD-JIS | 293.96 |
| JDD-JIS | 201.17 | JDD-JIS | 357.44 | JDD-TWKCP | 298.50 |
| LF-CON | 207.95 | LF-CON | 361.95 | JDD-CON | 310.22 |
| LF-TWK | 207.95 | LF-TWK | 361.95 | JDD-RAND | 320.61 |
| LF-TWKCP | 207.95 | LF-TWKCP | 361.95 | LF-RAND | 324.10 |
| LF-JIS | 207.95 | LF-JIS | 361.95 | LF-CON | 324.11 |
| LF-BJIS | 207.95 | LF-BJIS | 361.95 | LF-TWK | 324.11 |
| LF-RAND | 213.93 | JDD-RAND | 367.35 | LF-TWKCP | 324.11 |
| ↓ JDD-CON | 214.63 | LF-RAND | 370.38 | LF-JIS | 324.11 |
| ↓ JDD-RAND | 217.56 | ↓ JDD-CON | 383.65 | ↓ LF-BJIS | 324.11 |
| ↑ IR-CON | 293.57 | ↑ S/OPN-TWK | 677.34 | ↑ IR-RAND | 474.42 |
| IR-TWK | 293.57 | ↑ IR-RAND | 715.56 | ↑ IR-CON | 495.60 |
| IR-TWKCP | 293.57 | IR-CON | 726.95 | IR-TWK | 495.60 |
| IR-JIS | 293.57 | IR-TWK | 726.95 | IR-TWKCP | 495.60 |
| IR-BJIS | 293.57 | IR-TWKCP | 726.95 | IR-JIS | 495.60 |
| ↓ IR-RAND | 296.81 | IR-JIS | 726.95 | IR-BJIS | 495.60 |
| ↑ S/OPN-TWK | 330.92 | ↓ IR-BJIS | 726.95 | ↑ S/OPN-BJIS | 526.11 |
| ↑ S/OPN-JIS | 334.65 | ↑ S/OPN-JIS | 796.83 | ↓ S/OPN-JIS | 532.54 |
| ↓ S/OPN-BJIS | 337.82 | S/OPN-CON | 802.13 | S/OPN-CON | 544.14 |
| ↑ S/OPN-RAND | 363.16 | ↓ S/OPN-RAND | 805.41 | ↓ S/OPN-RAND | 555.70 |
| ↓ S/OPN-TWKCP | 371.69 | S/OPN-BJIS | 843.41 | ↓ S/OPN-TWK | 571.06 |
| ↓ S/OPN-CON | 372.12 | ↓ S/OPN-TWKCP | 889.50 | S/OPN-TWKCP | 671.92 |

เมื่อพิจารณาจากตารางที่ 5-1 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า กฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาการไหลโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่ กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งพบว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการจัดลำดับงานตามกฎ IR และกฎ LF นั้น จะพบว่าไม่มี ความต่างกันของผลทางด้านเวลาการไหลของงาน อันเนื่องมาจากความต่างของกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากทั้งสองกฎนั้นไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK TWKCP JIS และ BJIS และพบว่ากฎ S/OPN นั้นให้ค่าเวลาการไหลโดยเฉลี่ยที่สูง โดยจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK JIS และ BJIS ในระบบแบบสมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% แต่ใน ระดับการใช้งานของระบบที่ 90% กลับพบว่า เมื่อกฎการจ่ายงาน S/OPN ถูกใช้ร่วมกับกฎการ กำหนดเวลาส่งมอบแบบ TWK สามารถให้ค่าเวลาการไหลโดยเฉลี่ยที่ต่ำได้เท่าๆกับการจัดลำดับ งานโดยกฎ IR อีกทั้งพบว่าเมื่อกฎ S/OPN ถูกใช้ร่วมกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP แล้ว จะให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดในทุกสภาวะของระบบ โดยเฉพาะในระบบ ที่ไม่สมดุล จะพบว่าให้ค่าที่สูงกว่ามากอย่างมีนัยสำคัญ

5.2.2 การวิเคราะห์เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)

5.2.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 221434.2 | 73811.4 | 984.97 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 11714.3 | 2342.9 | 31.26 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 19894.9 | 1326.3 | 17.70 | 0.000 | |
| Error | 456 | 34171.7 | 74.9 | | | |
| Total | 479 | 287215.1 | | | | |

รูปที่ 5-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 9993925 | 3331308 | 603.53 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 829226 | 165845 | 30.05 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 652948 | 43530 | 7.89 | 0.000 | |
| Error | 456 | 2516979 | 5520 | | | |
| Total | 479 | 13993077 | | | | |

รูปที่ 5-14 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

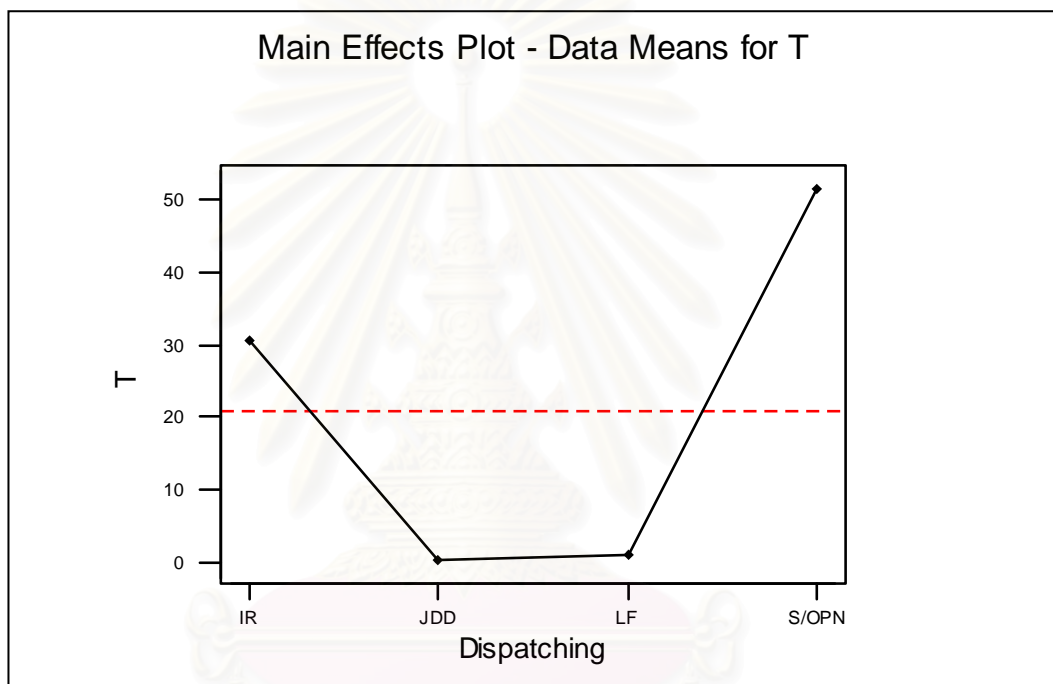
Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | | |
|----------------------------|-----|---------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 3942417 | 1314139 | 770.46 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 158830 | 31766 | 18.62 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 231959 | 15464 | 9.07 | 0.000 | |
| Error | 456 | 777781 | 1706 | | | |
| Total | 479 | 5110986 | | | | |

รูปที่ 5-15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น มีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกันในทุกสถานะของระบบ

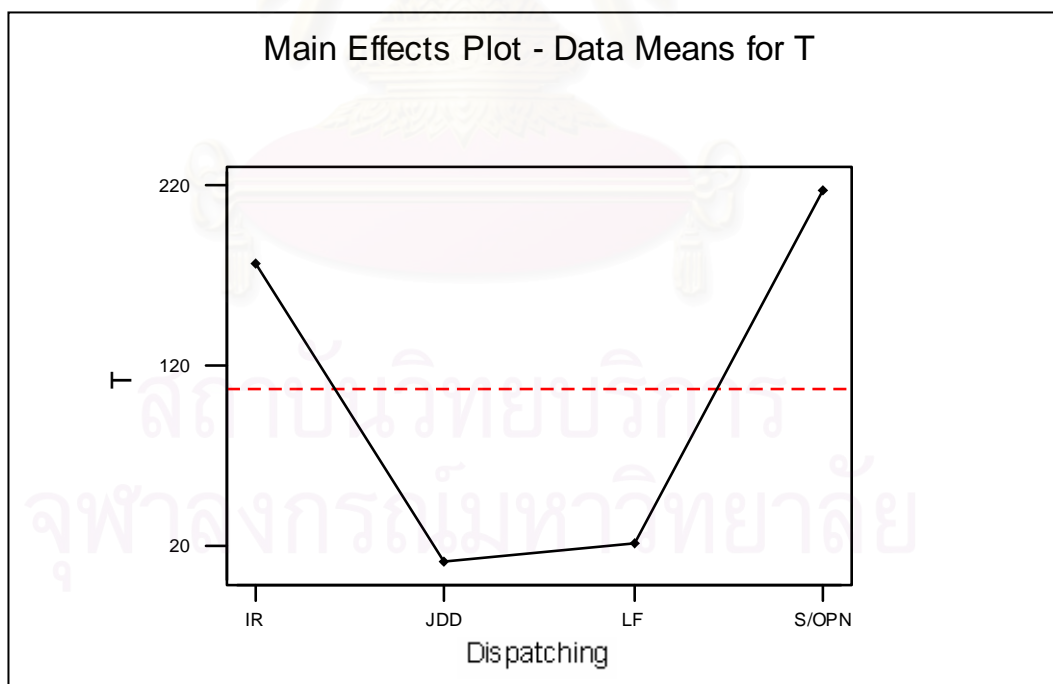
5.2.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-16 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



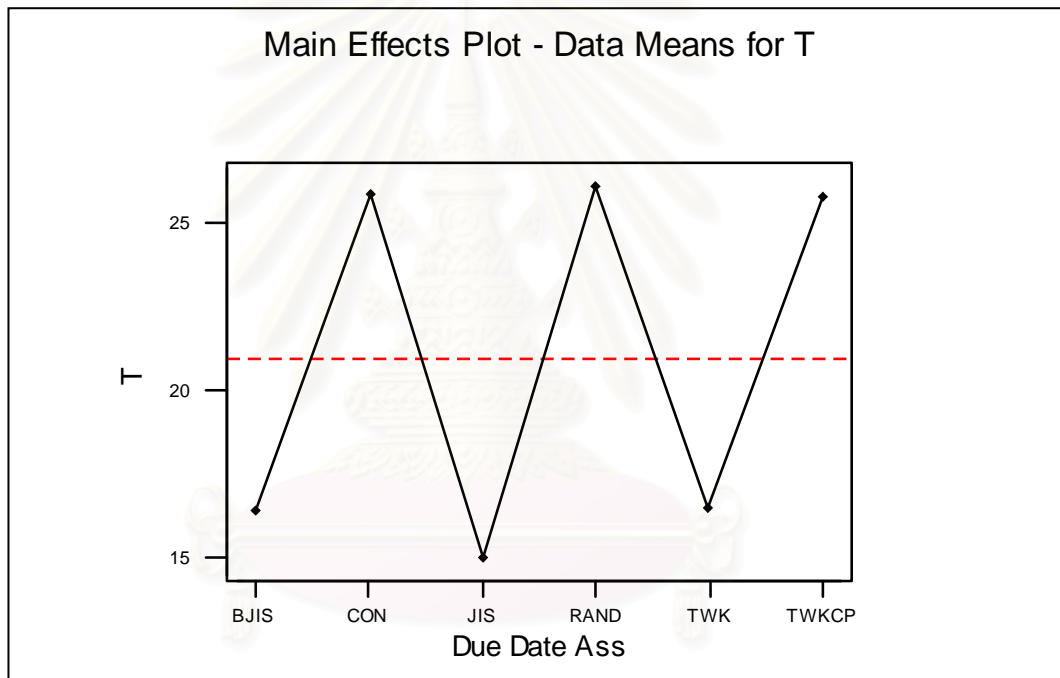
รูปที่ 5-17 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาลำช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



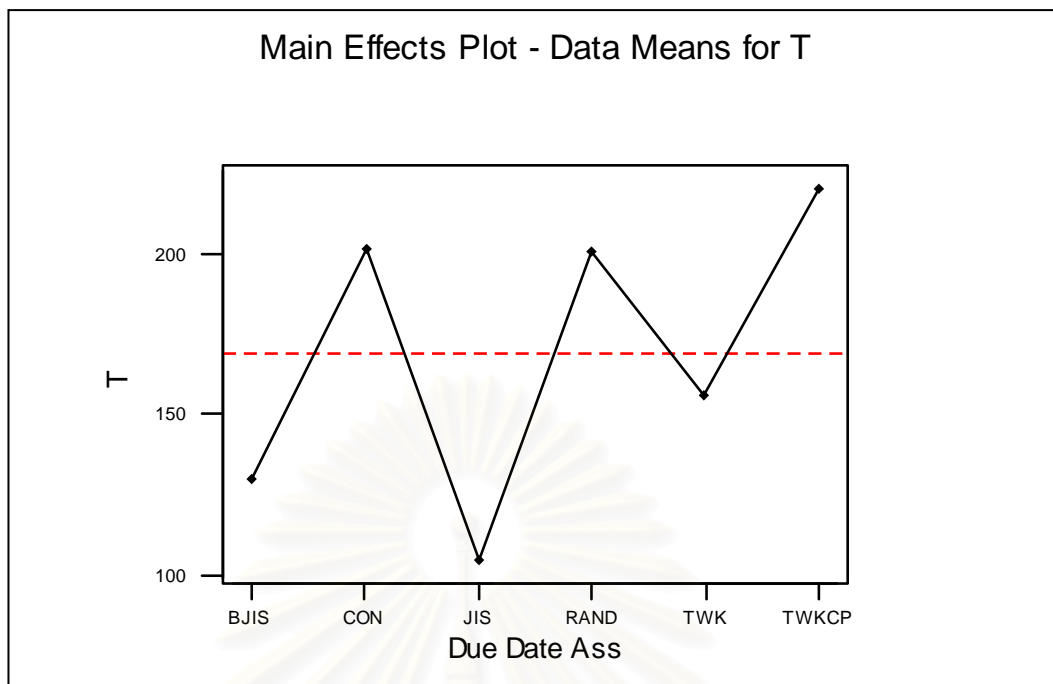
รูปที่ 5-18 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาลำช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-16 – 5-18 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ค่าระยะเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% และกฎ JDD ให้ค่าระยะเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อยในระบบที่ไม่สมดุล ส่วนกฎที่ให้ค่าระยะเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

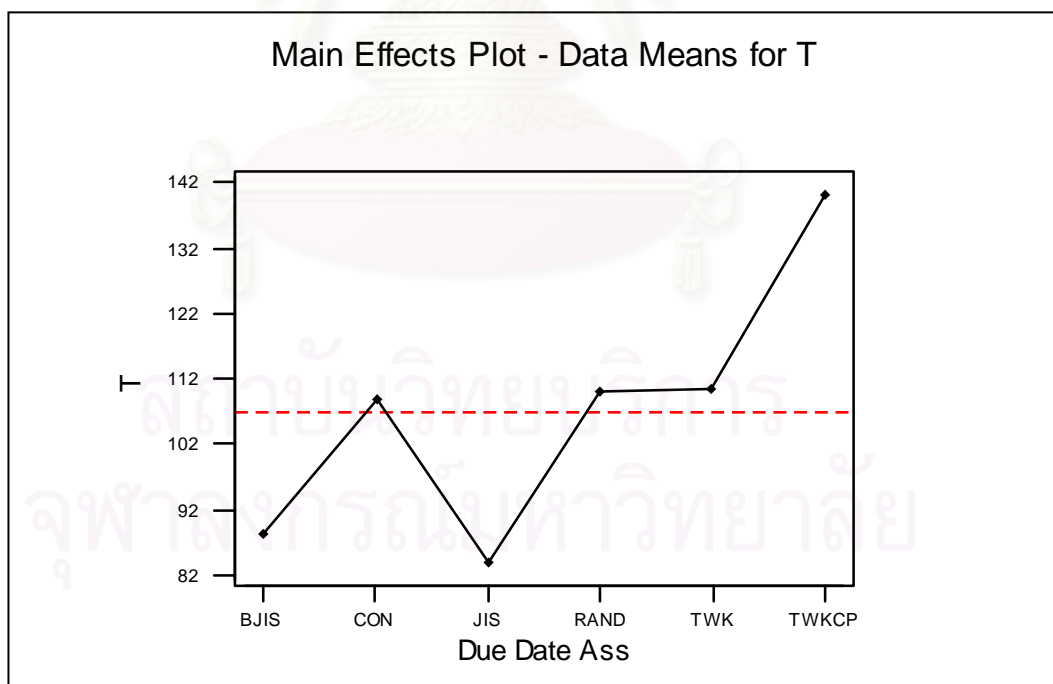
5.2.2.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-19 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



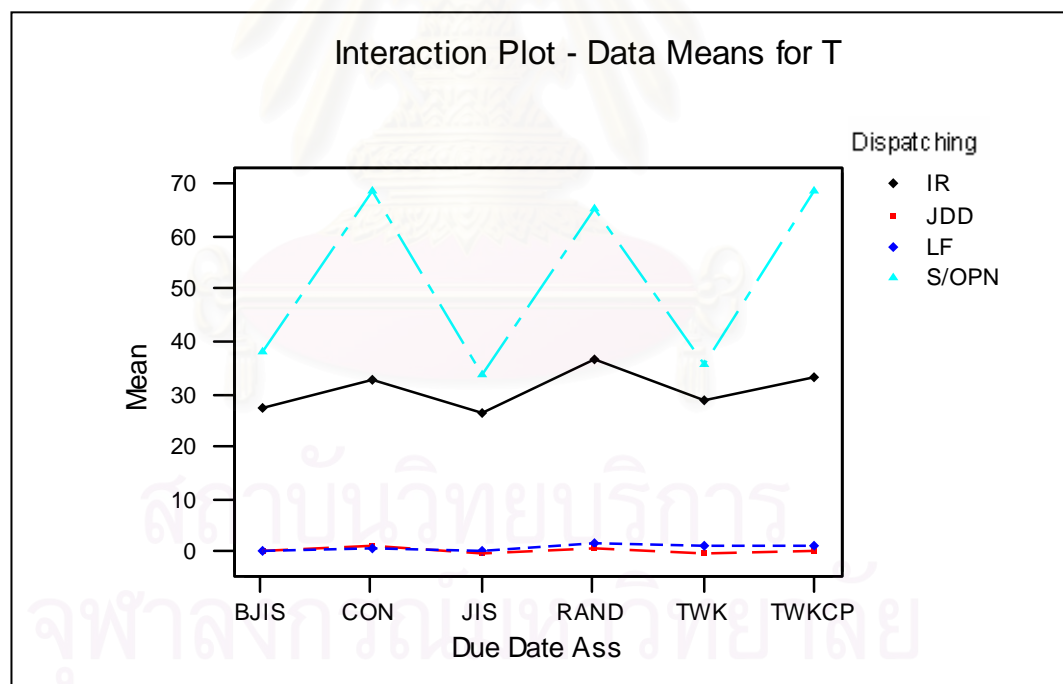
รูปที่ 5-20 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



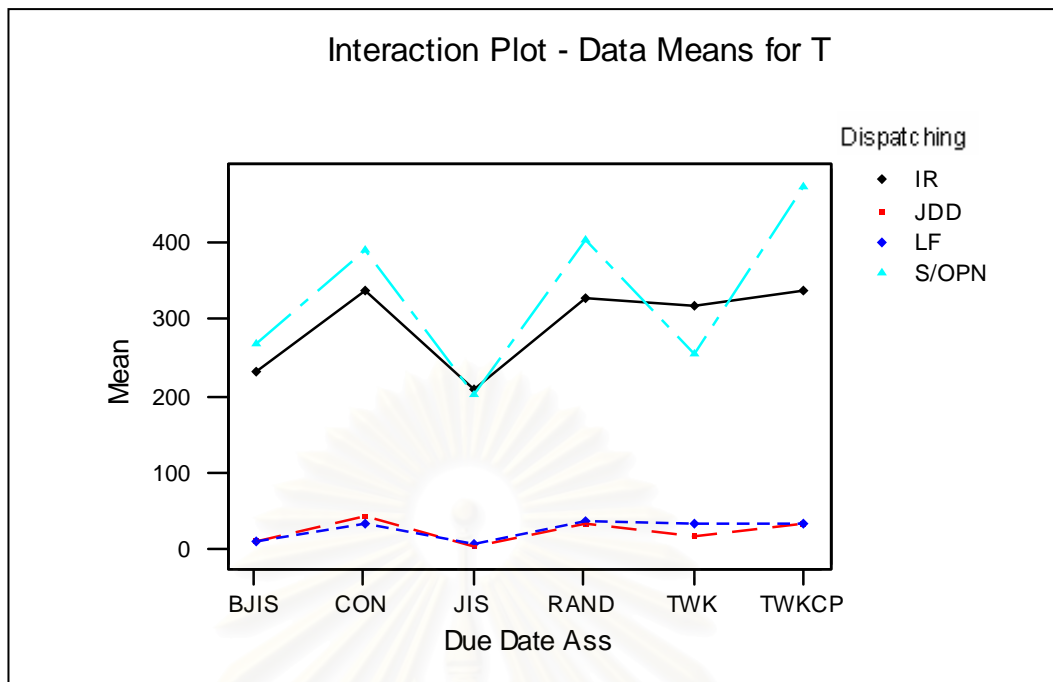
รูปที่ 5-21 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ดังกราฟรูปที่ 5-19 - 5-21 พบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ซึ่งเป็นกฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานและข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบนั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำในทุกสถานะของระบบ และพบว่ากฎ TWK ซึ่งเป็นกฎที่ใช้เพียงข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำใกล้เคียงกับกฎ JIS และ BJIS ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% แต่กลับให้ค่าที่สูงกว่าในระดับการใช้งานของระบบ 90% และให้ค่าที่สูงกว่ามากในระบบที่ไม่สมดุล รวมทั้งพบว่ากฎ TWKCP ซึ่งเป็นกฎที่ใช้เพียงข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบเช่นเดียวกับกฎ TWK กลับให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก เช่นเดียวกับการกำหนดเวลาส่งมอบโดยค่าคงที่ (CON) และโดยวิธีการสุ่ม (RAND)

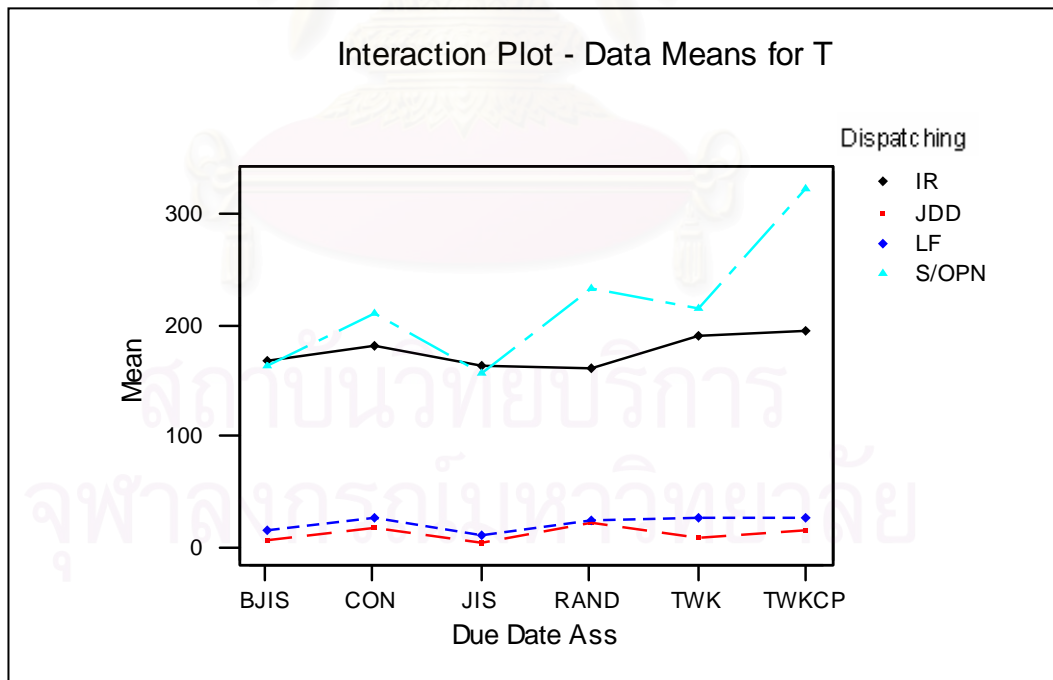
5.2.2.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-22 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-23 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-24 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-22 – 5-24 พบว่า การจัดลำดับงานตามกฎ JDD และกฎ LF นั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำและมีค่าที่ใกล้เคียงกันมากในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งแตกต่างจากกฎ IR และกฎ S/OPN ที่เห็นผลของความสัมพันธ์ร่วมได้อย่างชัดเจน โดยพบว่า ในระบบที่สมดุล ทั้งสองกฎจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่า เมื่อใช้ร่วมกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK JIS และ BJIS แต่กลับพบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้น เมื่อใช้กฎ S/OPN ร่วมกับกฎ TWK จะทำให้เกิดเวลาล่าช้าของงานที่สูง และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ใช้ร่วมกับกฎ IR ที่ให้เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดนั้น กลับเป็นกฎ RAND ซึ่งให้ค่าที่ใกล้เคียงกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ซึ่งจะพบว่า เมื่อระบบเกิดความไม่สมดุลแล้ว จะทำให้ผลของปัจจัยหลักทั้งสองด้าน ที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.2.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-2 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้าน
เวลาทำงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|-------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-JIS | 0.05 | ↑ JDD-JIS | 5.80 | ↑ JDD-JIS | 5.48 |
| JDD-TWK | 0.07 | LF-JIS | 6.12 | JDD-BJIS | 7.55 |
| JDD-BJIS | 0.10 | JDD-BJIS | 11.06 | JDD-TWK | 8.81 |
| LF-JIS | 0.22 | LF-BJIS | 11.70 | LF-JIS | 11.65 |
| LF-BJIS | 0.38 | JDD-TWK | 17.16 | LF-BJIS | 15.68 |
| JDD-TWKCP | 0.45 | LF-CON | 33.37 | JDD-TWKCP | 16.54 |
| LF-CON | 0.98 | LF-TWK | 33.69 | JDD-CON | 17.39 |
| JDD-RAND | 1.00 | JDD-RAND | 33.93 | JDD-RAND | 22.02 |
| LF-TWKCP | 1.10 | LF-TWKCP | 34.32 | LF-RAND | 25.10 |
| JDD-CON | 1.23 | JDD-TWKCP | 34.97 | LF-CON | 26.31 |
| LF-TWK | 1.53 | LF-RAND | 37.67 | LF-TWK | 26.82 |
| ↓ LF-RAND | 1.86 | ↓ JDD-CON | 44.23 | ↓ LF-TWKCP | 27.25 |
| ↑ IR-JIS | 26.53 | ↑ S/OPN-JIS | 201.73 | ↑ S/OPN-JIS | 155.76 |
| IR-BJIS | 27.25 | IR-JIS | 207.94 | IR-RAND | 160.91 |
| ↑ IR-TWK | 28.77 | IR-BJIS | 230.71 | ↑ S/OPN-BJIS | 162.76 |
| IR-CON | 32.49 | ↑ S/OPN-TWK | 256.17 | IR-JIS | 163.79 |
| IR-TWKCP | 33.02 | ↓ S/OPN-BJIS | 267.26 | ↑ IR-BJIS | 167.62 |
| S/OPN-JIS | 33.50 | ↑ IR-TWK | 318.66 | IR-CON | 181.97 |
| S/OPN-TWK | 35.73 | IR-RAND | 328.66 | ↑ IR-TWK | 191.27 |
| ↓ IR-RAND | 36.37 | IR-CON | 337.69 | ↓ IR-TWKCP | 194.30 |
| ↓ S/OPN-BJIS | 38.07 | IR-TWKCP | 338.75 | ↓ S/OPN-CON | 209.77 |
| ↑ S/OPN-RAND | 64.93 | ↑ S/OPN-CON | 390.46 | ↓ S/OPN-TWK | 214.91 |
| S/OPN-TWKCP | 68.30 | ↓ S/OPN-RAND | 401.76 | ↓ S/OPN-RAND | 232.81 |
| ↓ S/OPN-CON | 68.45 | ↓ S/OPN-TWKCP | 472.32 | S/OPN-TWKCP | 322.13 |

จากตารางที่ 5-2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า กฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งพบว่าให้ผลที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่ทั้งสองกฎจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกับกฎ S/OPN ที่จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS แต่กลับพบว่า กฎ IR นั้นจะให้ค่าเวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS เพียงแค่ในระบบที่สมดุลเท่านั้น กฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าเวลาล่าช้าที่ต่ำที่สุดสำหรับกฎ IR ในระบบที่ไม่สมดุล ได้แก่กฎ RAND ซึ่งเป็นการกำหนดเวลาส่งมอบโดยวิธีการสุ่ม และพบว่ากฎ S/OPN จะให้ค่าเวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยที่สูงมาก เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON RAND และ TWKCP



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.3 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)

5.2.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|----------|---------|---------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 15311.11 | 5103.70 | 3061.08 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 273.05 | 54.61 | 32.75 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 413.38 | 27.56 | 16.53 | 0.000 | |
| Error | 456 | 760.28 | 1.67 | | | |
| Total | 479 | 16757.82 | | | | |

รูปที่ 5-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|---------|---------|---------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 52559.1 | 17519.7 | 1111.03 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 6732.9 | 1346.6 | 85.39 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 1544.8 | 103.0 | 6.53 | 0.000 | |
| Error | 456 | 7190.6 | 15.8 | | | |
| Total | 479 | 68027.4 | | | | |

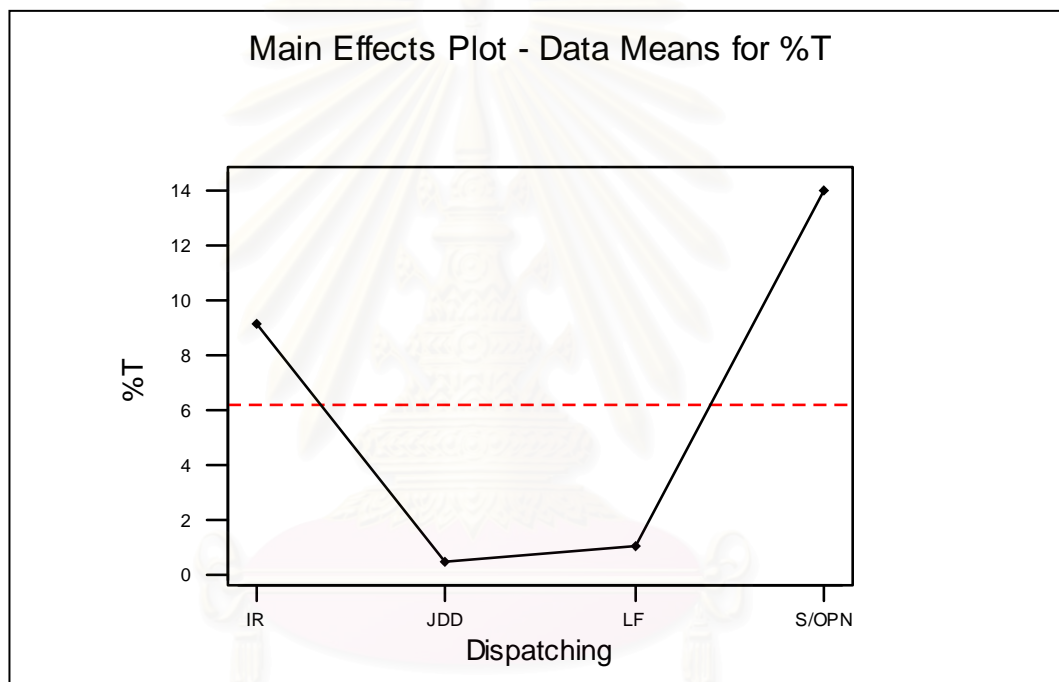
รูปที่ 5-26 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|---------|--------|--------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 19545.7 | 6515.2 | 613.57 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 327.1 | 65.4 | 6.16 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 1321.0 | 88.1 | 8.29 | 0.000 | |
| Error | 456 | 4842.1 | 10.6 | | | |
| Total | 479 | 26035.9 | | | | |

รูปที่ 5-27 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

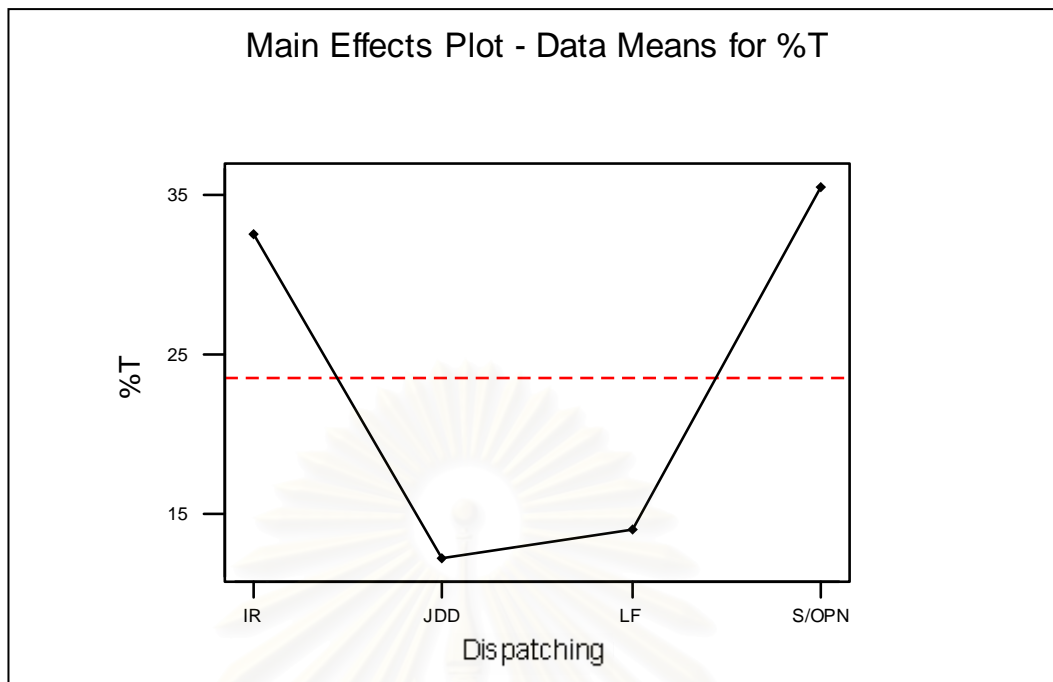
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยทางด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้น มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลลักษณะเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ

5.2.3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-28 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



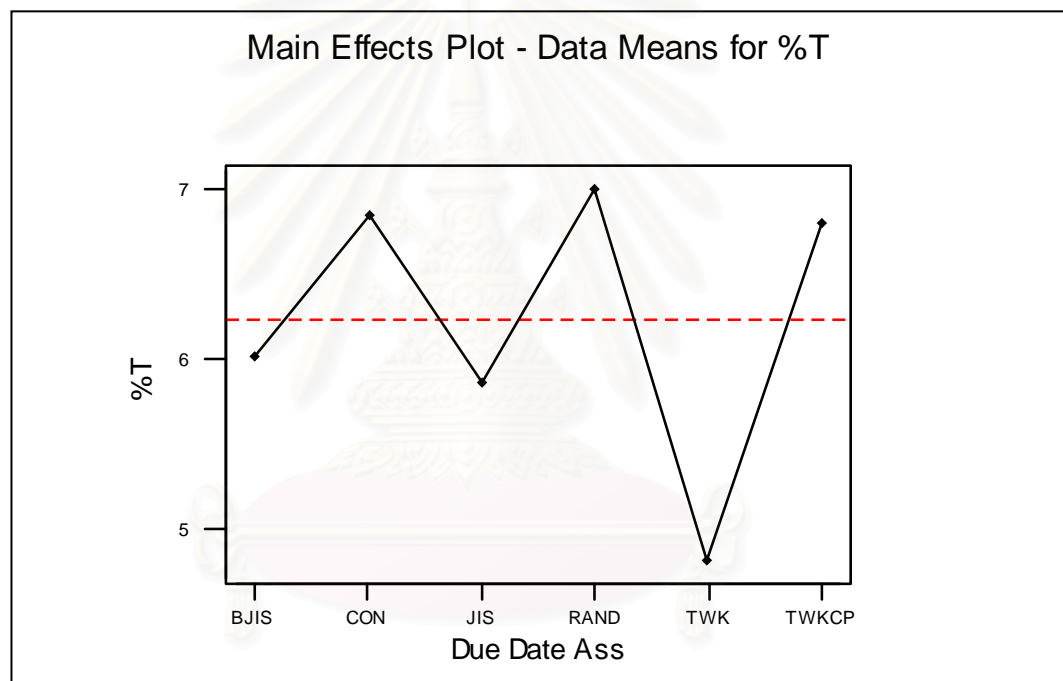
รูปที่ 5-29 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



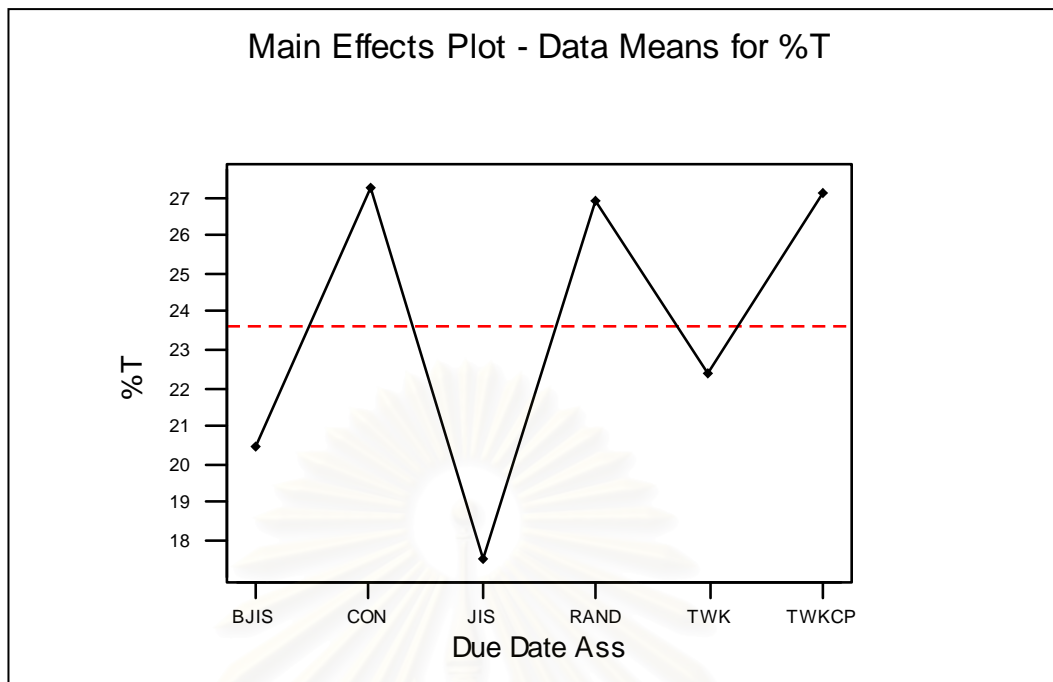
รูปที่ 5-30 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-28 – 5-30 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% และกฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำกว่ากฎ LF อย่างเห็นได้ชัดมากขึ้นในระบบที่ไม่สมดุล ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

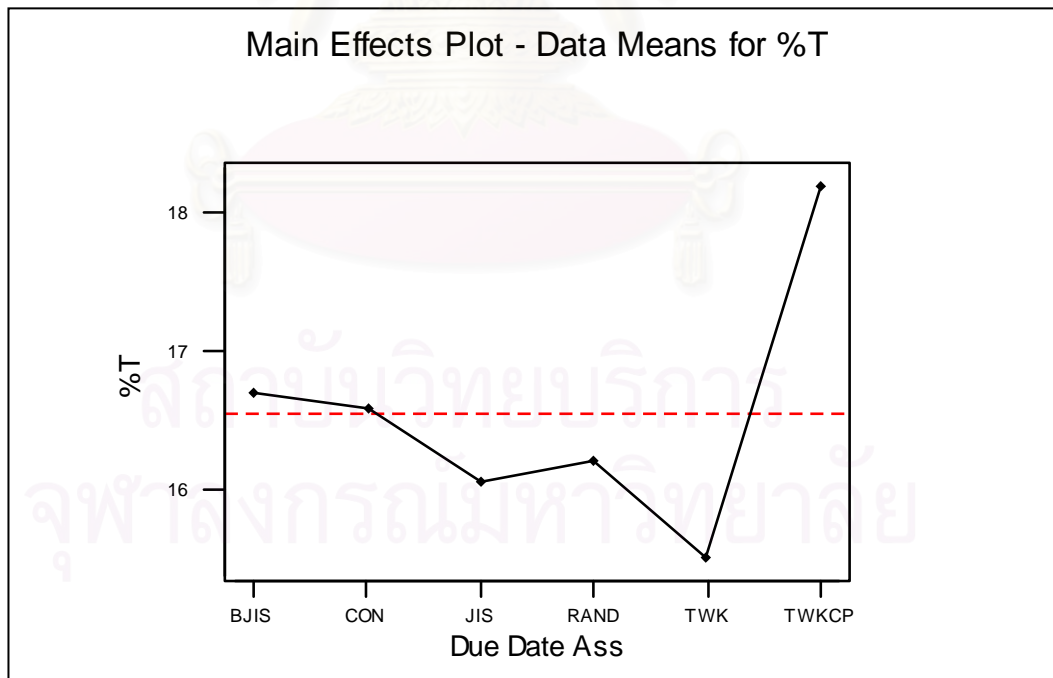
5.2.3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-31 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



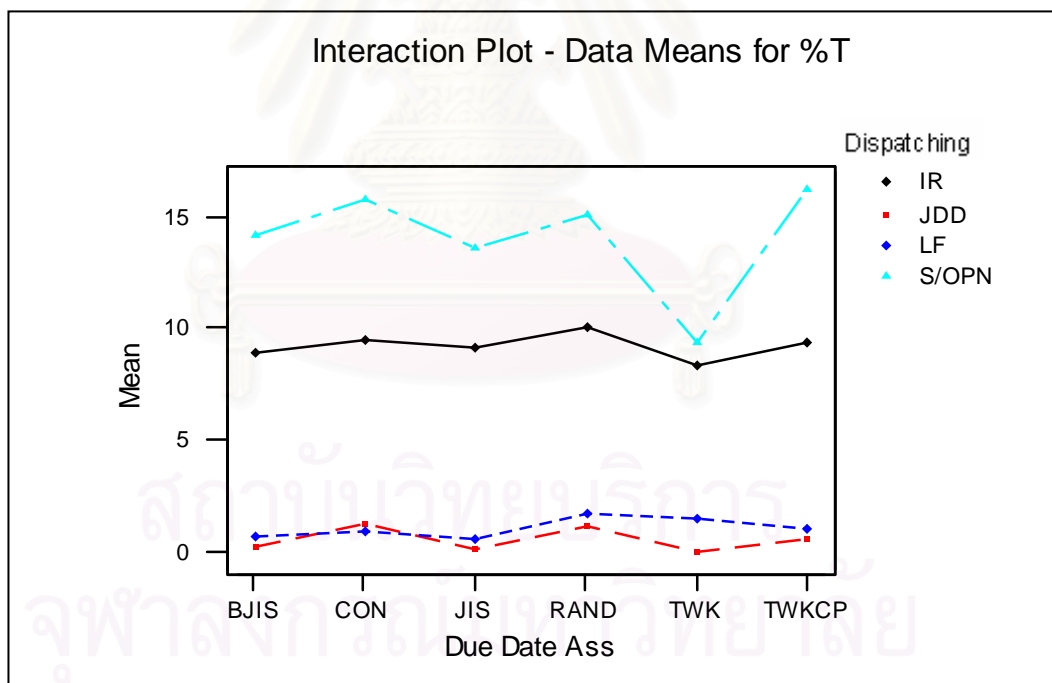
รูปที่ 5-32 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



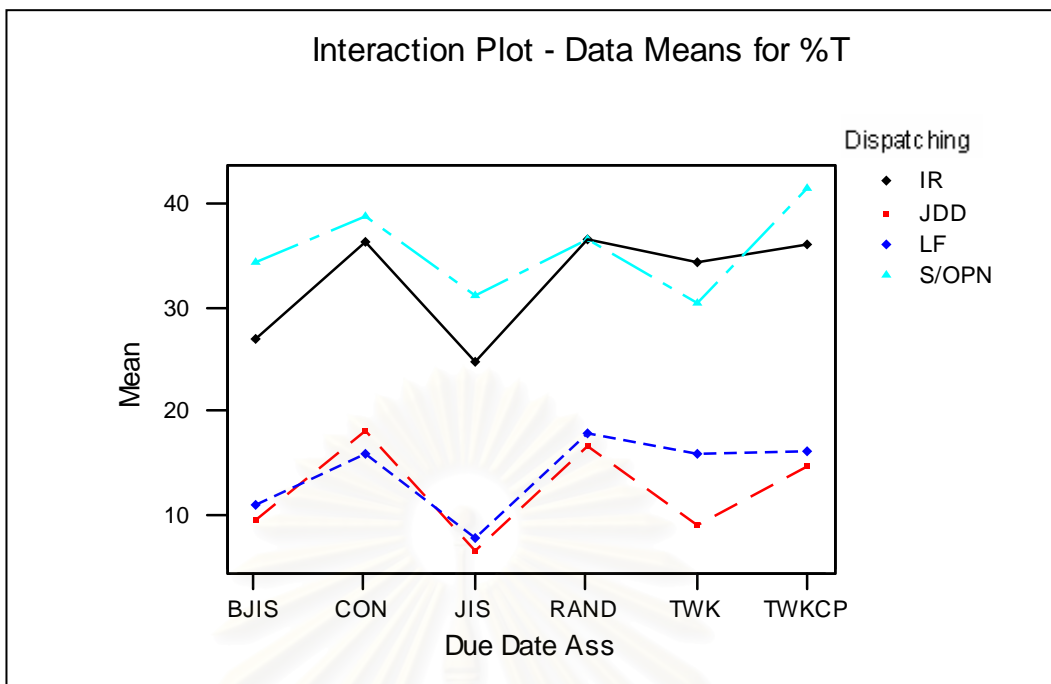
รูปที่ 5-33 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ดังกราฟรูปที่ 5-31 - 5-33 พบว่าในระบบที่สมดุลทั้งที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% ประสิทธิภาพของกฎการกำหนดเวลาส่งมอบจะแสดงออกมาในทิศทางที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ กฎ TWK JIS และ BJIS สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำ โดยในระดับการใช้งานของระบบ 80% กฎ TWK จะให้ค่าที่ต่ำกว่า ส่วนในระดับการใช้งานของระบบ 90% นั้น กฎ JIS และ BJIS จะให้ค่าที่ต่ำกว่า และเมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่าค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่เกิดจากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบค่อนข้างมีความผันแปรไปจากในระบบที่สมดุล โดยกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าต่ำที่สุด คือกฎ TWK ตามมาด้วยกฎ JIS และกฎ RAND ส่วนกฎ BJIS กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงในระบบที่ไม่สมดุล และสุดท้าย พบว่ากฎ TWKCP ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงในทุกสภาวะของระบบ

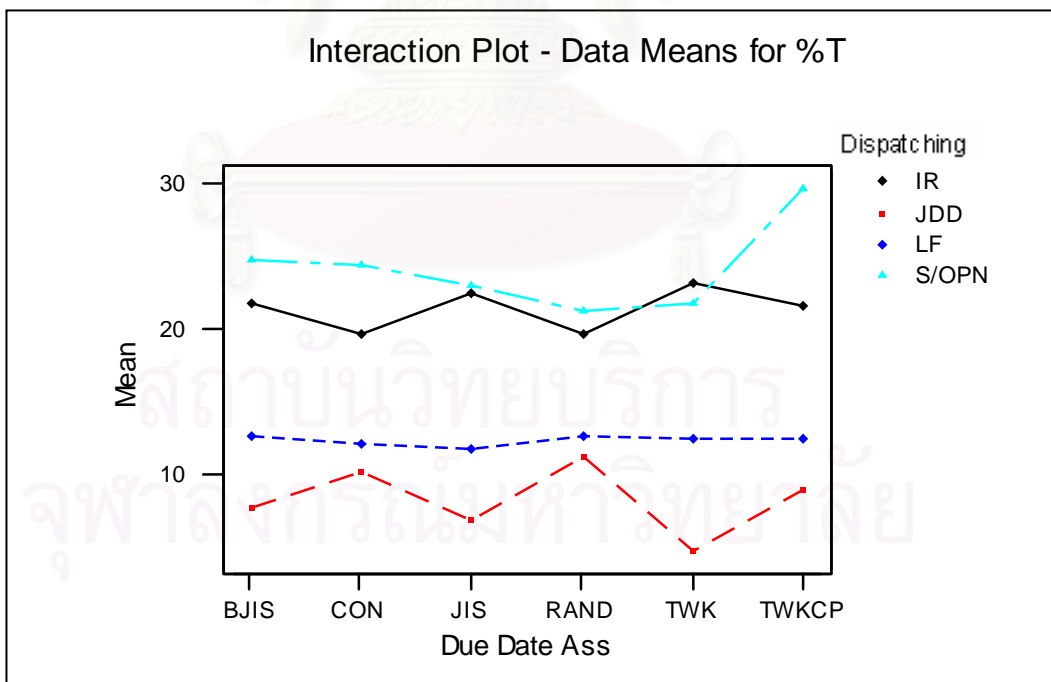
5.2.3.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-34 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-35 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-36 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-34 – 5-36 พบว่าการจัดลำดับงานตามกฎ JDD และกฎ LF นั้น ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดและทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากในระบบที่สมดุล โดยเมื่อพิจารณาในระดับการใช้งานของระบบที่ 80% ประสิทธิภาพของทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะไม่แปรเปลี่ยนไปมากเมื่อกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบเปลี่ยนไป แต่เมื่อภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นจนถึงระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบเริ่มส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างเห็นได้ชัด โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS TWK และ BJIS ส่วนกฎ LF จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS เท่านั้น และเมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุลจะพบว่ากฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JDD ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

ในส่วนของกฎ S/OPN และกฎ IR นั้น พบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูง โดยในระดับการใช้งานของระบบที่ 80% จะพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่สูงกว่ากฎ IR ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นจนถึงระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่าทั้งสองกฎนั้นให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ใกล้เคียงกัน และโดยภาพรวมเป็นไปในทิศทางเดียวกันเมื่อกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบเปลี่ยนไป รวมทั้งพบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้นกฎ IR กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบโดยค่าคงที่ (CON) และโดยวิธีการสุ่ม (RAND) ซึ่งต่างจากในระบบที่สมดุล

5.2.3.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-3 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้าน
เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-TWK | 0.07 | ↑ JDD-JIS | 6.59 | ↑ JDD-TWK | 4.93 |
| JDD-JIS | 0.17 | LF-JIS | 7.82 | ↑ JDD-JIS | 7.03 |
| ↑ JDD-BJIS | 0.28 | JDD-TWK | 9.00 | ↑ JDD-BJIS | 7.87 |
| JDD-TWKCP | 0.57 | JDD-BJIS | 9.52 | ↑ JDD-TWKCP | 9.02 |
| LF-JIS | 0.58 | ↑ LF-BJIS | 11.00 | ↓ JDD-CON | 10.28 |
| LF-BJIS | 0.76 | ↓ JDD-TWKCP | 14.71 | ↓ JDD-RAND | 11.29 |
| LF-CON | 0.92 | LF-TWK | 15.74 | LF-JIS | 11.86 |
| LF-TWKCP | 1.09 | LF-CON | 15.78 | LF-CON | 12.13 |
| JDD-RAND | 1.12 | LF-TWKCP | 16.14 | LF-TWK | 12.44 |
| JDD-CON | 1.25 | JDD-RAND | 16.55 | LF-TWKCP | 12.56 |
| ↓ LF-TWK | 1.56 | LF-RAND | 17.76 | LF-RAND | 12.60 |
| ↓ LF-RAND | 1.74 | ↓ JDD-CON | 18.00 | ↓ LF-BJIS | 12.63 |
| ↑ IR-TWK | 8.31 | ↑ IR-JIS | 24.77 | ↑ IR-CON | 19.63 |
| ↑ IR-BJIS | 8.95 | ↑ IR-BJIS | 26.91 | IR-RAND | 19.71 |
| IR-JIS | 9.17 | ↑ S/OPN-TWK | 30.42 | ↑ S/OPN-RAND | 21.19 |
| IR-TWKCP | 9.37 | ↓ S/OPN-JIS | 31.08 | IR-TWKCP | 21.58 |
| S/OPN-TWK | 9.40 | ↑ IR-TWK | 34.37 | S/OPN-TWK | 21.64 |
| ↓ IR-CON | 9.45 | ↓ S/OPN-BJIS | 34.45 | IR-BJIS | 21.68 |
| ↓ IR-RAND | 10.06 | IR-TWKCP | 36.13 | IR-JIS | 22.37 |
| ↑ S/OPN-JIS | 13.54 | IR-CON | 36.25 | S/OPN-JIS | 22.97 |
| ↑ S/OPN-BJIS | 14.10 | S/OPN-RAND | 36.64 | ↓ IR-TWK | 23.07 |
| ↓ S/OPN-RAND | 15.06 | IR-RAND | 36.64 | S/OPN-CON | 24.30 |
| S/OPN-CON | 15.77 | ↑ S/OPN-CON | 38.90 | ↓ S/OPN-BJIS | 24.61 |
| ↓ S/OPN-TWKCP | 16.17 | ↓ S/OPN-TWKCP | 41.51 | S/OPN-TWKCP | 29.54 |

จากตารางที่ 5-3 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในช่วงกว้างของลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า กฎการจ่ายงานที่ให้เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้ามีค่าต่ำที่สุดในระบบที่สมดุล ได้แก่กฎ JDD และ LF โดยเมื่อพิจารณาในระดับการใช้งานของระบบที่ 80% จะพบว่าประสิทธิภาพของทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบเปลี่ยนไป แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นจนถึงระดับการใช้งานของระบบที่ 90% จะพบว่ากฎการกำหนดเวลาส่งมอบเริ่มส่งผลกระทบต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างเห็นได้ชัด โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS TWK และ BJIS ส่วนกฎ LF จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS เท่านั้น และเมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุลจะพบว่ากฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JDD ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

ส่วนกฎการจ่ายงานแบบ IR และ S/OPN นั้นพบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูง โดยกฎ IR จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และตามกฎ JIS ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% ส่วนกฎ S/OPN จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ทั้งที่ระดับนัยสำคัญ 80% และ 90% แต่ในระบบที่ไม่สมดุล กลับพบว่ากฎ IR จะให้ค่าที่ต่ำกว่า เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ RAND ส่วนกฎ S/OPN ยังคงเป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP เช่นเดียวกับในระบบที่สมดุล

5.2.4 การวิเคราะห์ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)

5.2.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|---------|--------|---------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 39965 | 13322 | 282.90 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 2478056 | 495611 | 1.1E+04 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 46928 | 3129 | 66.44 | 0.000 | |
| Error | 456 | 21473 | 47 | | | |
| Total | 479 | 2586422 | | | | |

รูปที่ 5-37 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 7372673 | 2457558 | 494.68 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 1450145 | 290029 | 58.38 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 392575 | 26172 | 5.27 | 0.000 | |
| Error | 456 | 2265408 | 4968 | | | |
| Total | 479 | 11480801 | | | | |

รูปที่ 5-38 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

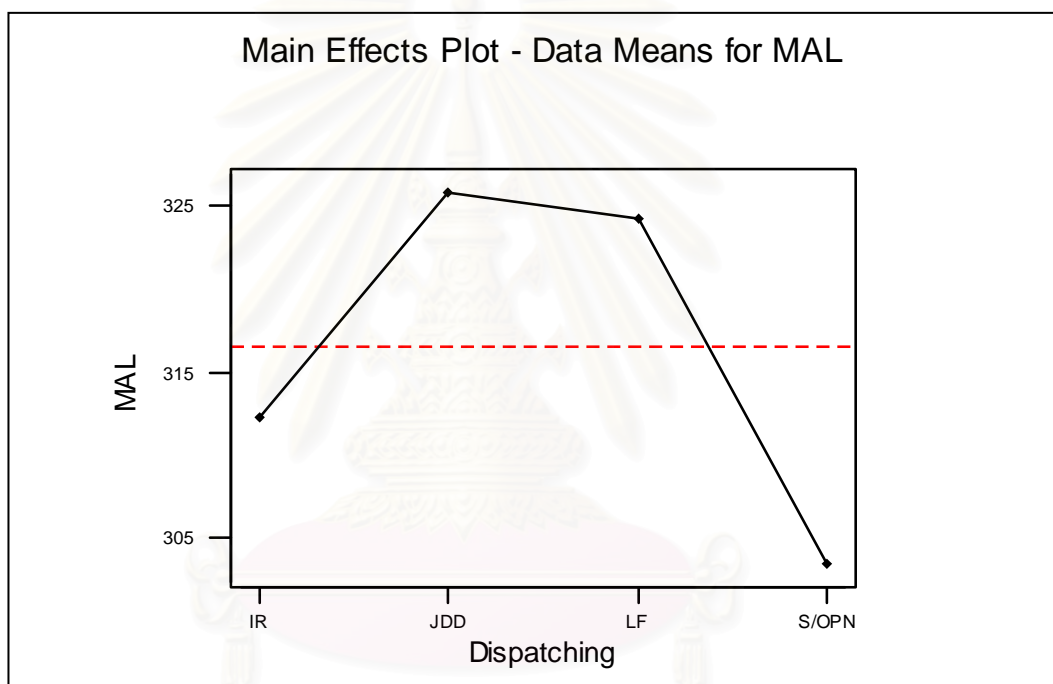
Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|---------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 3536119 | 1178706 | 755.33 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 1977500 | 395500 | 253.44 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 199127 | 13275 | 8.51 | 0.000 | |
| Error | 456 | 711593 | 1561 | | | |
| Total | 479 | 6424339 | | | | |

รูปที่ 5-39 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

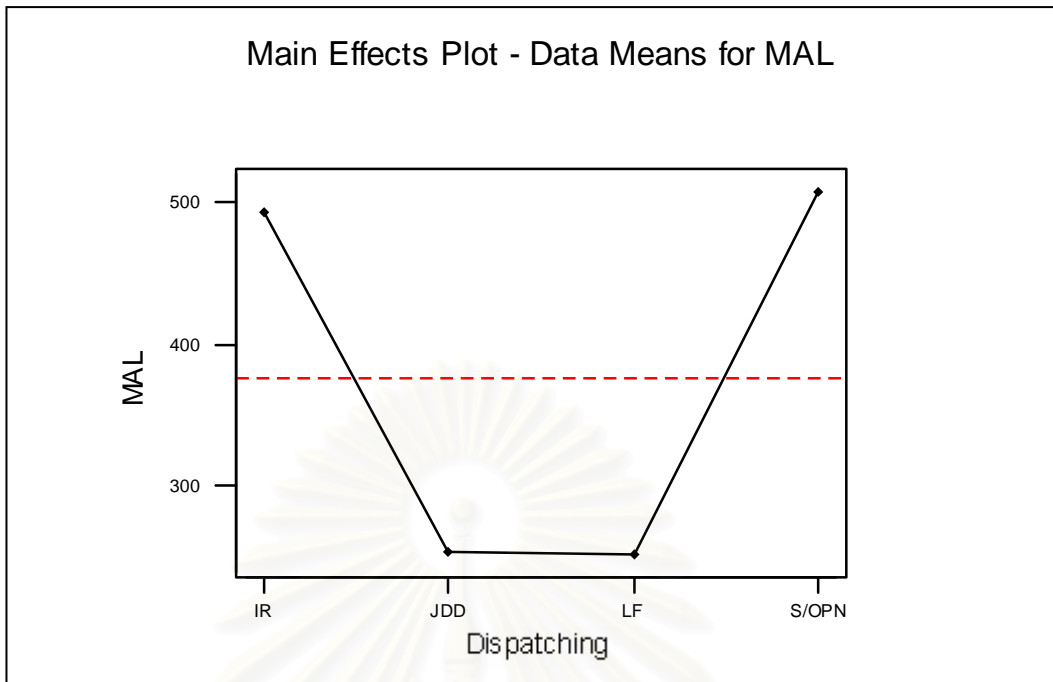
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยทางด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้น มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลรวมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลในลักษณะเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ

5.2.4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)

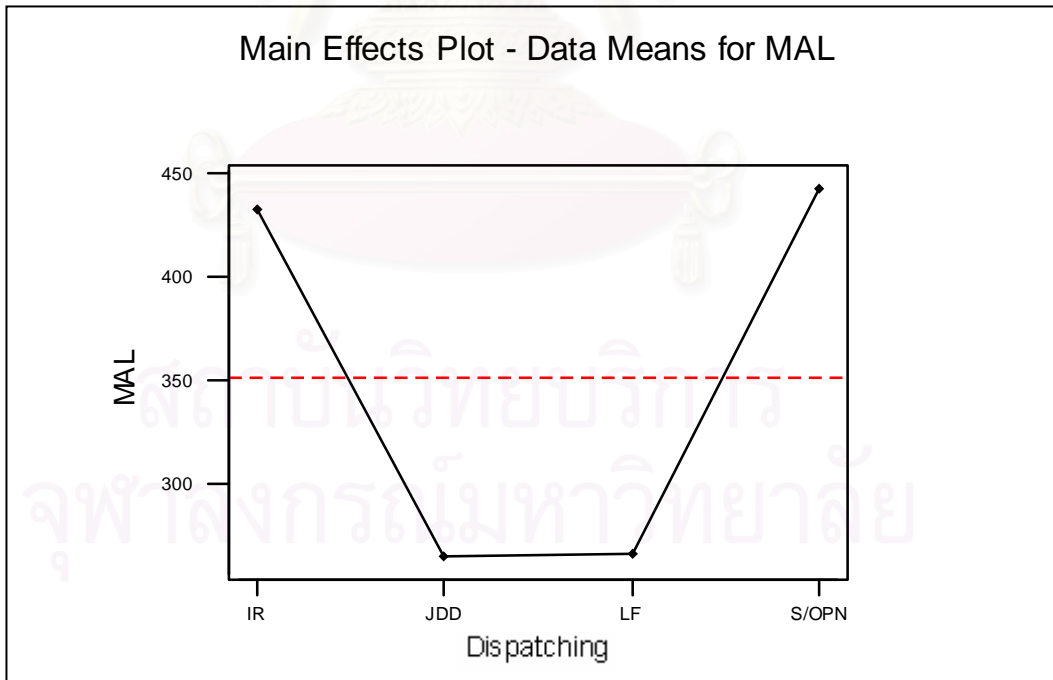


รูปที่ 5-40 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



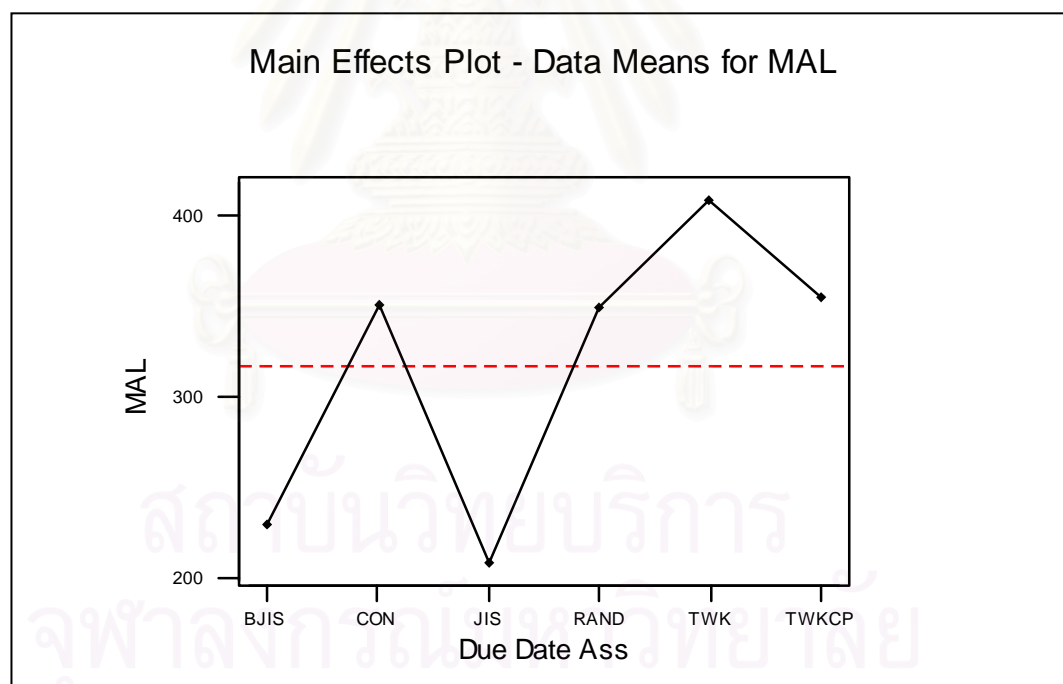
รูปที่ 5-41 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



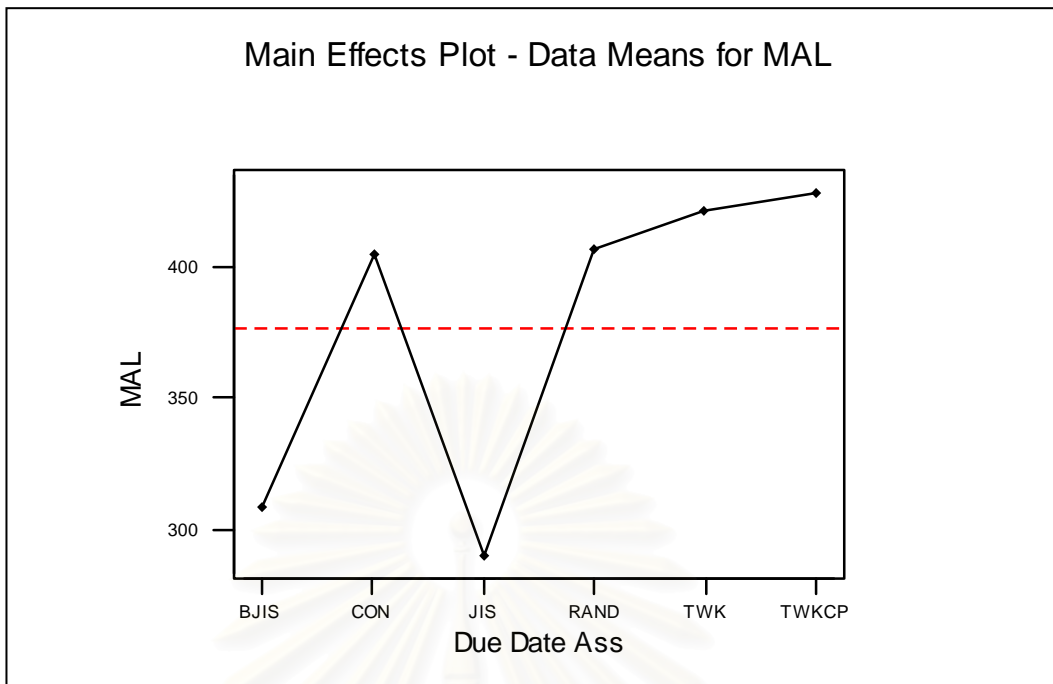
รูปที่ 5-42 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-40 – 5-42 จะพบว่า ประสิทธิภาพทางด้านสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่เกิดจากกฎการจ่ายงานที่ต่างกัน จะมีความขัดแย้งกันเมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนแปลงไป โดยในระบบที่มีระดับการใช้งาน 80% นั้นพบว่า กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN และกฎ IR ตามลำดับ ซึ่งขัดแย้งกับระบบที่มีระดับการใช้งาน 90% และในระบบที่ไม่สมดุล ที่พบว่ากฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด กลับได้แก่กฎ JDD และ LF โดยทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่เมื่อพิจารณาที่สเกลของค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยหรือสเกลในแนวตั้ง จะพบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% สเกลมีค่าต่างกันน้อยมาก ซึ่งต่างกับในระบบที่มีระดับการใช้งาน 90% และในระบบที่ไม่สมดุล ที่สเกลมีช่วงกว้างที่ห่างกันมากกว่าหลายเท่า ดังนั้น จึงต้องอาศัยการวิเคราะห์ในขั้นต่อไป เพื่อให้สามารถสรุปได้อย่างถูกต้องและชัดเจนมากขึ้น

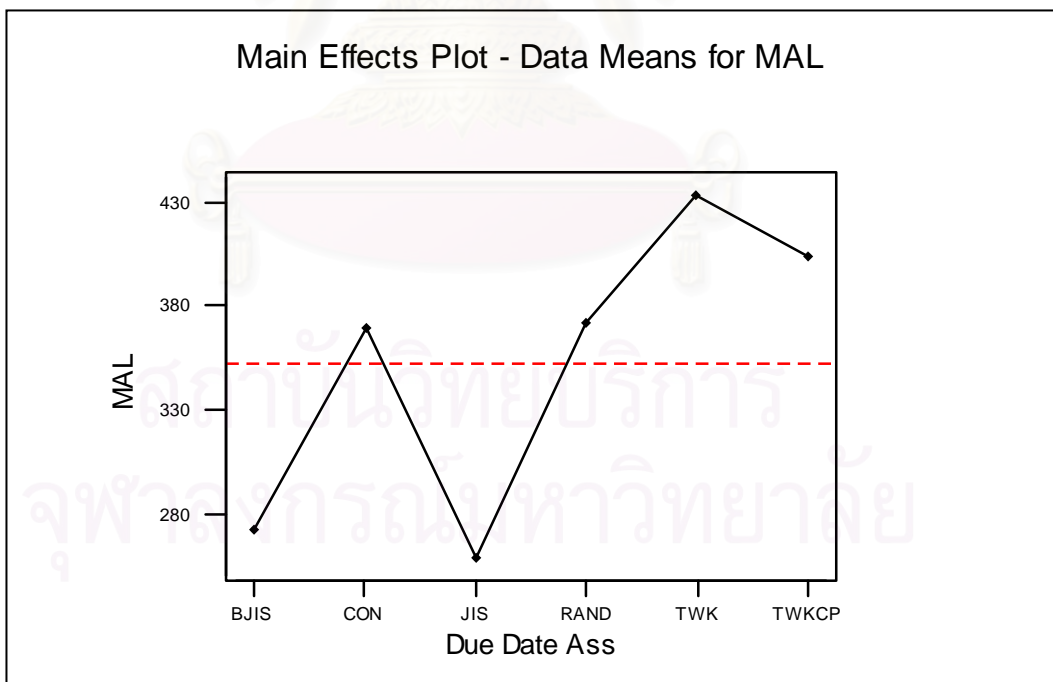
5.2.4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-43 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



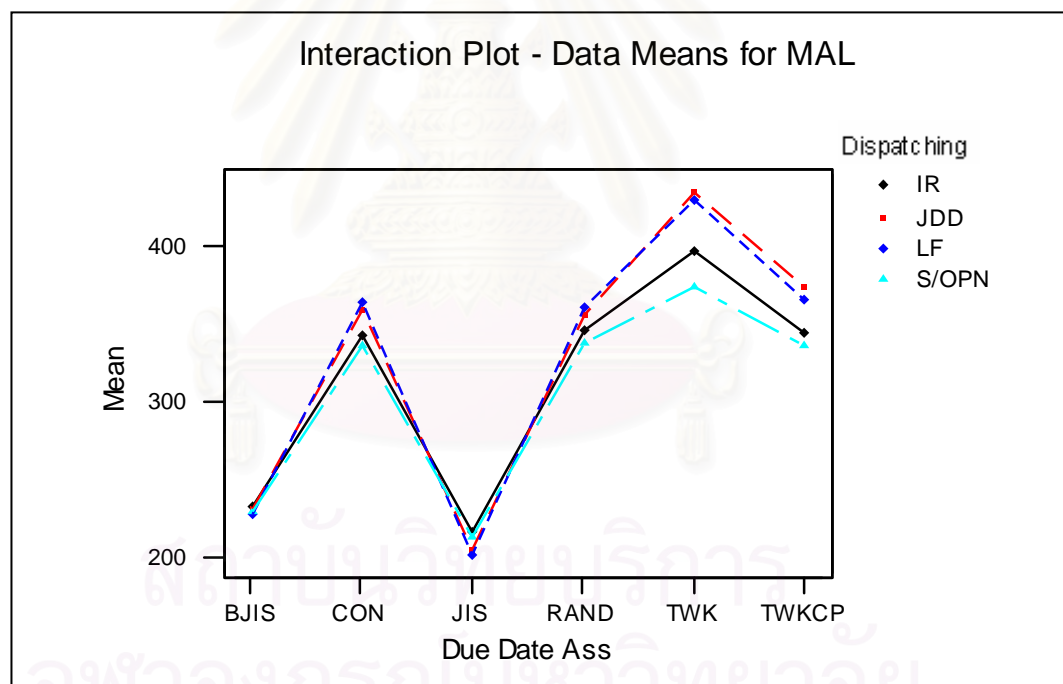
รูปที่ 5-44 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



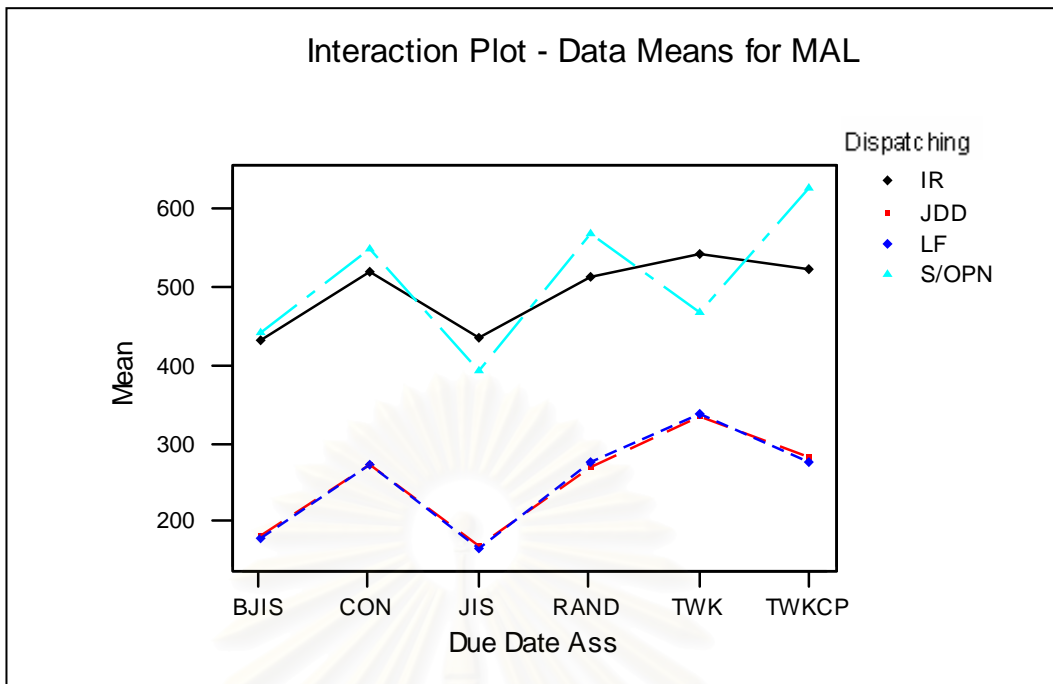
รูปที่ 5-45 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ดังกราฟรูปที่ 5-43 - 5-45 พบว่า ให้ผลไปในทิศทางเดียวกันในทุกสถานะของระบบ โดยกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่ กฎ JIS และกฎ BJIS ตามมาด้วยกฎ CON และกฎ RAND ที่ให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่กฎ TWK และ TWKCP ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ในการวิเคราะห์ด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า นั้น พบว่ากฎ TWK ถือเป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพทั้งสองด้านนี้ต่ำ แต่กลับให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก นั่นหมายความว่า กฎ TWK ถือว่ากำหนดเวลาส่งมอบได้ไม่แม่นยำนัก และน่าที่จะเป็นกฎที่ให้เวลาเสร็จสิ้นก่อนกำหนดของงาน (Earliness) ที่สูง แต่ให้เวลาล่าช้าของงาน (Tardiness) ที่ต่ำ

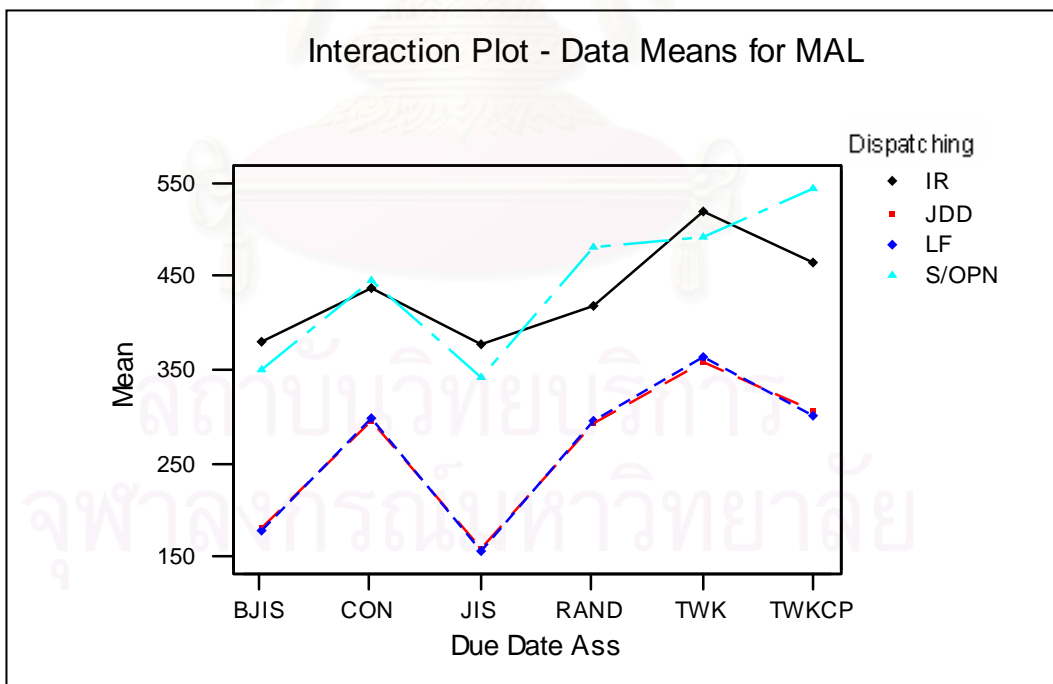
5.2.4.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-46 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-47 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-48 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-46 – 5-48 พบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ผลของกฎการจ่ายงานที่ต่างกันส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยน้อยมาก โดยจะพบว่ากฎที่ให้ค่าที่ต่ำที่สุดนั้นได้แก่กฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และพบว่า เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ RAND TWK และ TWKCP แล้ว กฎ S/OPN กลับเป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ส่วนในระดับการใช้งานของระบบที่ 90% กลับพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุลมาก โดยกฎ LF และ JDD นั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ IR และ S/OPN อย่างเห็นได้ชัดในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และทั้งสองกฎยังให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากด้วย โดยทั้งกฎ LF และกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS และให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.2.4.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-4 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|--------|-----------------|--------|-----------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ LF-JIS | 202.02 | ↑ LF-JIS | 167.79 | ↑ LF-JIS | 158.09 |
| ↑↓ JDD-JIS | 205.12 | ↑ JDD-JIS | 169.21 | ↑ JDD-JIS | 159.42 |
| ↑↓ S/OPN-JIS | 212.35 | ↓ LF-BJIS | 179.63 | ↓ LF-BJIS | 179.79 |
| ↓ IR-JIS | 216.22 | ↓ JDD-BJIS | 183.92 | ↓ JDD-BJIS | 181.39 |
| ↑ LF-BJIS | 226.90 | ↑ JDD-RAND | 270.30 | ↑ JDD-RAND | 293.40 |
| ↓ S/OPN-BJIS | 228.43 | ↓ JDD-CON | 274.74 | ↓ JDD-CON | 294.46 |
| ↓ JDD-BJIS | 231.39 | ↓ LF-CON | 274.78 | ↓ LF-RAND | 296.15 |
| ↓ IR-BJIS | 231.76 | ↓ LF-RAND | 275.07 | ↑ LF-CON | 298.42 |
| ↑ S/OPN-CON | 334.70 | ↓ LF-TWKCP | 278.12 | ↑↓ LF-TWKCP | 301.71 |
| ↑ S/OPN-TWKCP | 336.06 | ↓ JDD-TWKCP | 284.55 | ↑↓ JDD-TWKCP | 305.89 |
| ↑ S/OPN-RAND | 336.64 | ↑ JDD-TWK | 335.91 | ↑↓ S/OPN-JIS | 342.51 |
| ↑↓ IR-CON | 341.34 | ↑↓ LF-TWK | 338.72 | ↑↓ S/OPN-BJIS | 350.88 |
| ↓ IR-TWKCP | 343.17 | ↑ S/OPN-JIS | 392.54 | ↓ JDD-TWK | 359.27 |
| ↓ IR-RAND | 345.62 | ↓ IR-BJIS | 430.42 | ↓ LF-TWK | 362.61 |
| ↑ JDD-RAND | 354.18 | ↑ IR-JIS | 434.79 | ↑ IR-JIS | 377.82 |
| ↑ JDD-CON | 357.75 | ↑ S/OPN-BJIS | 441.92 | ↓ IR-BJIS | 379.86 |
| ↓ LF-RAND | 359.93 | ↑ S/OPN-TWK | 467.73 | ↑ IR-RAND | 417.39 |
| ↓ LF-CON | 363.92 | ↑ IR-RAND | 511.53 | ↑ IR-CON | 438.28 |
| ↑↓ LF-TWKCP | 365.34 | ↑ IR-CON | 518.40 | ↓ S/OPN-CON | 445.29 |
| ↓ S/OPN-TWK | 373.08 | ↓ IR-TWKCP | 521.71 | ↑ IR-TWKCP | 464.01 |
| ↓ JDD-TWKCP | 373.15 | ↓ IR-TWK | 543.08 | ↑↓ S/OPN-RAND | 479.68 |
| ↓ IR-TWK | 395.73 | ↑ S/OPN-CON | 548.71 | ↓ S/OPN-TWK | 490.69 |
| ↑ LF-TWK | 427.72 | ↓ S/OPN-RAND | 567.85 | ↑ IR-TWK | 519.33 |
| ↓ JDD-TWK | 433.25 | ↓ S/OPN-TWKCP | 626.06 | ↓ S/OPN-TWKCP | 543.29 |

จากตารางที่ 5-4 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า กฎการจ่ายงานที่ทำให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่กฎ LF โดยกำหนดเวลาส่งมอบให้เป็นไปตามกฎ JIS ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ แต่เป็นที่น่าสังเกตว่า ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎการจ่ายงานที่ต่างกัน ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยน้อยมาก นั่นคือ ปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบจะมีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยมากกว่า โดยกฎ JIS และ BJIS จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด และกฎ TWK และ TWKCP จะให้ค่าที่สูงที่สุด แต่เมื่อให้ระบบมีความแออัดมากขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% รวมทั้งให้ระบบมีความไม่สมดุล จะพบว่ากฎ LF และ JDD นั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ IR และ S/OPN อย่างเห็นได้ชัด โดยทั้งกฎ LF และ JDD จะให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และจะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ซึ่งกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยสูงที่สุดที่ระดับการใช้งานของระบบที่ 90% และในระบบที่ไม่สมดุล ได้แก่กฎ S/OPN เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบให้เป็นไปตามกฎ TWKCP

5.3 ระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

5.3.1 การวิเคราะห์เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)

5.3.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 27995935 | 9331978 | 565.54 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 224399 | 44880 | 2.72 | 0.020 |
| Interaction | 15 | 361412 | 24094 | 1.46 | 0.116 |
| Error | 456 | 7524458 | 16501 | | |
| Total | 479 | 36106204 | | | |

รูปที่ 5-49 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 1.113E+11 | 3.708E+10 | 23.63 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 1.220E+11 | 2.441E+10 | 15.56 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 3.727E+11 | 2.485E+10 | 15.83 | 0.000 |
| Error | 456 | 7.155E+11 | 1.569E+09 | | |
| Total | 479 | 1.321E+12 | | | |

รูปที่ 5-50 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

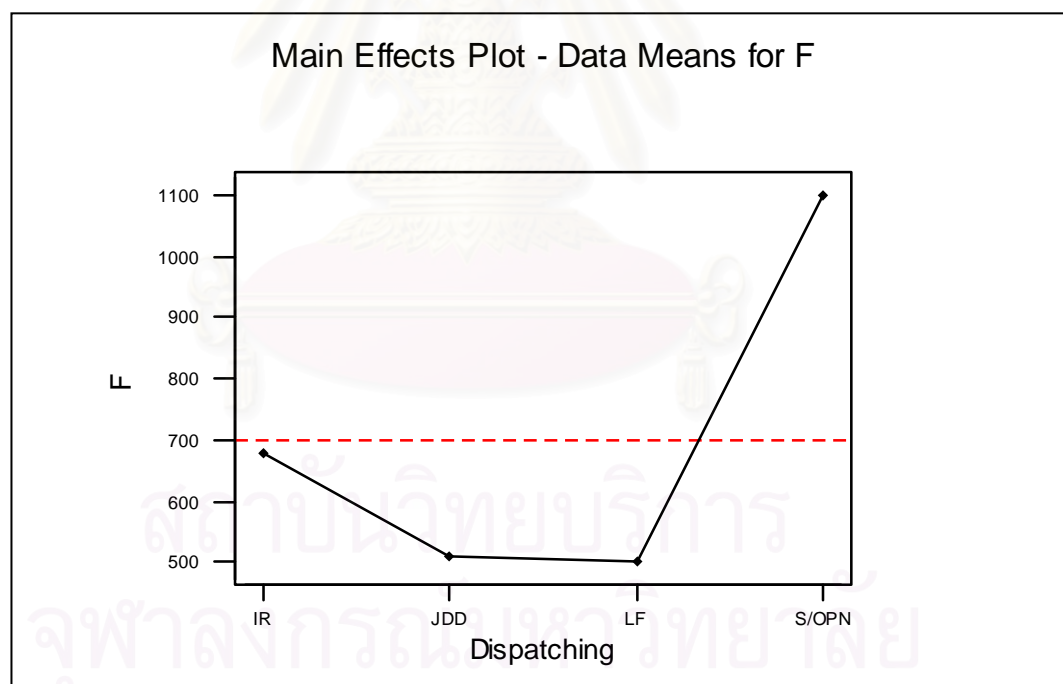
Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 103717207 | 34572402 | 454.28 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 177710 | 35542 | 0.47 | 0.801 |
| Interaction | 15 | 625270 | 41685 | 0.55 | 0.913 |
| Error | 456 | 34703272 | 76104 | | |
| Total | 479 | 139223459 | | | |

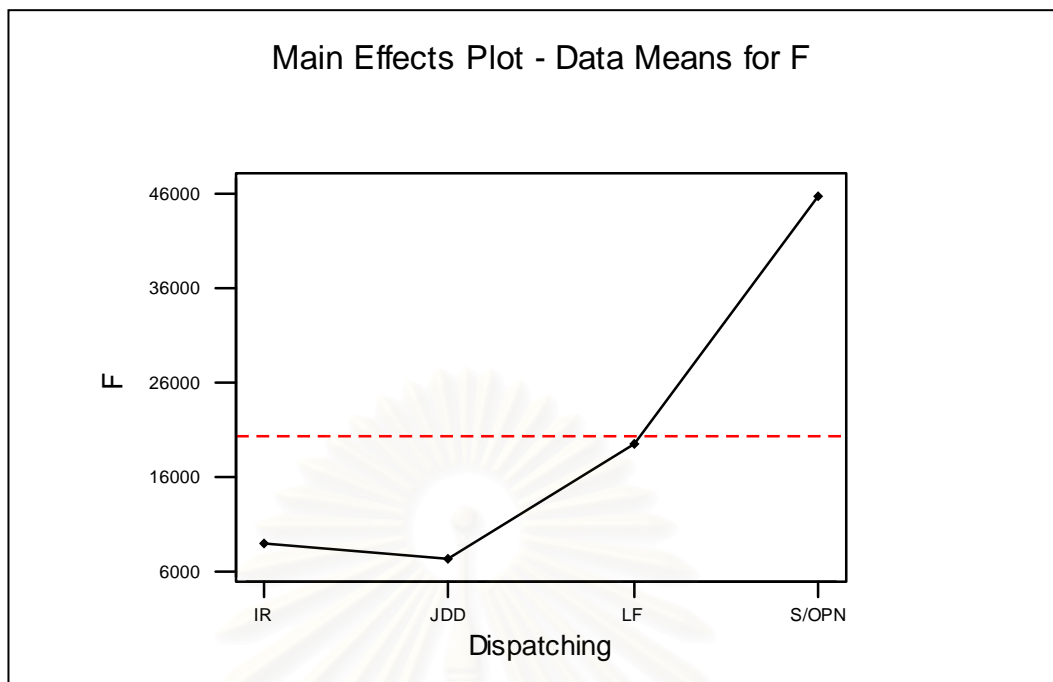
รูปที่ 5-51 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง ดังรูปที่ 5-49 – 5-51 จะพบความแตกต่างในผลของปัจจัยที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เมื่อสภาวะของระบบเปลี่ยนแปลงไป โดยในระดับการใช้งานของระบบที่ 80% จะพบว่าปัจจัยหลักทั้งสองด้าน นั่นคือ ทั้งกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ต่างก็ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ แต่พบว่าผลร่วมระหว่างสองปัจจัยนั้นไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่าทั้งปัจจัยหลักทั้งสองด้าน และผลร่วมระหว่างสองปัจจัย ต่างก็ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งต่างจากในระบบที่ไม่สมดุลที่พบว่ามีเพียงปัจจัยทางด้านกฎการจ่ายงานเพียงปัจจัยเดียวเท่านั้น ที่ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ ส่วนปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบและผลร่วมระหว่างสองปัจจัยนั้น กลับพบว่าไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญ

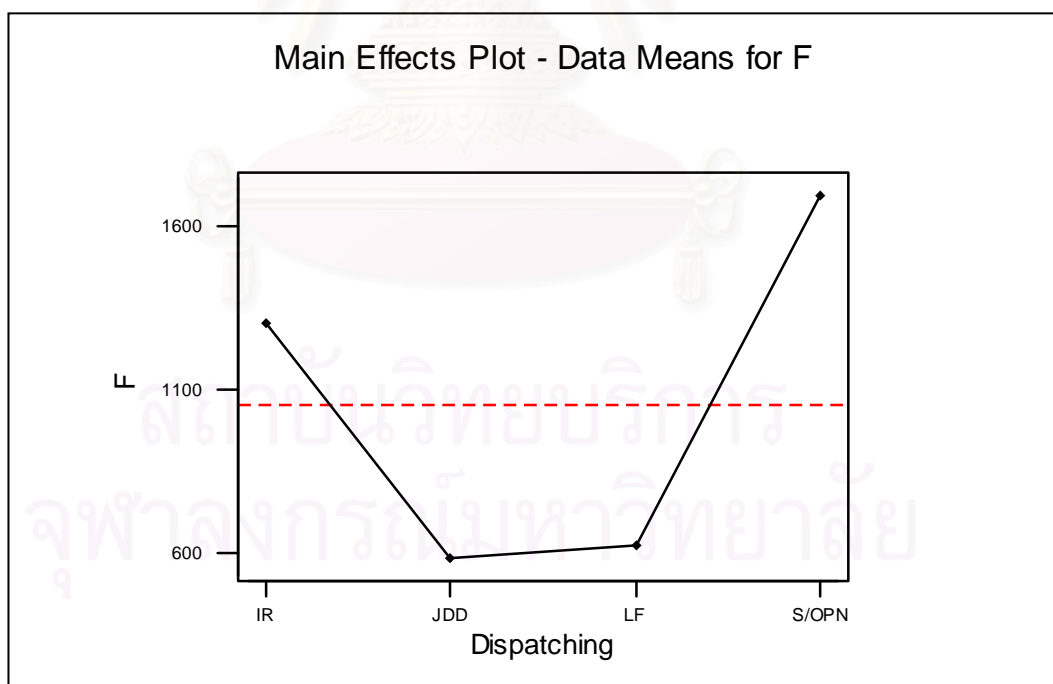
5.3.1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-52 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-53 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

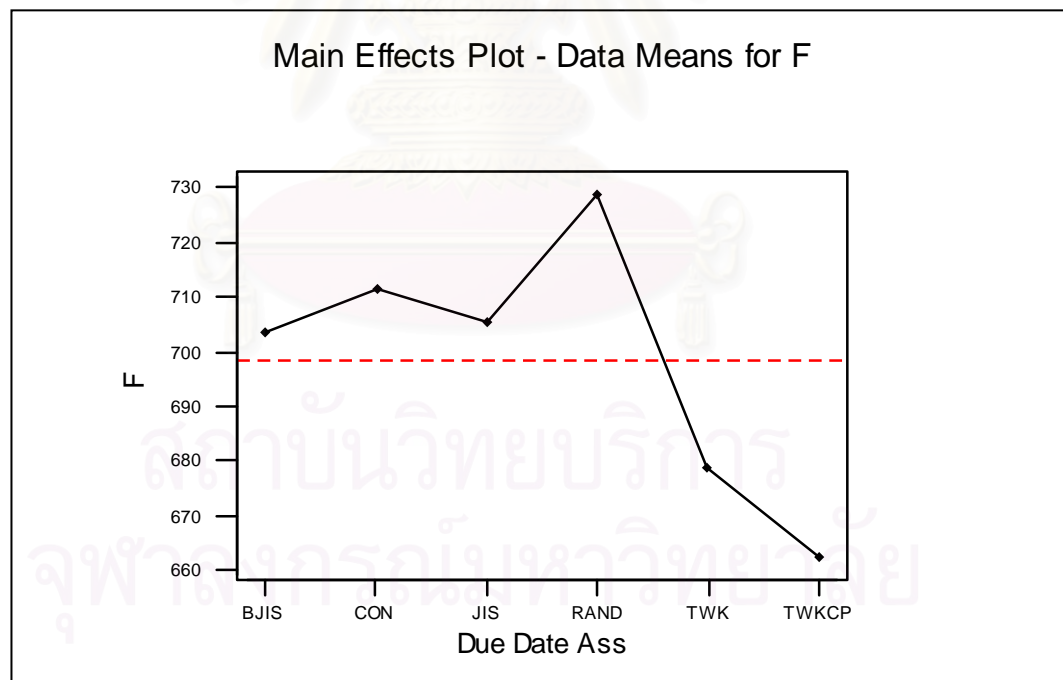


รูปที่ 5-54 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

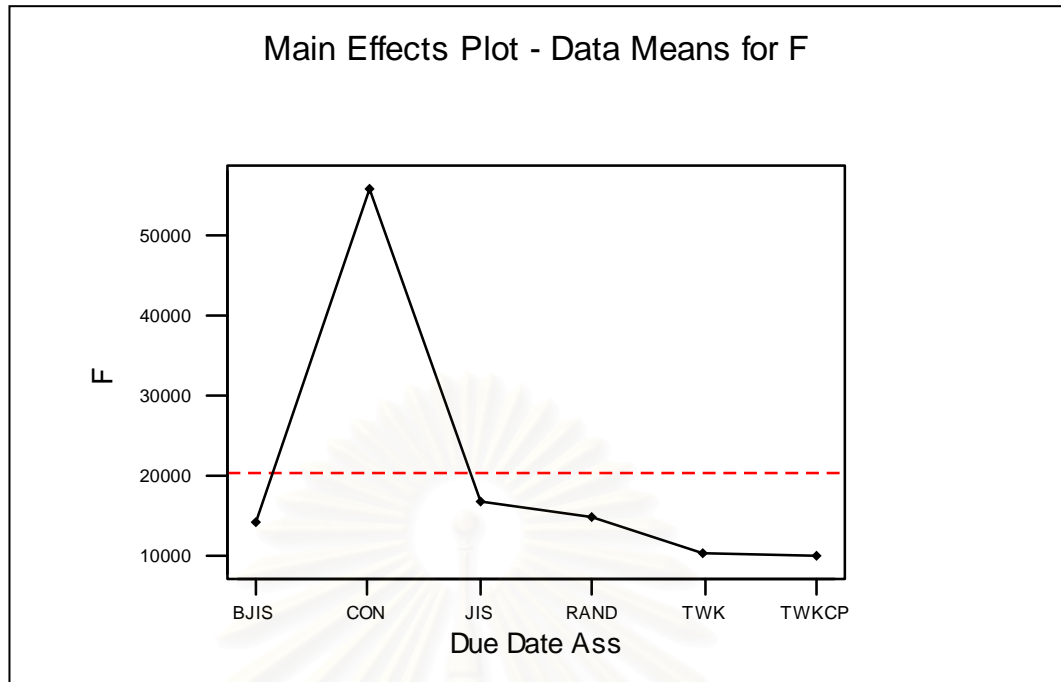
จากรูปที่ 5-52 – 5-54 จะพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงาน กับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% กับในระบบที่ไม่สมดุล จะมีทิศทางที่ใกล้เคียงกัน นั่นคือ กฎ JDD และกฎ LF สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก แต่ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น พบว่ากฎ IR ถือเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำ ต่างกับในระบบที่ไม่สมดุล ที่กฎ IR ให้ค่าที่ค่อนข้างสูง แต่ในระบบทั้งสองสถานะนี้ให้ผลเหมือนกันตรงที่พบว่า กฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงาน กับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ JDD และกฎ IR สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ส่วนกฎ LF นั้นกลับให้ค่าที่ค่อนข้างสูง และกฎ S/OPN ยังคงเป็นกฎที่ให้ค่าที่สูงที่สุดในทุกสถานะของระบบ

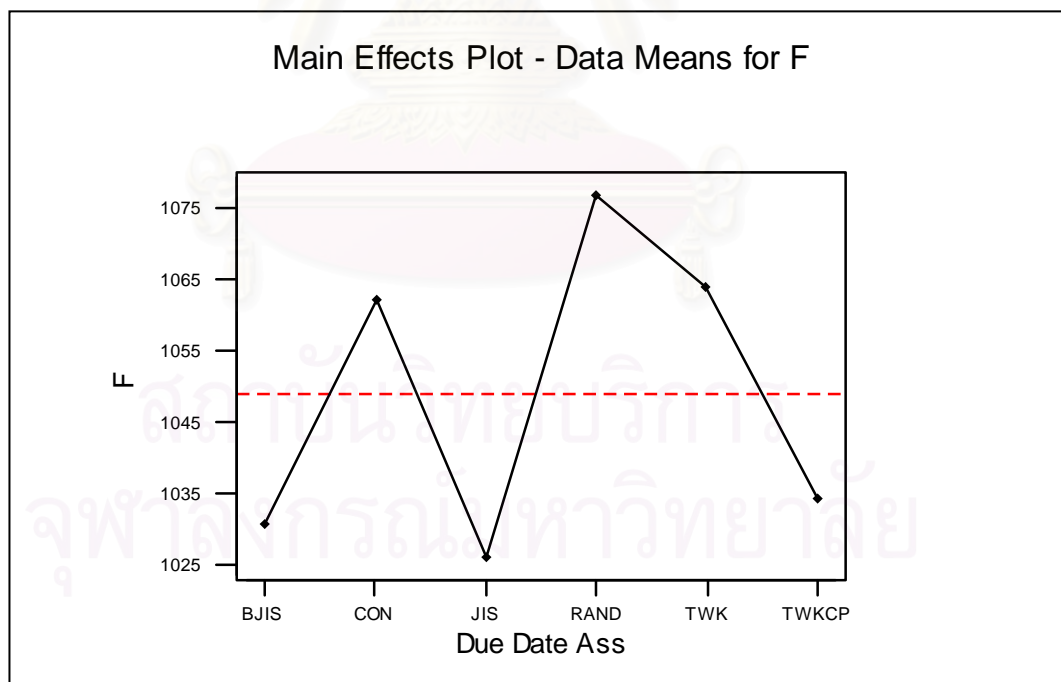
5.3.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-55 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



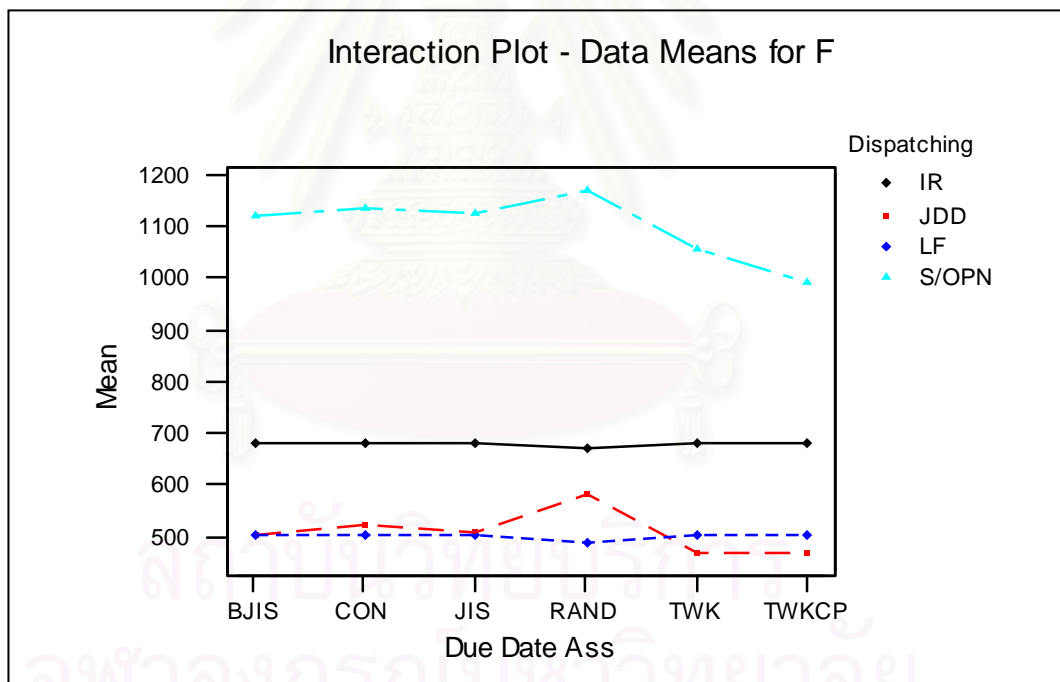
รูปที่ 5-56 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



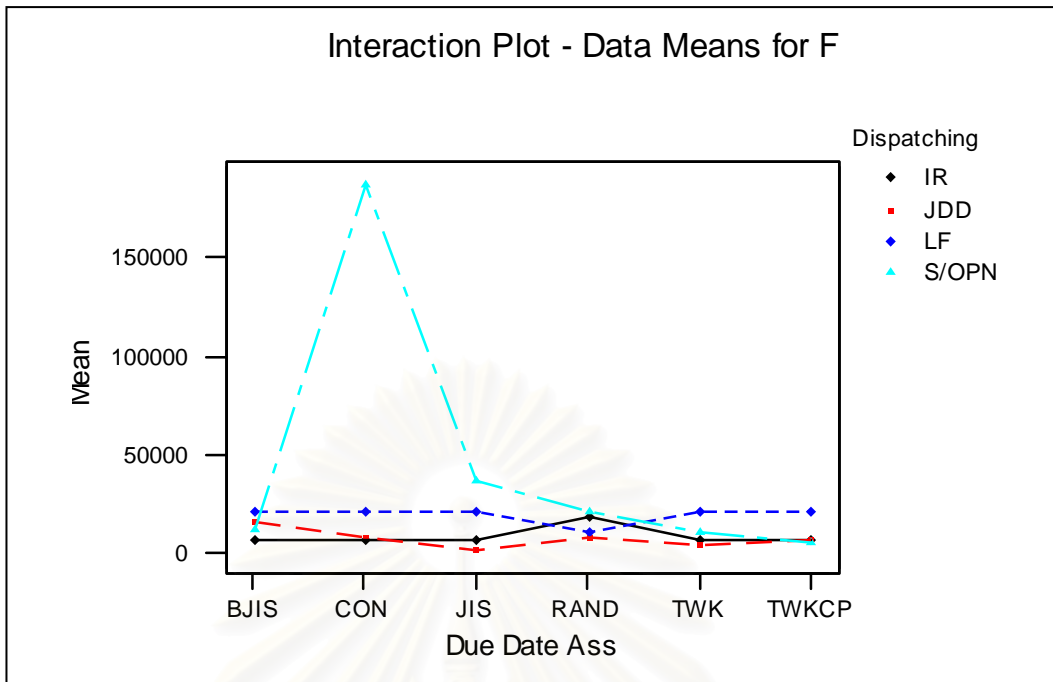
รูปที่ 5-57 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กับค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) พบว่าในระบบที่สมดุลนั้น กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่กฎ TWK และ TWKCP นอกจากนี้พบว่ากฎ JIS และ BJIS นั้นให้ค่าที่ค่อนข้างสูง และพบว่ากฎ CON ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมากอย่างเห็นได้ชัดในระดับการใช้งานของระบบ 90% ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น พบว่ากฎ JIS BJIS และ TWKCP เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำ ส่วนกฎ TWK ที่เคยให้ค่าที่ต่ำในระบบที่สมดุลนั้น กลับให้ค่าที่ค่อนข้างสูงในระบบที่ไม่สมดุล ซึ่งจะเห็นว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูงนั้น เมื่อความสมดุลของระบบเปลี่ยนไป ค่อนข้างส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบที่เกิดจากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบอย่างเห็นได้ชัด

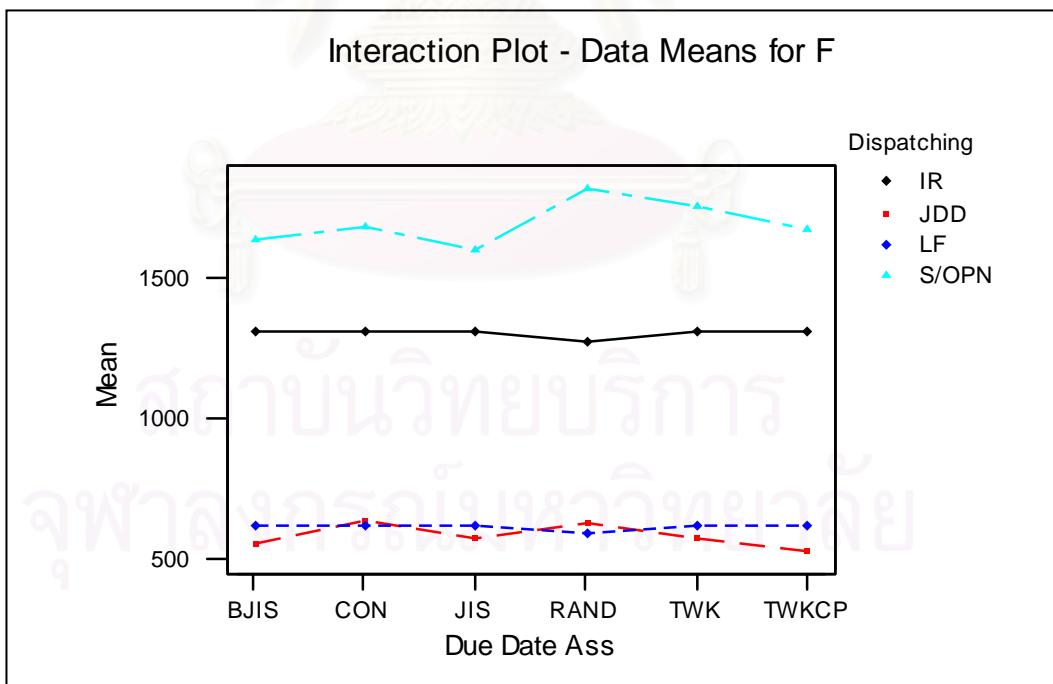
5.3.1.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-58 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-59 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-60 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-58 – 5-60 จะพบว่ากฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF นั้น ให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากกฎ IR และ LF นั้นไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยในระบบที่ระดับการใช้งาน 80% นั้น กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ซึ่งทั้งสองกฎถือว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP ส่วนกฎที่ให้ค่าที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN โดยกฎ S/OPN จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP และเมื่อภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานในระบบ 90% จะพบว่ากฎ IR กลับเป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF และที่สังเกตเห็นได้ชัดนั่นคือกฎ S/OPN จะให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบให้มีค่าตามที่ตามกฎ CON ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กลับพบว่าโดยภาพรวมให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบที่ 80%



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.1.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-5 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่า
เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-TWKCP | 471.9 | ↑ JDD-JIS | 2,272 | ↑ JDD-TWKCP | 536.9 |
| JDD-TWK | 472.0 | JDD-TWK | 3,678 | JDD-BJIS | 562.3 |
| LF-RAND | 491.5 | ↑ S/OPN-TWKCP | 6,120 | JDD-JIS | 579.4 |
| JDD-BJIS | 505.9 | ↑ JDD-TWKCP | 6,908 | JDD-TWK | 580.4 |
| LF-CON | 506.5 | IR-CON | 7,120 | LF-RAND | 599.3 |
| LF-TWK | 506.5 | IR-TWK | 7,120 | LF-CON | 626.1 |
| LF-TWKCP | 506.5 | IR-TWKCP | 7,120 | LF-TWK | 626.1 |
| LF-JIS | 506.5 | IR-JIS | 7,120 | LF-TWKCP | 626.1 |
| LF-BJIS | 506.5 | IR-BJIS | 7,120 | LF-JIS | 626.1 |
| JDD-JIS | 509.6 | JDD-CON | 8,022 | LF-BJIS | 626.1 |
| ↑ JDD-CON | 525.2 | JDD-RAND | 8,164 | JDD-RAND | 628.9 |
| ↑ JDD-RAND | 584.1 | ↑ S/OPN-TWK | 10,233 | ↓ JDD-CON | 644.4 |
| ↓ IR-RAND | 671.4 | LF-RAND | 11,364 | ↑ IR-RAND | 1,269.7 |
| IR-CON | 681.5 | S/OPN-BJIS | 12,537 | ↑ IR-CON | 1,304.5 |
| IR-TWK | 681.5 | JDD-BJIS | 16,127 | IR-TWK | 1,304.5 |
| IR-TWKCP | 681.5 | IR-RAND | 18,755 | IR-TWKCP | 1,304.5 |
| IR-JIS | 681.5 | LF-CON | 20,996 | IR-JIS | 1,304.5 |
| ↓ IR-BJIS | 681.5 | LF-TWK | 20,996 | ↓ IR-BJIS | 1,304.5 |
| ↑ S/OPN-TWKCP | 991.1 | LF-TWKCP | 20,996 | ↑ S/OPN-JIS | 1,595.5 |
| ↑ S/OPN-TWK | 1,056.2 | LF-JIS | 20,996 | S/OPN-BJIS | 1,630.3 |
| S/OPN-BJIS | 1,120.0 | LF-BJIS | 20,996 | S/OPN-TWKCP | 1,670.4 |
| S/OPN-JIS | 1,124.8 | ↓ S/OPN-RAND | 21,178 | S/OPN-CON | 1,674.0 |
| ↓ S/OPN-CON | 1,132.7 | S/OPN-JIS | 36,654 | S/OPN-TWK | 1,744.4 |
| ↓ S/OPN-RAND | 1,167.4 | S/OPN-CON | 186,490 | ↓ S/OPN-RAND | 1,809.4 |

จากตารางที่ 5-5 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า ผลโดยรวมในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบที่ 80% นั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือ กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดได้แก่ กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ผลที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยการจัดลำดับงานตามกฎ IR และกฎ LF นั้น พบว่าไม่มีความแตกต่างกันของผลทางด้านเวลาการไหลของงาน อันเนื่องมาจากความต่างของกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบเลย เนื่องจากทั้งสองกฎนั้น ไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยพบว่ากฎ JDD จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ส่วนกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบโดยวิธีการสุ่มตามกฎ RAND

เมื่อพิจารณาที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ JDD ยังคงเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเช่นกัน โดยจะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS อีกทั้งสังเกตได้ว่ากฎ S/OPN ที่มักให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดนั้น กลับให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP แล้ว รวมทั้งกฎ IR เช่นกันที่มักพบว่าให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูง แต่กลับให้ผลโดยรวมที่ต่ำกว่ากฎ LF ซึ่งจะเห็นว่าในการผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้างของการประกอบหลายๆระดับนั้น จะทำให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยมีค่าสูงมาก โดยเฉพาะเมื่อภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือระบบมีความแออัดเพิ่มขึ้น จะทำให้ประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยนั้น มีความผันแปรไปจากเดิม

5.3.2 การวิเคราะห์เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)

5.3.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 7680071 | 2560024 | 336.07 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 83007 | 16601 | 2.18 | 0.055 |
| Interaction | 15 | 197711 | 13181 | 1.73 | 0.042 |
| Error | 456 | 3473631 | 7618 | | |
| Total | 479 | 11434421 | | | |

รูปที่ 5-61 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิต
ชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 1.112E+11 | 3.707E+10 | 24.01 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 1.347E+11 | 2.693E+10 | 17.44 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 3.662E+11 | 2.441E+10 | 15.81 | 0.000 |
| Error | 456 | 7.040E+11 | 1.544E+09 | | |
| Total | 479 | 1.316E+12 | | | |

รูปที่ 5-62 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิต
ชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

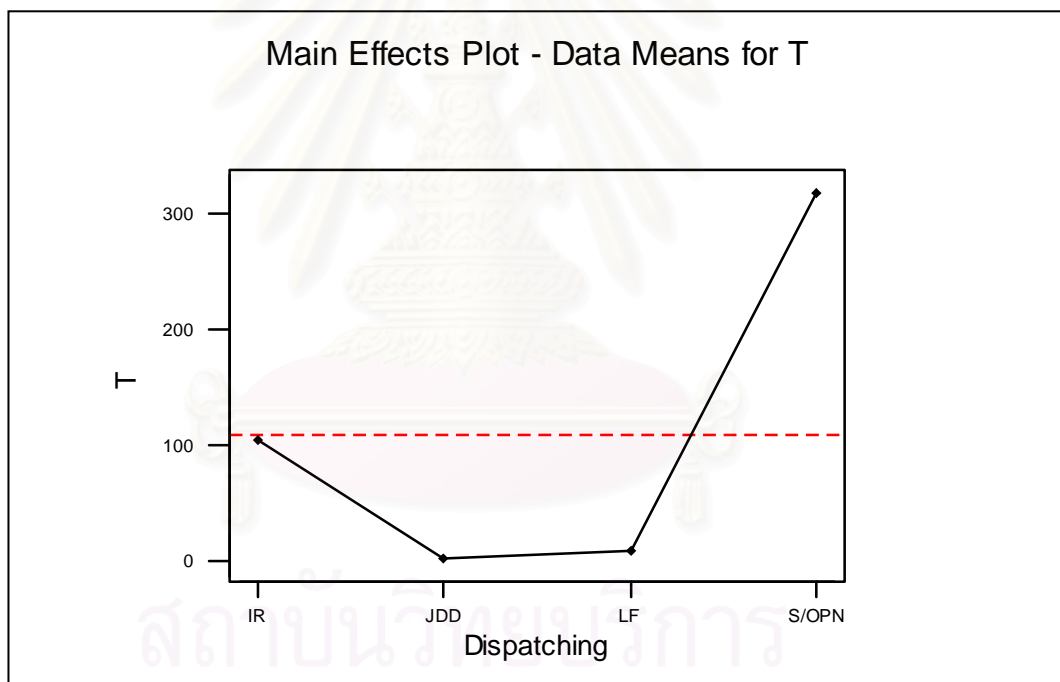
Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 29672904 | 9890968 | 259.56 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 2115075 | 423015 | 11.10 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 2682933 | 178862 | 4.69 | 0.000 |
| Error | 456 | 17376758 | 38107 | | |
| Total | 479 | 51847670 | | | |

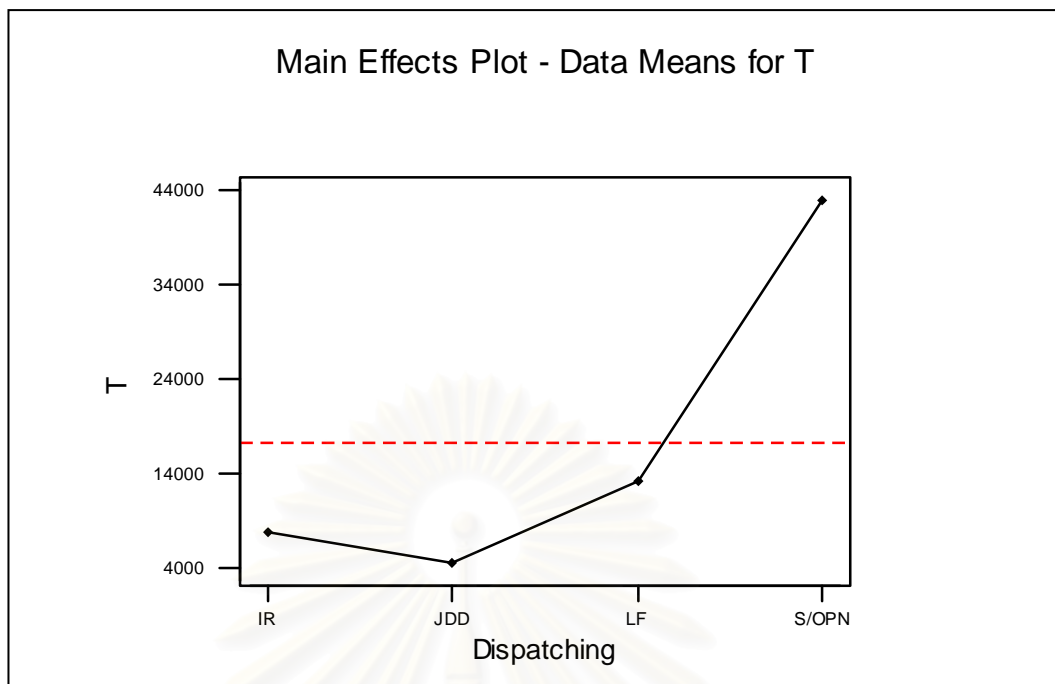
รูปที่ 5-63 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิต
ชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และผลร่วมระหว่างสองปัจจัย มีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าปัจจัยด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้นย่อมมีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ส่วนในระบบที่มีระดับการใช้งานของระบบ 90% และในระบบที่ไม่สมดุล พบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น มีผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

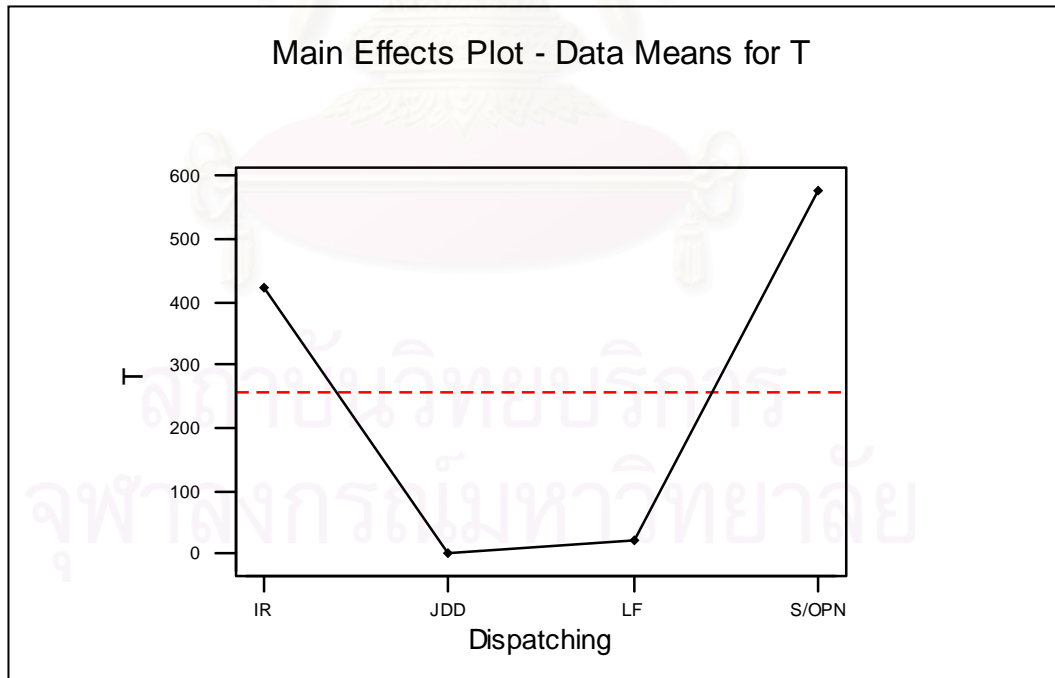
5.3.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-64 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-65 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

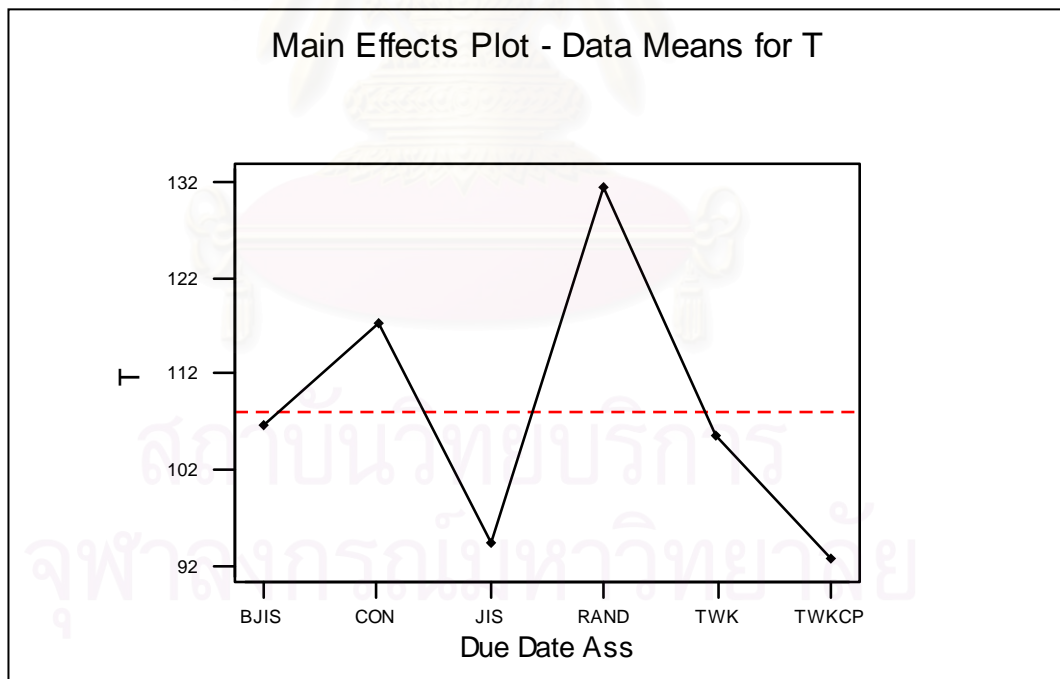


รูปที่ 5-66 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

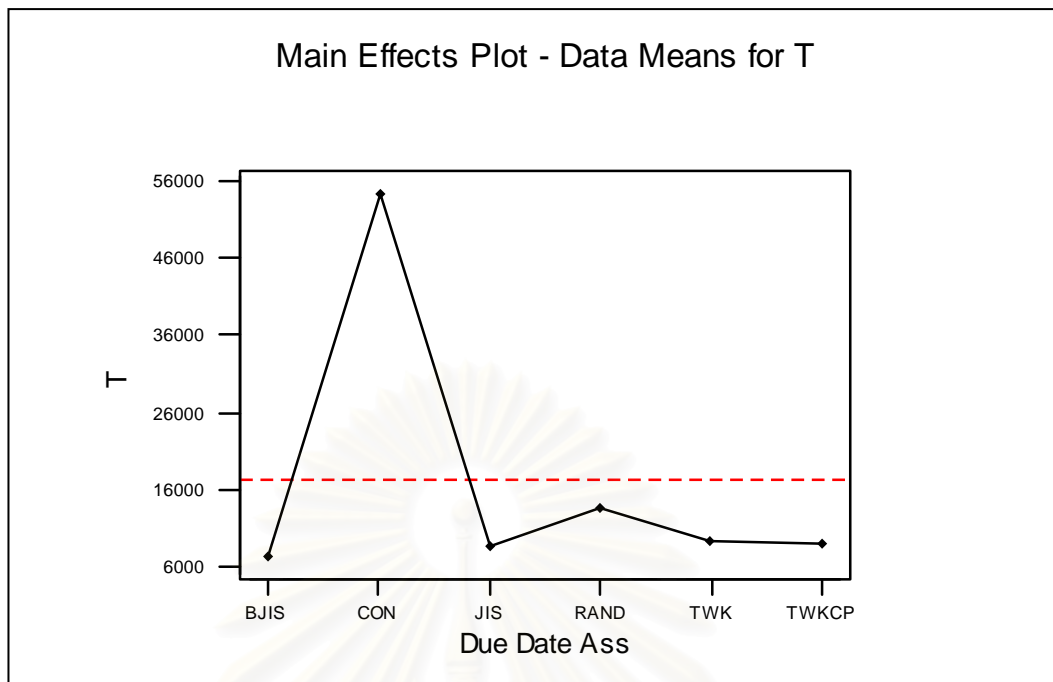
จากรูปที่ 5-64 – 5-66 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล โดยกฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN แต่สังเกตเห็นได้ว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ IR ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่สูงมากนัก ในขณะที่ในระบบที่ไม่สมดุล กฎ IR กลับให้ค่าที่สูงมาก

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ยังคงเป็นกฎ JDD แต่กฎ IR กลับเป็นกฎที่ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF และพบว่ากฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ยังคงเป็นกฎ S/OPN ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยระบบมีความสมดุลนั้น กฎ IR จะถือว่าเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำ

5.3.2.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-67 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-68 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

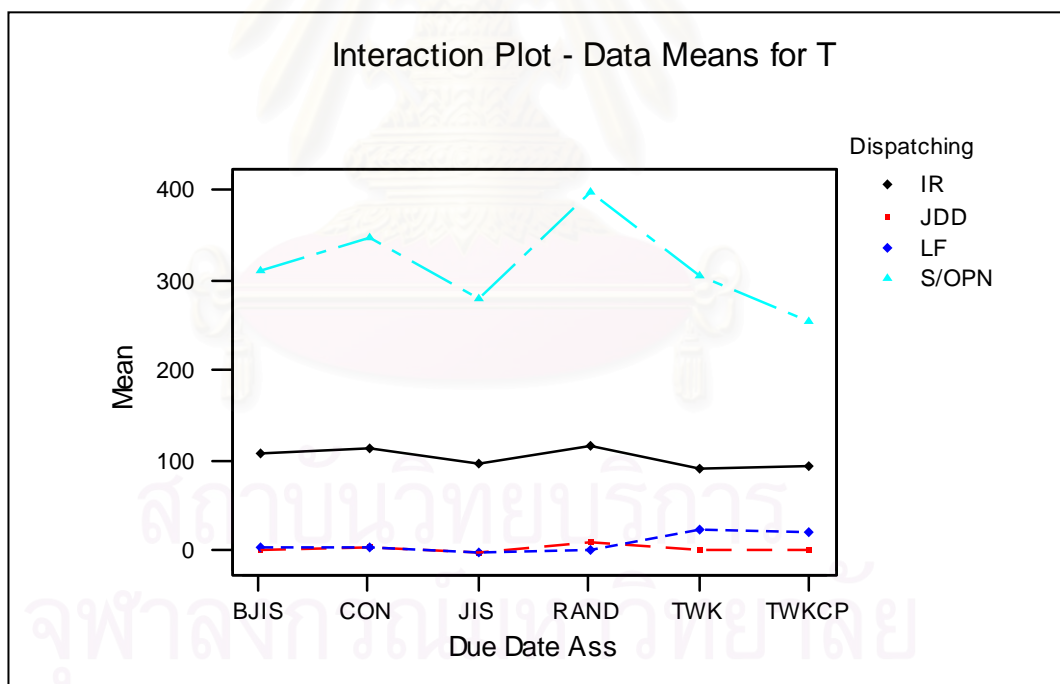


รูปที่ 5-69 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

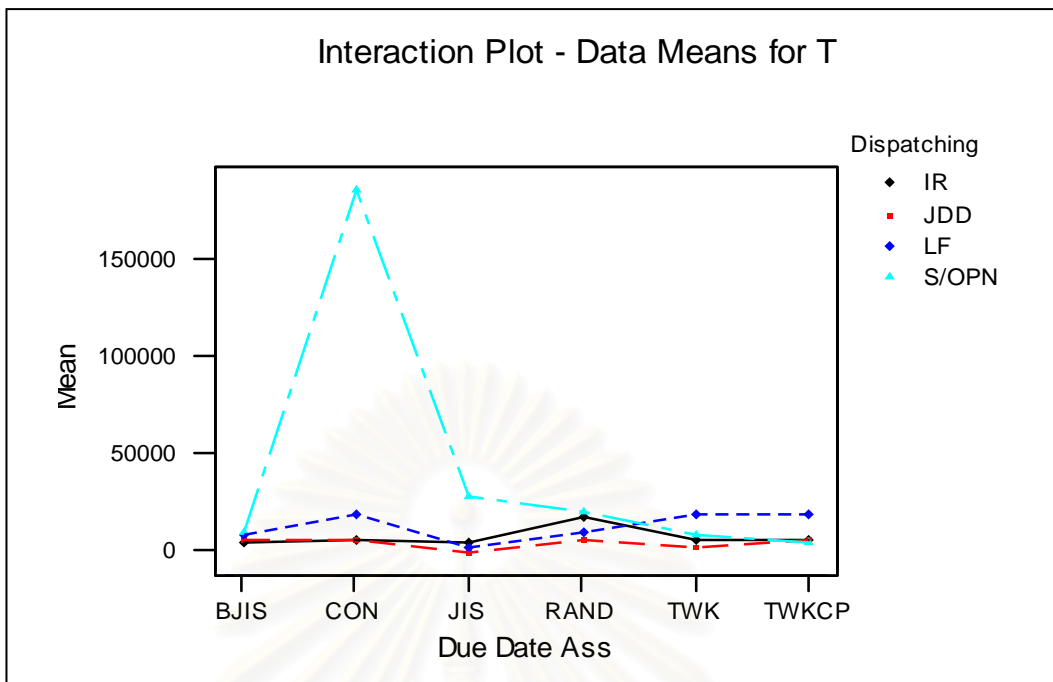
จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) พบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ TWKCP และ JIS ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ส่วนกฎ BJIS กลับเป็นกฎที่ให้ค่าค่อนข้างสูง ซึ่งต่างจากในระบบที่มีระดับการใช้งานของระบบ 90% ซึ่งพบว่ากฎ BJIS นั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยพบว่าในระบบที่สมดุล ทั้งที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% นั้น กฎ CON และ RAND ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก

ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น พบว่ากฎ TWK และ TWKCP กลับเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ซึ่งต่างจากในระบบที่สมดุล ซึ่งพบว่าทั้งสองกฎนี้จะให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ โดยพบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JIS และกฎ BJIS

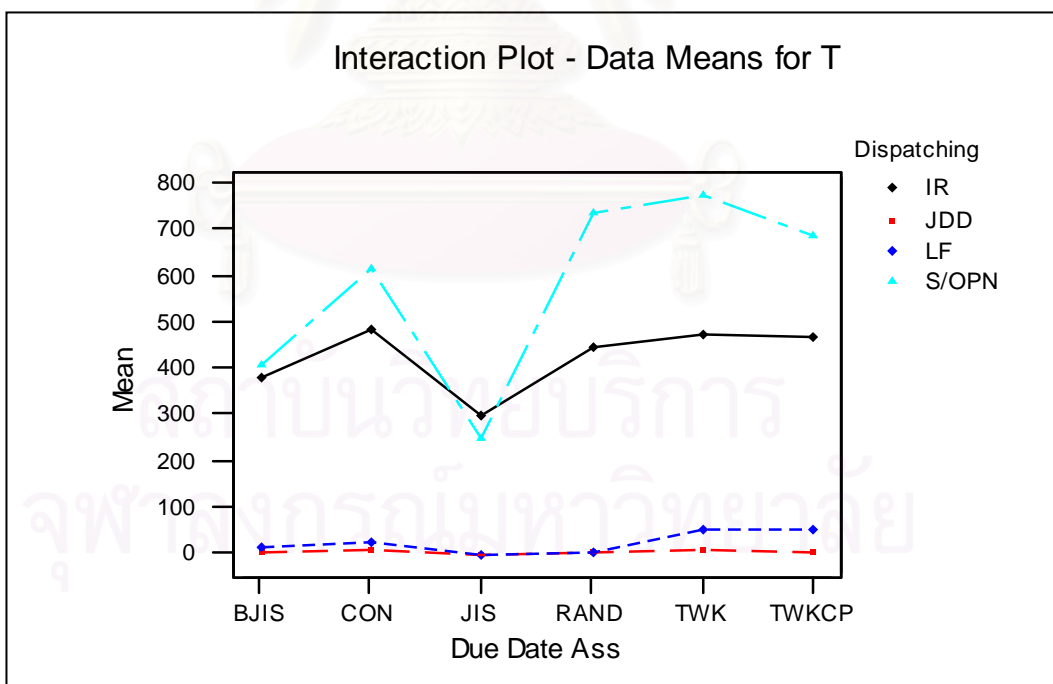
5.3.2.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-70 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-71 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-72 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-70 – 5-72 จะพบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล โดยกฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ยกเว้นเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF อย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่ากฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ยกเว้นในระบบที่ไม่สมดุลที่พบว่าเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS แล้ว กฎ S/OPN จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ IR

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% พบว่ากฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ยังคงเป็นกฎ JDD ซึ่งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และเป็นที่น่าสังเกตว่ากฎ IR กลับเป็นกฎที่ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ BJIS TWK และ TWKCP ส่วนกฎ S/OPN ยังคงเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด โดยจะให้ค่าที่สูงมากๆเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON แต่กลับพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่ต่ำมากเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP

5.3.2.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-6 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่า
เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|--------|-----------------|---------|-----------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-JIS | 0.02 | ↑ JDD-JIS | 29 | ↑ JDD-JIS | 0.08 |
| LF-JIS | 0.04 | LF-JIS | 1,813 | LF-JIS | 0.31 |
| JDD-TWKCP | 1.96 | JDD-TWK | 2,412 | JDD-BJIS | 3.06 |
| JDD-TWK | 2.18 | IR-JIS | 4,367 | JDD-TWKCP | 3.85 |
| LF-RAND | 2.69 | S/OPN-TWKCP | 4,904 | JDD-RAND | 3.97 |
| JDD-BJIS | 2.94 | IR-BJIS | 5,089 | LF-RAND | 5.02 |
| JDD-CON | 3.25 | JDD-TWKCP | 5,,524 | JDD-CON | 7.92 |
| LF-BJIS | 4.05 | IR-TWK | 6,125 | JDD-TWK | 8.81 |
| LF-CON | 4.42 | IR-TWKCP | 6,143 | LF-BJIS | 13.68 |
| ↑ JDD-RAND | 9.42 | IR-CON | 6,252 | LF-CON | 22.34 |
| ↑ LF-TWKCP | 21.66 | JDD-BJIS | 6,518 | ↑ LF-TWKCP | 51.46 |
| LF-TWK | 22.78 | JDD-CON | 6,529 | ↓ LF-TWK | 53.49 |
| IR-TWK | 92.23 | JDD-RAND | 6,565 | ↑ ↓ S/OPN-JIS | 249.43 |
| IR-TWKCP | 95.57 | ↑ LF-BJIS | 8,748 | ↑ IR-JIS | 299.75 |
| ↓ IR-JIS | 97.55 | ↑ S/OPN-TWK | 9,139 | IR-BJIS | 379.89 |
| ↓ IR-BJIS | 108.04 | ↑ S/OPN-BJIS | 9,671 | ↑ S/OPN-BJIS | 404.52 |
| IR-CON | 113.94 | ↓ LF-RAND | 9,781 | IR-RAND | 445.45 |
| ↓ IR-RAND | 115.41 | ↓ IR-RAND | 17,880 | IR-TWKCP | 467.07 |
| ↑ S/OPN-TWKCP | 253.23 | ↑ LF-CON | 19,409 | ↓ IR-TWK | 470.32 |
| S/OPN-JIS | 280.66 | LF-TWKCP | 19,604 | ↓ IR-CON | 481.15 |
| ↑ S/OPN-TWK | 305.03 | ↓ LF-TWK | 19,634 | ↑ ↓ S/OPN-CON | 610.74 |
| S/OPN-BJIS | 311.96 | ↓ S/OPN-RAND | 20,098 | S/OPN-TWKCP | 684.75 |
| ↓ S/OPN-CON | 347.78 | ↓ S/OPN-JIS | 28,607 | S/OPN-RAND | 734.10 |
| ↓ S/OPN-RAND | 397.47 | S/OPN-CON | 184,965 | ↓ S/OPN-TWK | 770.93 |

จากตารางที่ 5-6 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ให้ผลโดยรวมที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล โดยกฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS อีกทั้งพบว่า ในระบบที่สมดุลนั้น กฎ IR ให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ โดยเฉพาะเมื่อภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นถึงที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ IR นั้นให้ค่าที่ต่ำมากในหลายๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% นั้น กฎ IR จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และหากเป็นที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% กฎ IR จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK อีกทั้งสังเกตได้อีกว่ากฎ S/OPN ที่มักให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูง กลับให้ค่าที่ต่ำมากเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP แต่เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว กฎ S/OPN ก็ยังเป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดอยู่ดี โดยในระบบที่สมดุล กฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ RAND ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น จะถือว่าให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON RAND TWK และ TWKCP

เป็นที่น่าสังเกตว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูงหรือชิ้นงานมีระดับของการประกอบหลายๆระดับนั้น เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือระบบมีความแออัดเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยนั้น ค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม

5.3.3 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)

5.3.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|----------|---------|--------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 12739.77 | 4246.59 | 655.41 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 126.40 | 25.28 | 3.90 | 0.002 | |
| Interaction | 15 | 969.18 | 64.61 | 9.97 | 0.000 | |
| Error | 456 | 2954.55 | 6.48 | | | |
| Total | 479 | 16789.89 | | | | |

รูปที่ 5-73 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|--------|-------|--------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 252805 | 84268 | 303.83 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 71775 | 14355 | 51.76 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 98705 | 6580 | 23.73 | 0.000 | |
| Error | 456 | 126471 | 277 | | | |
| Total | 479 | 549756 | | | | |

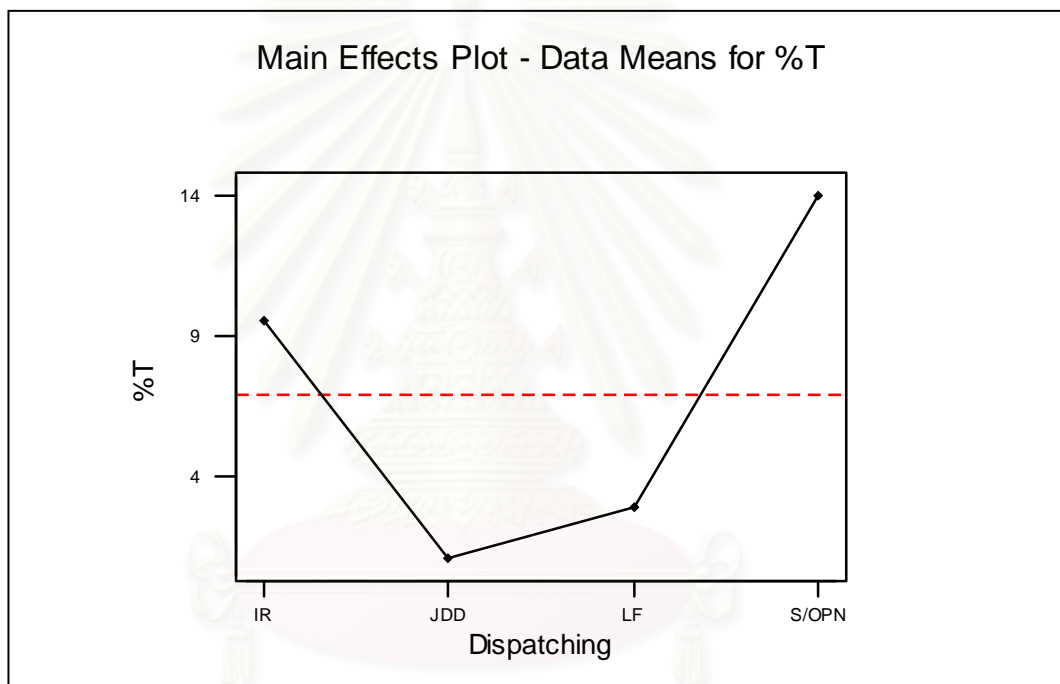
รูปที่ 5-74 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

| Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules | | | | | | |
|--|-----|---------|---------|--------|-------|--|
| Analysis of Variance for %T | | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 77918.8 | 25972.9 | 874.90 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 3566.9 | 713.4 | 24.03 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 1631.2 | 108.7 | 3.66 | 0.000 | |
| Error | 456 | 13537.1 | 29.7 | | | |
| Total | 479 | 96654.0 | | | | |

รูปที่ 5-75 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

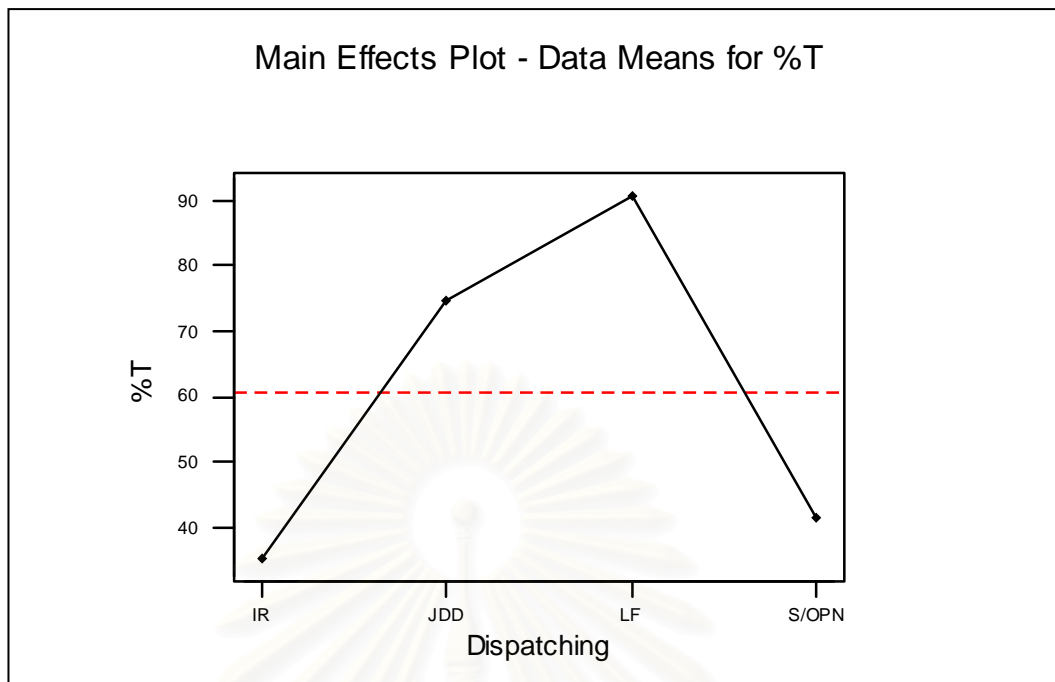
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยทางด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้น มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลลักษณะเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ

5.3.3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)

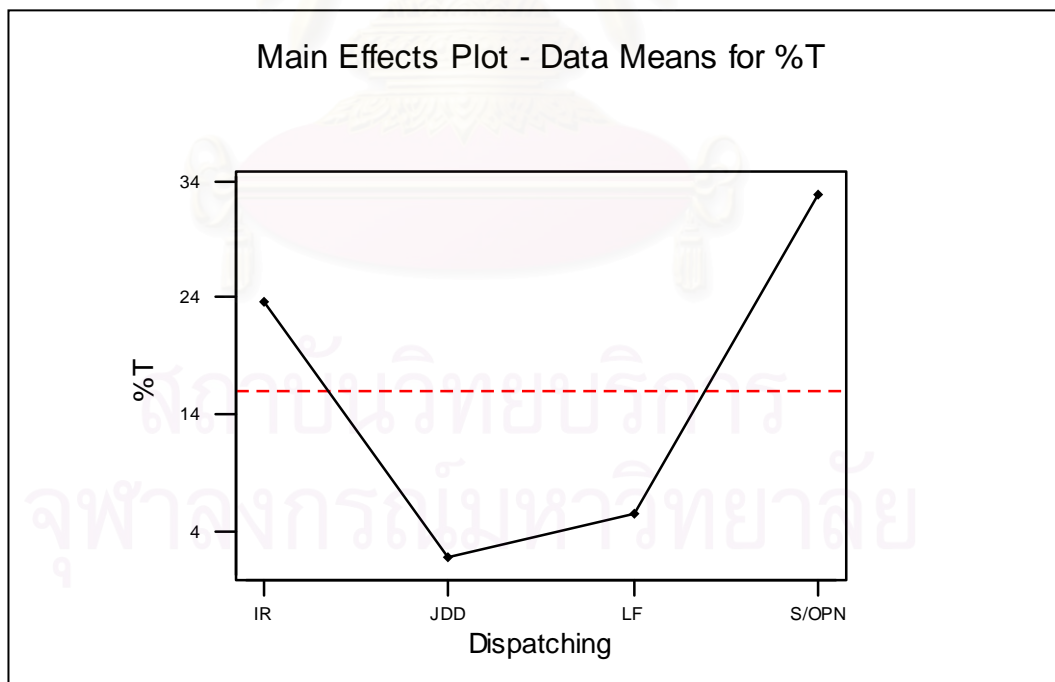


รูปที่ 5-76 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-77 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

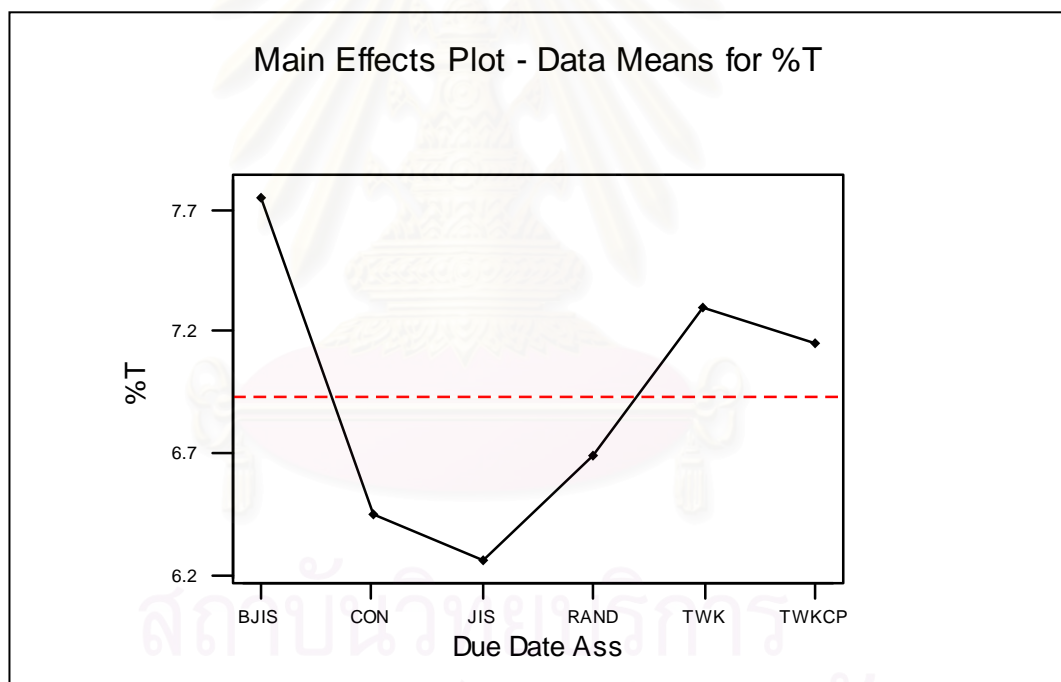


รูปที่ 5-78 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

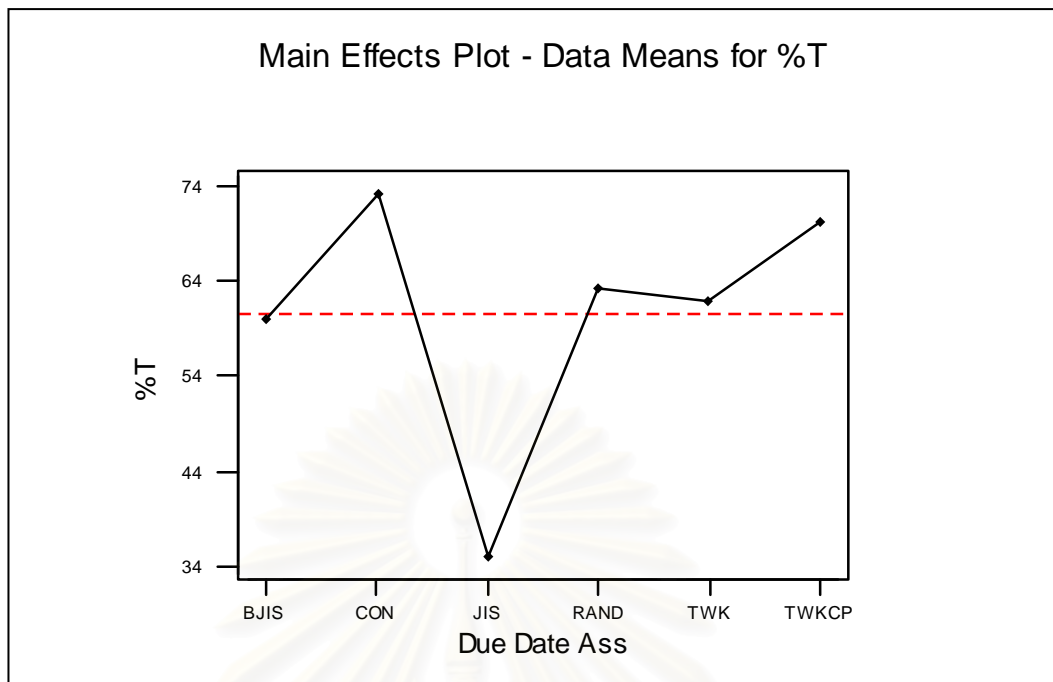
จากรูปที่ 5-76 – 5-78 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้นให้ผลโดยรวมที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือกฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด ส่วนกฎ IR นั้นให้ค่าที่ค่อนข้างสูง และกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% พบว่าให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือกฎ LF กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ส่วนกฎ JDD นั้นก็ถือว่าให้ค่าที่ค่อนข้างสูง และกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดกลับได้แก่กฎ IR และ S/OPN

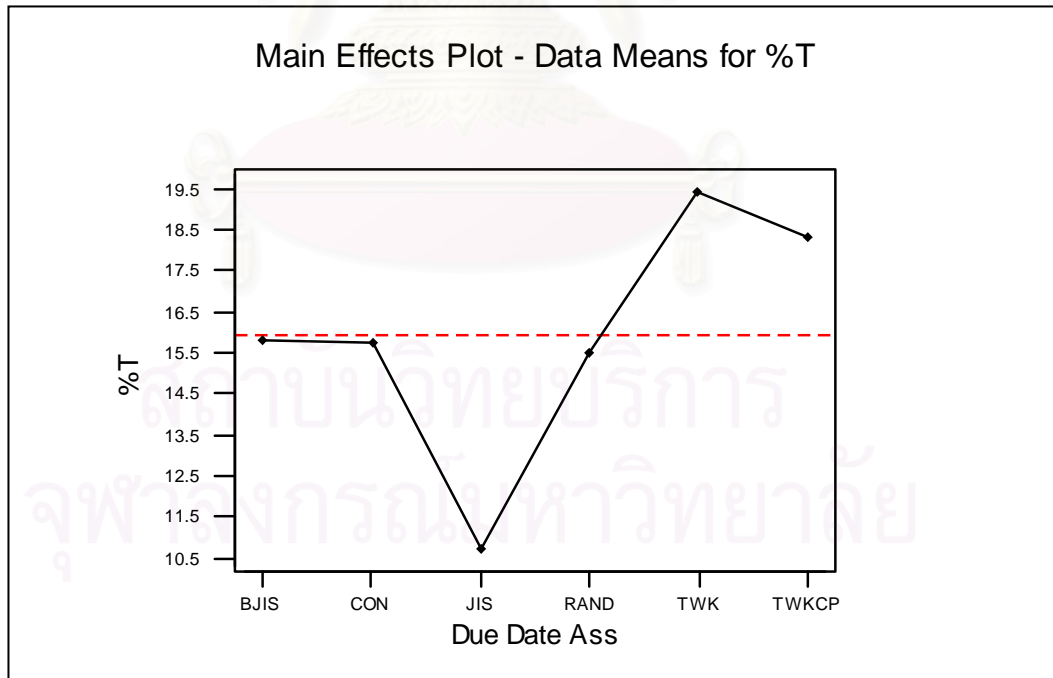
5.3.3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-79 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-80 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

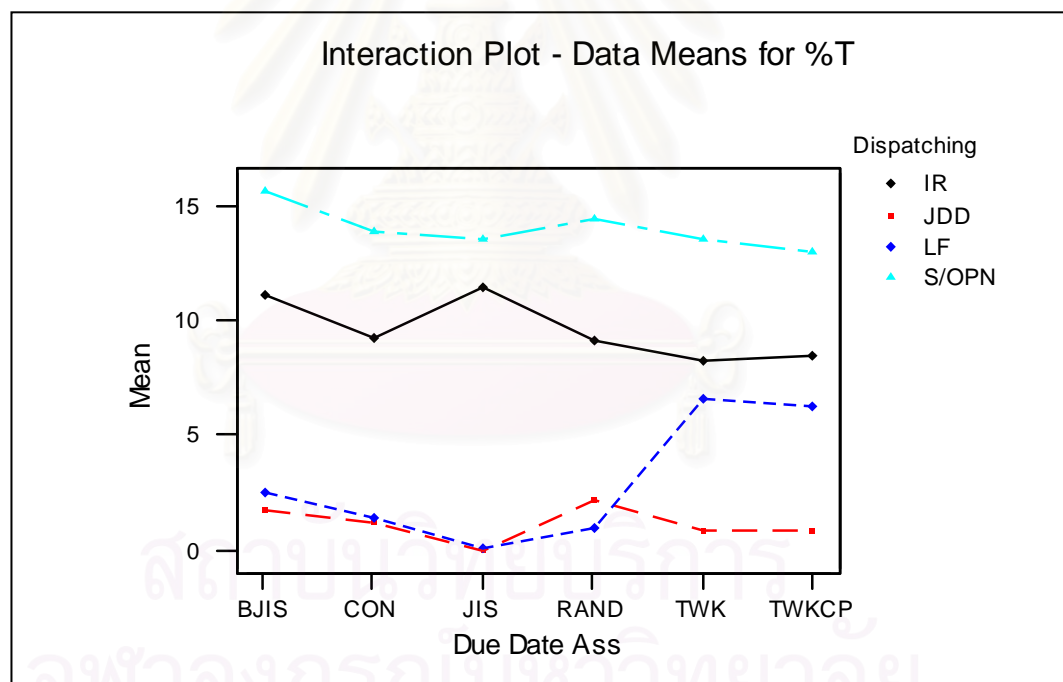


รูปที่ 5-81 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

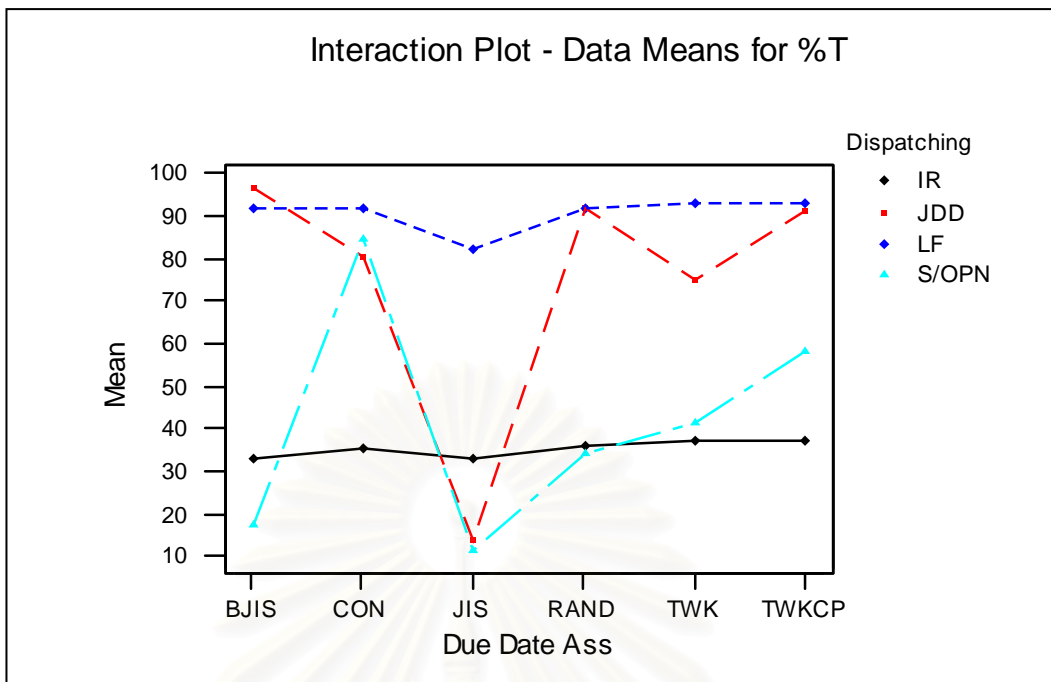
จากรูปที่ 5-79 – 5-81 เมื่อพิจารณาสเกลของกราฟในแนวดิ่ง ในระบบที่สมดุล ด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% จะพบว่า เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้านั้นมีค่าไม่แตกต่างกันมาก ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยกฎที่ให้ค่าต่ำที่สุด ได้แก่ กฎ JIS ส่วนกฎ CON และ RAND นั้นพบว่าให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ และกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าสูงที่สุด ได้แก่ กฎ BJIS TWK และ TWKCP ตามลำดับ ซึ่งเมื่อพิจารณาในระดับการใช้งานของระบบที่ 90% พบว่า กฎ JIS เป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดอย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่ากฎอื่น ๆ นั้นให้ค่าที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะกฎ CON และกฎ TWKCP

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล พบว่ากฎ JIS เป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดอย่างเห็นได้ชัด เช่นเดียวกับในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% โดยพบว่ากฎอื่น ๆ นั้นให้ค่าที่ค่อนข้างสูง โดยเฉพาะกฎ TWK และ TWKCP

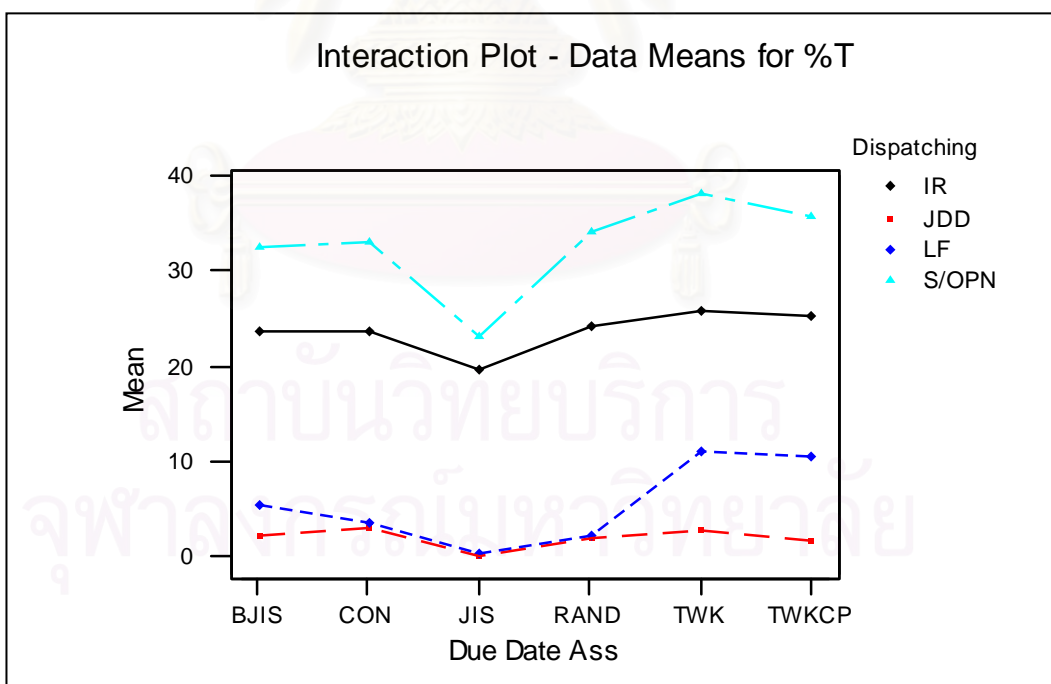
5.3.3.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-82 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-83 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-84 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-82 – 5-84 จะพบว่า กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าต่ำที่สุดในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ได้แก่กฎ JDD และ LF โดยเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS แล้ว พบว่าทั้งกฎ JDD และ LF ให้ค่าที่ต่ำที่สุดและให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก เพียงแต่จะสังเกตได้ว่ากฎ JDD จะให้ค่าที่ไม่ต่างกันมากนักในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ แต่กฎ LF จะให้ค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP ซึ่งพบว่าผลของกฎ LF และกฎ JDD ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น จะมีทิศทางที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล แต่กลับพบว่าผลของกฎ IR และกฎ S/OPN ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้นค่อนข้างแตกต่างกัน โดยที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP แต่หากเป็นในระบบที่ไม่สมดุลแล้ว จะพบว่าให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือ กฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP และให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่า ประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ทางด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า นั้น ค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม นั่นคือ กฎ S/OPN กลับเป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS อีกทั้งยังพบว่ากฎ IR ที่มักให้ค่าที่สูงนั้น กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ค่อนข้างต่ำ ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ส่วนกฎ JDD และกฎ LF ที่มักเป็นกฎที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ที่ผ่านมา กลับพบว่าเมื่อระดับการใช้งานของระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือระบบมีความแออัดมากขึ้นแล้ว ทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงมาก โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS เท่านั้น

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.3.3.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-7 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่า
เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-JIS | 0.05 | ↑ S/OPN-JIS | 11.85 | ↑ JDD-JIS | 0.10 |
| LF-JIS | 0.06 | JDD-JIS | 13.75 | LF-JIS | 0.37 |
| JDD-TWK | 0.83 | ↑ ↓ S/OPN-BJIS | 17.85 | JDD-TWKCP | 1.67 |
| JDD-TWKCP | 0.88 | ↑ ↓ IR-JIS | 33.02 | JDD-RAND | 1.84 |
| LF-RAND | 0.94 | ↑ ↓ IR-BJIS | 33.42 | JDD-BJIS | 2.05 |
| JDD-CON | 1.25 | S/OPN-RAND | 34.04 | LF-RAND | 2.10 |
| LF-CON | 1.47 | IR-CON | 35.24 | JDD-TWK | 2.80 |
| JDD-BJIS | 1.76 | ↓ IR-RAND | 35.83 | JDD-CON | 2.93 |
| JDD-RAND | 2.22 | IR-TWKCP | 37.30 | LF-CON | 3.42 |
| ↓ LF-BJIS | 2.51 | IR-TWK | 37.59 | ↑ ↓ LF-BJIS | 5.28 |
| ↑ LF-TWKCP | 6.25 | ↓ ↑ S/OPN-TWK | 41.63 | ↓ LF-TWKCP | 10.50 |
| ↑ LF-TWK | 6.56 | ↑ ↓ S/OPN-TWKCP | 58.53 | ↓ LF-TWK | 10.98 |
| ↑ IR-TWK | 8.25 | ↑ ↓ JDD-TWK | 75.13 | ↑ IR-JIS | 19.47 |
| IR-TWKCP | 8.44 | ↑ JDD-CON | 80.53 | S/OPN-JIS | 23.12 |
| ↑ IR-RAND | 9.15 | LF-JIS | 82.22 | IR-BJIS | 23.59 |
| ↓ IR-CON | 9.20 | S/OPN-CON | 84.49 | IR-CON | 23.73 |
| ↑ IR-BJIS | 11.09 | JDD-TWKCP | 91.15 | IR-RAND | 24.10 |
| ↓ IR-JIS | 11.40 | LF-RAND | 91.50 | IR-TWKCP | 25.23 |
| ↑ S/OPN-TWKCP | 13.03 | JDD-RAND | 91.81 | ↓ IR-TWK | 25.69 |
| S/OPN-TWK | 13.55 | LF-CON | 91.88 | ↑ S/OPN-BJIS | 32.39 |
| S/OPN-JIS | 13.56 | LF-BJIS | 91.88 | S/OPN-CON | 32.97 |
| ↓ S/OPN-CON | 13.87 | LF-TWKCP | 93.04 | S/OPN-RAND | 34.06 |
| S/OPN-RAND | 14.43 | LF-TWK | 93.19 | S/OPN-TWKCP | 35.85 |
| ↓ S/OPN-BJIS | 15.62 | JDD-BJIS | 96.46 | ↓ S/OPN-TWK | 38.13 |

จากตารางที่ 5-7 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในช่วงกว้างของลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าต่ำที่สุดในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF โดยเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS แล้ว พบว่าทั้งกฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าที่ต่ำที่สุดและให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่ากฎ JDD นั้นจะให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ แต่กฎ LF จะให้ค่าที่ค่อนข้างสูงเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP ซึ่งพบว่าประสิทธิภาพทางด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าของกฎ LF และกฎ JDD ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น จะมีทิศทางที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล แต่กลับพบว่าผลของกฎ IR และกฎ S/OPN ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้นค่อนข้างแตกต่างกัน โดยที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ IR จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ BJIS โดยพบว่าทั้งกฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP แต่หากเป็นในระบบที่ไม่สมดุลแล้ว จะพบว่าให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือ กฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP และให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ทั้งนี้พบว่าทั้ง กฎ IR และกฎ S/OPN นั้นค่อนข้างให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่า ประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ทางด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า นั้น ค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม นั่นคือ กฎ S/OPN กลับเป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS อีกทั้งยังพบว่ากฎ IR ที่มีค่าที่สูงนั้น กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ค่อนข้างต่ำ ส่วนกฎ JDD และกฎ LF ที่มีค่าเป็นกฎที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ที่ผ่านมา กลับพบว่าเมื่อระดับการใช้งานของระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือระบบมีความแออัดมากขึ้นแล้ว ทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงมาก โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS เท่านั้น

5.3.4 การวิเคราะห์ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)

5.3.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
|------------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 2262611 | 754204 | 96.11 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 24966908 | 4993382 | 636.29 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 2397450 | 159830 | 20.37 | 0.000 |
| Error | 456 | 3578542 | 7848 | | |
| Total | 479 | 33205511 | | | |

รูปที่ 5-85 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
|------------------------------|-----|-----------|-----------|-------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 1.577E+11 | 5.258E+10 | 33.51 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 1.249E+11 | 2.499E+10 | 15.93 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 3.678E+11 | 2.452E+10 | 15.63 | 0.000 |
| Error | 456 | 7.155E+11 | 1.569E+09 | | |
| Total | 479 | 1.366E+12 | | | |

รูปที่ 5-86 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

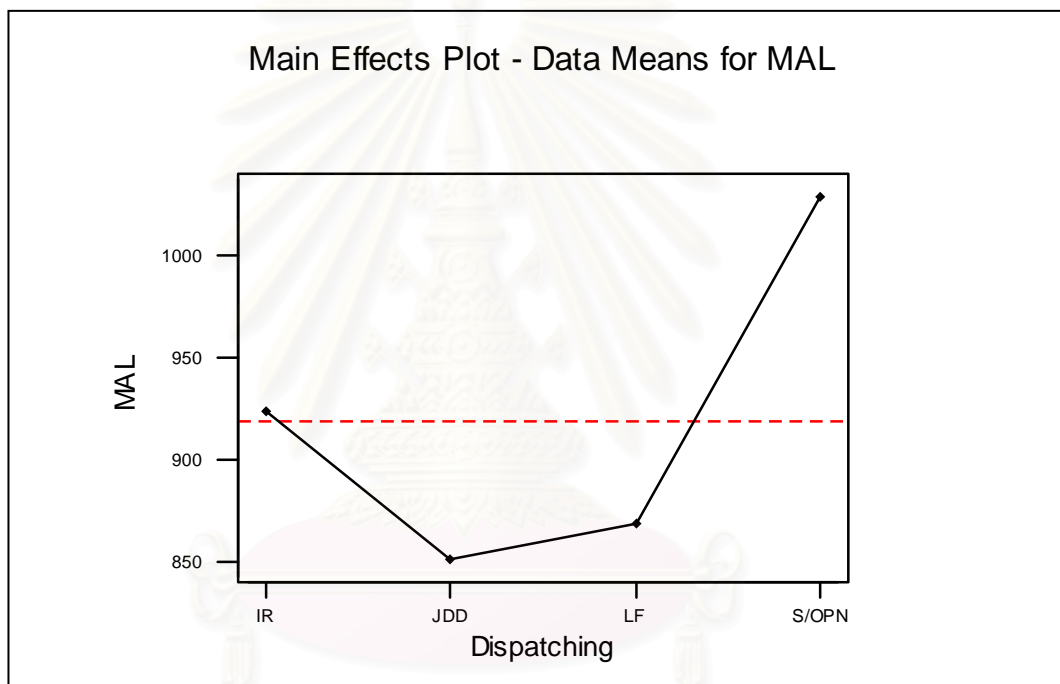
Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
|------------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 9032422 | 3010807 | 102.67 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 21538369 | 4307674 | 146.89 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 1492985 | 99532 | 3.39 | 0.000 |
| Error | 456 | 13372532 | 29326 | | |
| Total | 479 | 45436308 | | | |

รูปที่ 5-87 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

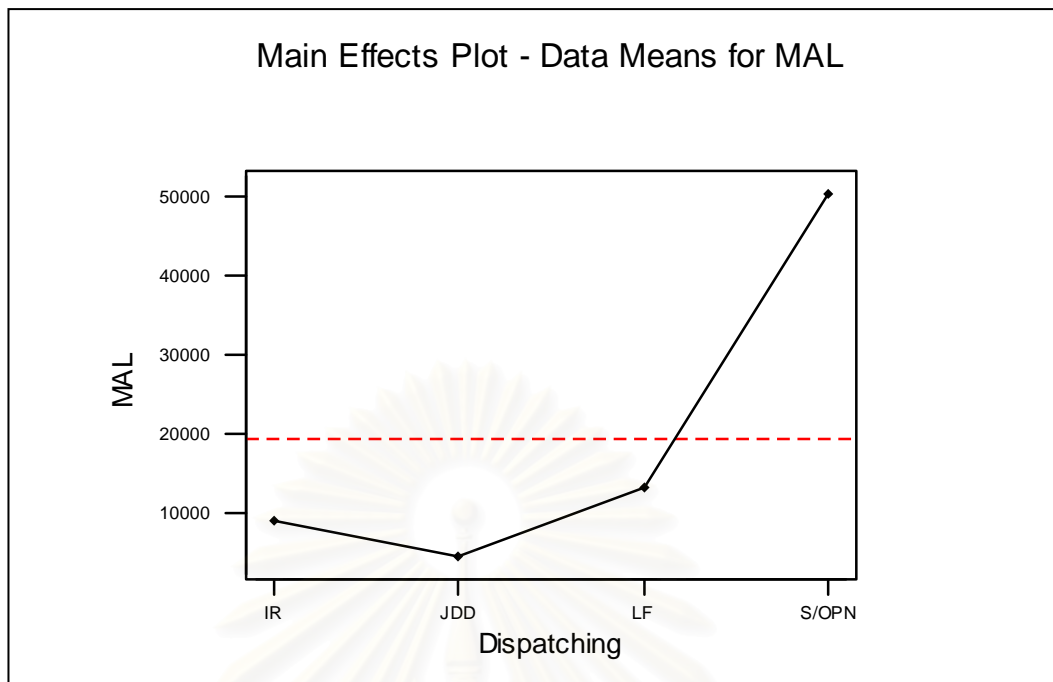
จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ปัจจัยทางด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน นั้น มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลรวมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน ซึ่งพบว่าให้ผลลักษณะเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ

5.3.4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)

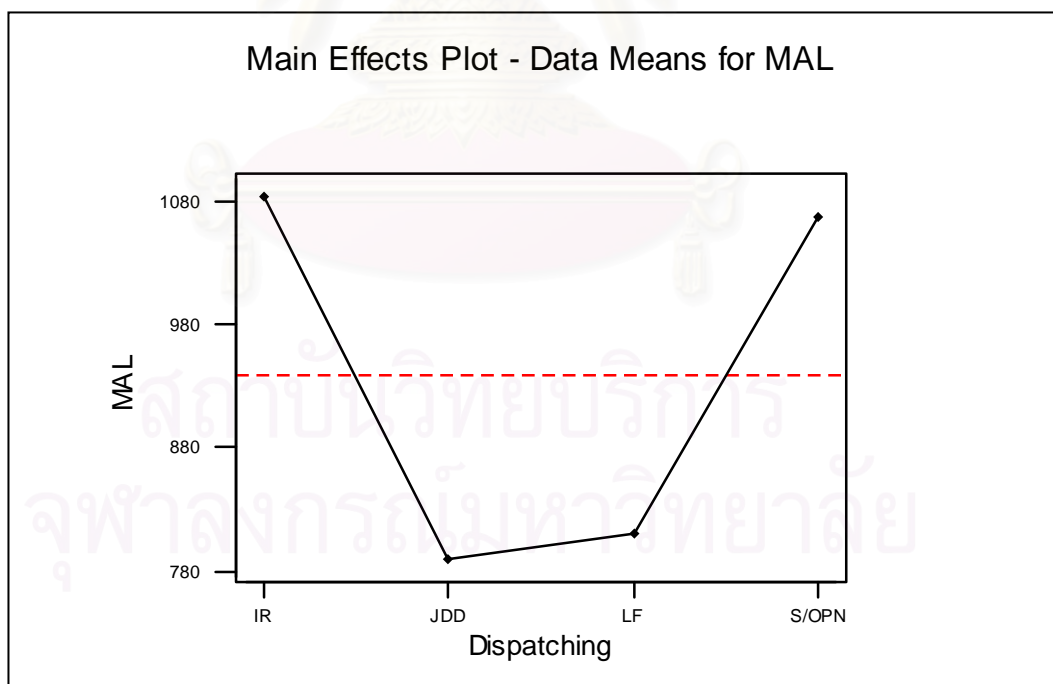


รูปที่ 5-88 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-89 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

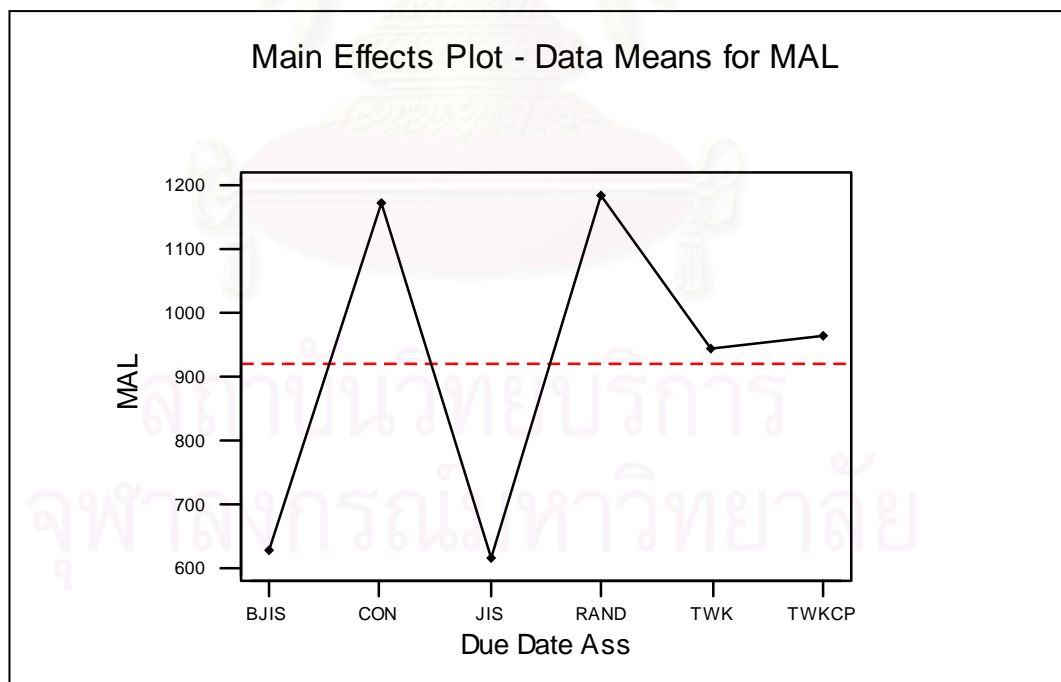


รูปที่ 5-90 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

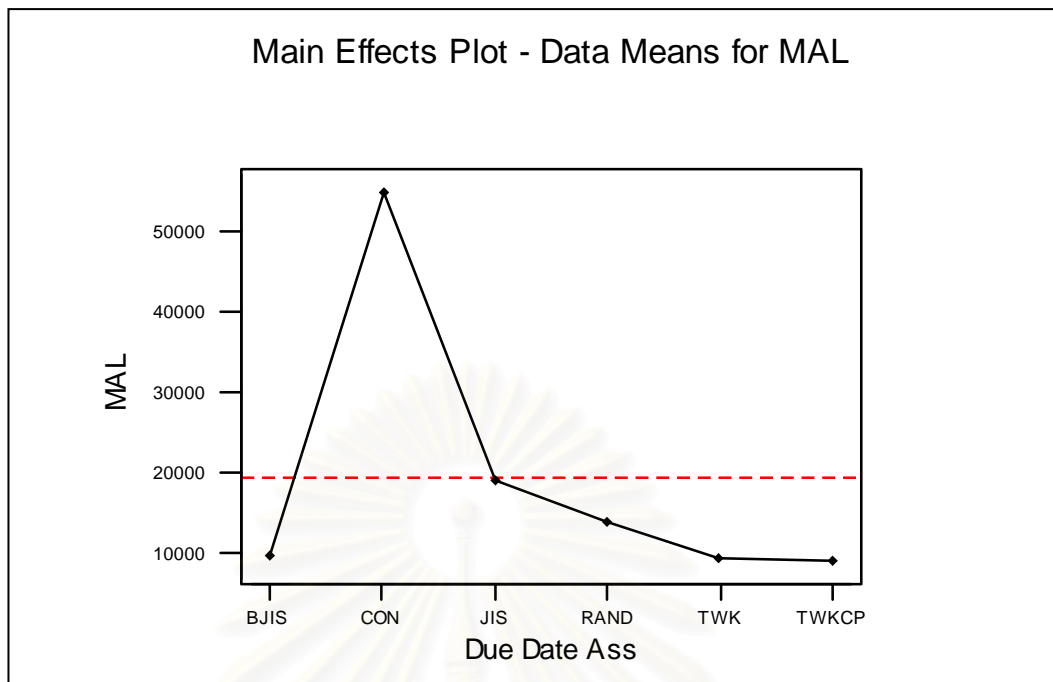
จากรูปที่ 5-88 – 5-90 พบว่า กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎนั้นพบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล แต่สังเกตเห็นได้ว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN ซึ่งให้ค่าที่สูงกว่ากฎอื่นๆมาก ในขณะที่พบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎที่ให้ค่าสูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN และกฎ IR ซึ่งทั้งสองกฎนั้นพบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ยังคงเป็นกฎ JDD แต่กฎ IR กลับเป็นกฎที่ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF และพบว่ากฎที่ให้ค่าสูงที่สุด ยังคงเป็นกฎ S/OPN ดังนั้นจะสังเกตได้ว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยระบบมีความสมดุลนั้น กฎ IR จะถือว่าเป็นกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำ

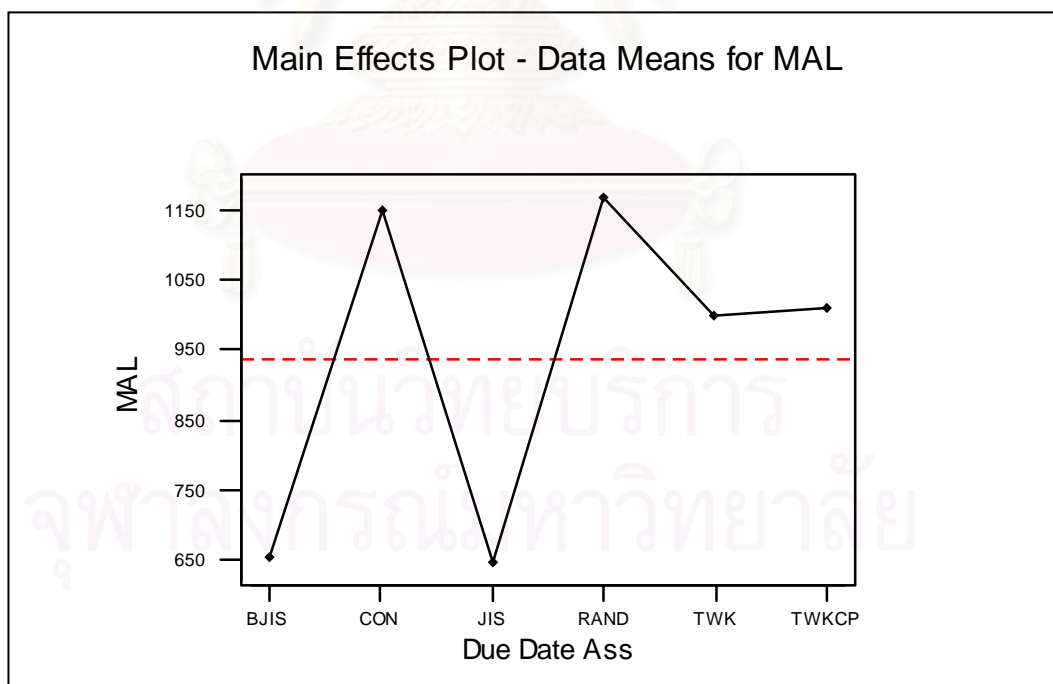
5.3.4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-91 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-92 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

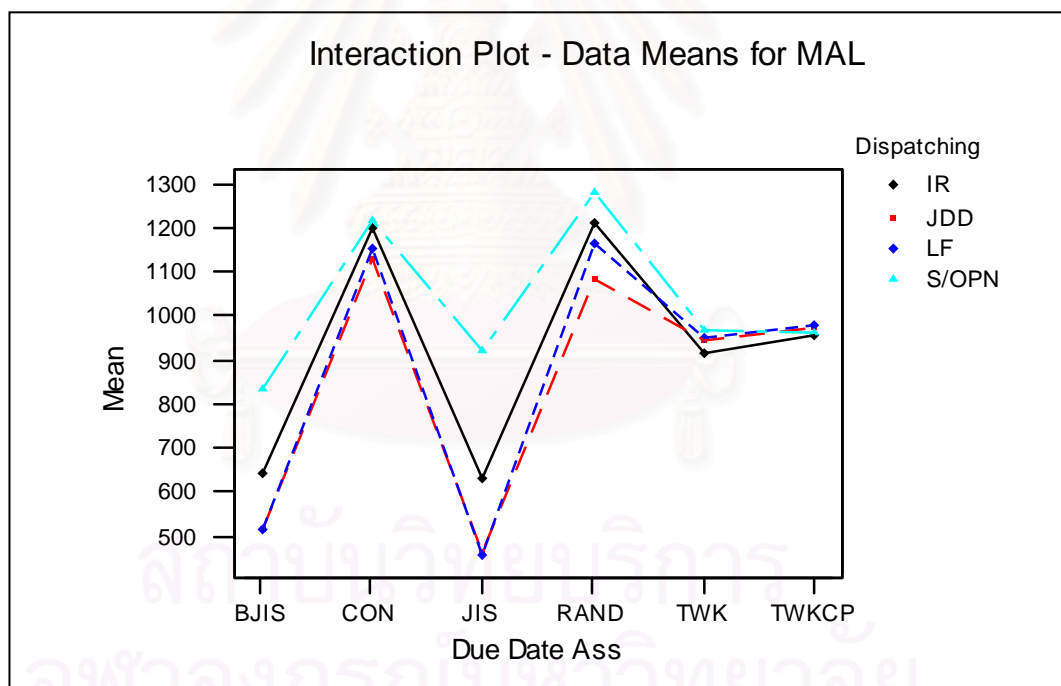


รูปที่ 5-93 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

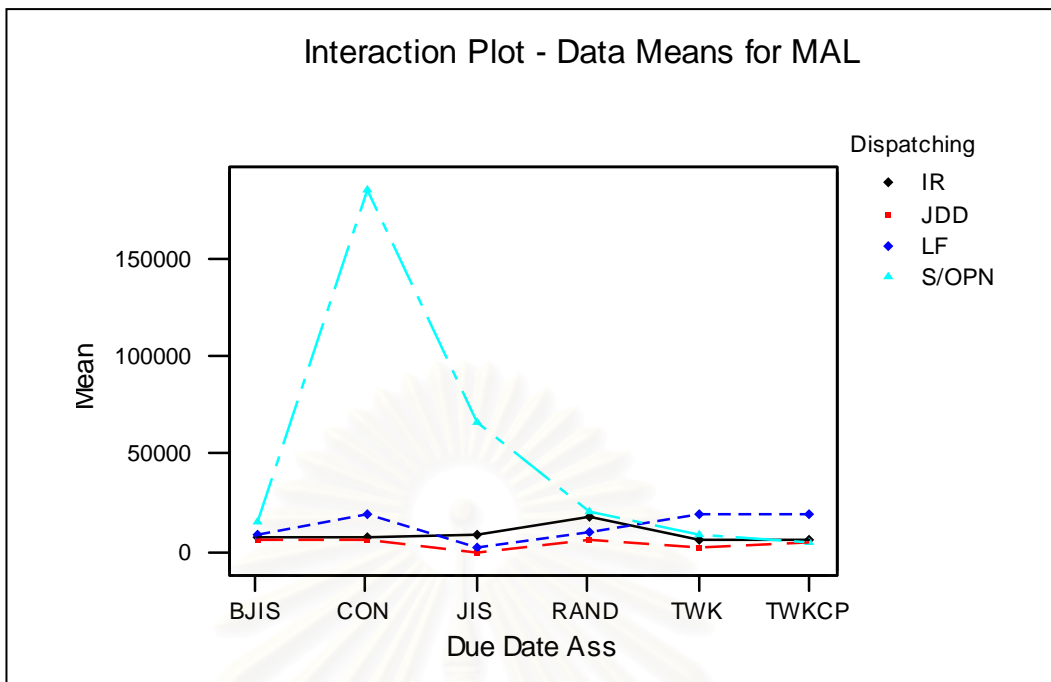
จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ดังกราฟรูปที่ 5-91 - 5-93 พบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้นให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือ กฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่ กฎ JIS และ BJIS ส่วนกฎ TWK และ TWKCP นั้นถือว่าให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่า และกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่ กฎ CON และกฎ RAND

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด กลับได้แก่กฎ TWKCP TWK และ BJIS ตามลำดับ ส่วนกฎ JIS นั้นพบว่าให้ค่าที่ค่อนข้างสูง ส่วนกฎที่ให้ค่าที่สูงมากอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่ กฎ CON

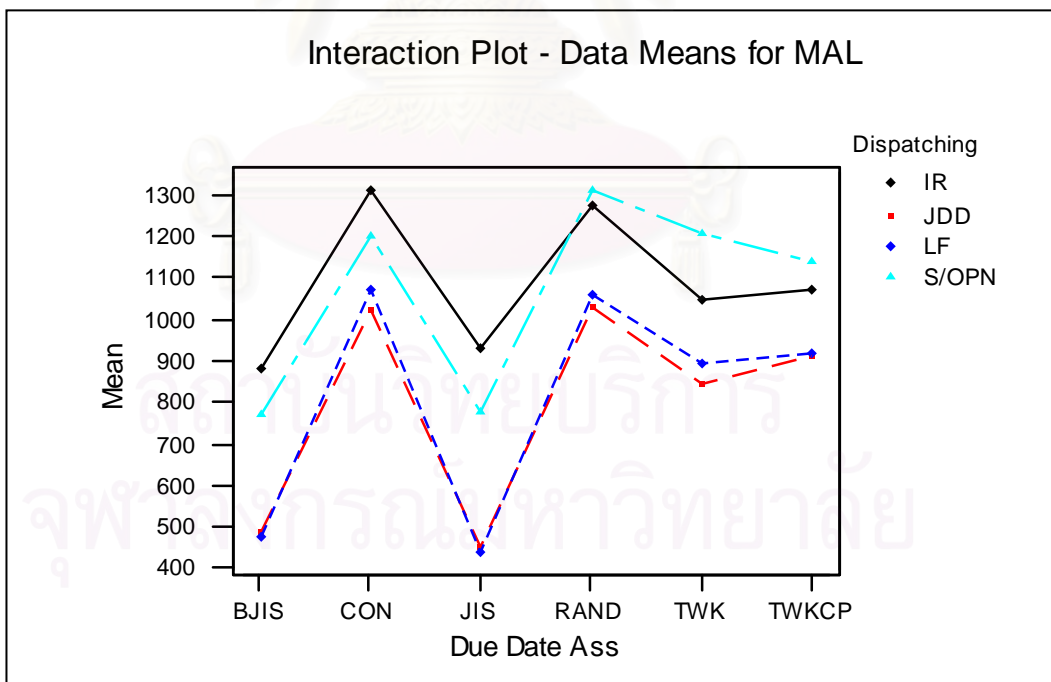
5.3.4.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-94 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-95 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-96 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณากราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัยดังรูปที่ 5-94 – 5-96 จะพบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล ในส่วนของกฎ JDD และกฎ LF ซึ่งพบว่า ทั้งสองกฎนั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด และพบว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมากในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยที่ทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS และให้ค่าที่สูงกว่าเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP โดยจะให้ค่าที่สูงมากเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และกฎ RAND และเมื่อพิจารณาในส่วนของกฎ IR และกฎ S/OPN จะพบว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ให้ผลค่อนข้างแตกต่างกัน โดยที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น พบว่ากฎ IR สามารถให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ JDD และ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP และกฎ IR จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ S/OPN ในทุกกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ในขณะที่พบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้นกฎ IR จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ S/OPN เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ RAND TWK และ TWKCP เท่านั้น

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ไม่ว่าจะกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎใดก็ตาม และเป็นที่น่าสังเกตว่ากฎ IR และกฎ S/OPN ที่มักพบว่าให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่ากฎ LF เมื่อดูจากการวิเคราะห์ที่ผ่านๆมา กลับพบว่ากฎ IR ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ BJIS CON TWK และ TWKCP และพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่ากฎ S/OPN นั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงมาก โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ JIS ตามลำดับ

5.3.4.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-8 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ LF-JIS | 461.5 | ↑ JDD-JIS | 341 | ↑ LF-JIS | 444.0 |
| JDD-JIS | 463.8 | LF-JIS | 1,872 | JDD-JIS | 451.0 |
| ↓ LF-BJIS | 517.3 | JDD-TWK | 2,557 | ↓ LF-BJIS | 480.4 |
| ↓ JDD-BJIS | 518.2 | ↑ S/OPN-TWKCP | 5,127 | ↓ JDD-BJIS | 489.4 |
| ↑ IR-JIS | 629.4 | JDD-TWKCP | 5,583 | ↑ S/OPN-BJIS | 769.8 |
| ↓ IR-BJIS | 642.4 | ↑ JDD-BJIS | 6,533 | S/OPN-JIS | 774.6 |
| ↑ S/OPN-BJIS | 835.1 | IR-TWK | 6,537 | ↑ JDD-TWK | 845.9 |
| ↑ IR-TWK | 914.8 | IR-TWKCP | 6,606 | ↑ IR-BJIS | 880.2 |
| ↓ S/OPN-JIS | 920.4 | JDD-RAND | 6,618 | ↓ LF-TWK | 892.3 |
| JDD-TWK | 943.9 | JDD-CON | 6,686 | JDD-TWKCP | 910.2 |
| LF-TWK | 947.0 | IR-CON | 7,034 | LF-TWKCP | 920.0 |
| IR-TWKCP | 953.1 | ↑ IR-BJIS | 7,726 | ↓ IR-JIS | 927.1 |
| S/OPN-TWKCP | 958.6 | ↑ IR-JIS | 8,509 | ↑ JDD-CON | 1,021.4 |
| S/OPN-TWK | 965.7 | LF-BJIS | 8,779 | ↓ JDD-RAND | 1,028.9 |
| JDD-TWKCP | 973.3 | S/OPN-TWK | 9,455 | IR-TWK | 1,044.4 |
| ↓ LF-TWKCP | 976.7 | LF-RAND | 9,847 | LF-RAND | 1,061.0 |
| ↑ JDD-RAND | 1,084.7 | ↓ S/OPN-BJIS | 15,564 | LF-CON | 1,068.5 |
| ↑ JDD-CON | 1,131.2 | ↓ IR-RAND | 18,655 | ↓ IR-TWKCP | 1,070.2 |
| ↓ LF-CON | 1,152.2 | LF-CON | 19,473 | ↑ S/OPN-TWKCP | 1,140.3 |
| ↓ LF-RAND | 1,163.5 | LF-TWKCP | 19,658 | S/OPN-CON | 1,197.4 |
| ↑ IR-CON | 1,196.3 | ↓ LF-TWK | 19,686 | ↓ S/OPN-TWK | 1,207.1 |
| IR-RAND | 1,209.0 | ↓ S/OPN-RAND | 20,668 | IR-RAND | 1,270.6 |
| ↓ S/OPN-CON | 1,212.8 | S/OPN-JIS | 66,049 | IR-CON | 1,307.7 |
| ↓ S/OPN-RAND | 1,278.0 | S/OPN-CON | 185,088 | ↓ S/OPN-RAND | 1,308.4 |

จากตารางที่ 5-8 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสาย โดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ในลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล ในส่วนของกฎ JDD และกฎ LF ซึ่งพบว่า ทั้งสองกฎนั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยจะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS และให้ค่าที่สูงกว่าเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP โดยจะให้ค่าที่สูงมากเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และกฎ RAND และเมื่อพิจารณาในส่วนของกฎ IR และกฎ S/OPN จะพบว่าทั้งสองกฎนี้สามารถให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ กฎ JIS และ BJIS เช่นกัน แต่สังเกตได้ว่าระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS แล้ว กฎ IR จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ S/OPN อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พบว่าในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ IR จะให้ค่าที่สูงกว่ากฎ S/OPN แต่ให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และเป็นที่น่าสังเกตว่ากฎ IR และกฎ S/OPN ที่มีกฎพบว่าให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่ากฎ LF เมื่อดูจากการวิเคราะห์ที่ผ่านๆมา กลับพบว่าโดยรวมแล้วกฎ IR ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF และพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่ต่ำมาก เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่ากฎ S/OPN นั้น ยังเป็นกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงมาก โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ JIS ตามลำดับ

5.4 ระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

5.4.1 การวิเคราะห์เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)

5.4.1.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 83053625 | 27684542 | 767.92 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 502575 | 100515 | 2.79 | 0.017 |
| Interaction | 15 | 1318956 | 87930 | 2.44 | 0.002 |
| Error | 456 | 16439306 | 36051 | | |
| Total | 479 | 101314462 | | | |

รูปที่ 5-97 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 2.194E+09 | 731387566 | 103.86 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 8676887 | 1735377 | 0.25 | 0.942 |
| Interaction | 15 | 30230963 | 2015398 | 0.29 | 0.996 |
| Error | 456 | 3.211E+09 | 7041814 | | |
| Total | 479 | 5.444E+09 | | | |

รูปที่ 5-98 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

Two-way ANOVA: F versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

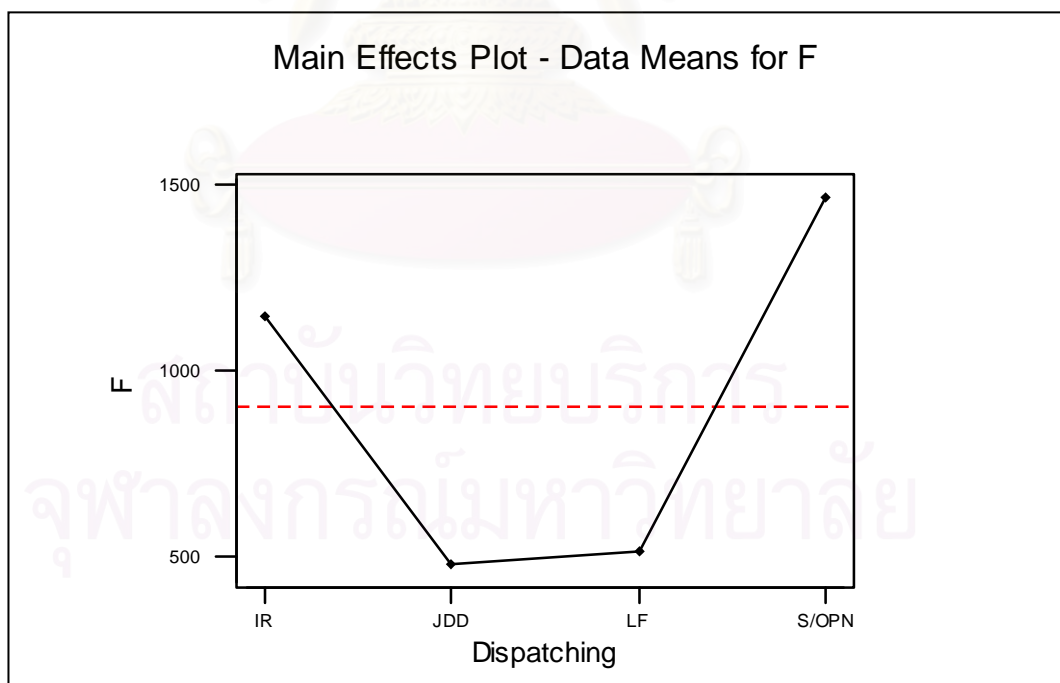
| Analysis of Variance for F | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 402791002 | 134263667 | 232.13 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 4052272 | 810454 | 1.40 | 0.222 |
| Interaction | 15 | 17371721 | 1158115 | 2.00 | 0.014 |
| Error | 456 | 263746807 | 578392 | | |
| Total | 479 | 687961802 | | | |

รูปที่ 5-99 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ มีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลของปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และผลร่วมระหว่างสองปัจจัย ลดน้อยลง นั่นหมายความว่าโดยส่วนใหญ่แล้ว ประสิทธิภาพของระบบทางด้านค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ส่งผลมาจากความแตกต่างทางด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่าปัจจัยด้านกฎการจ่ายงาน และผลร่วมระหว่างสองปัจจัย มีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่า ปัจจัยด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้นย่อมมีผลต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน

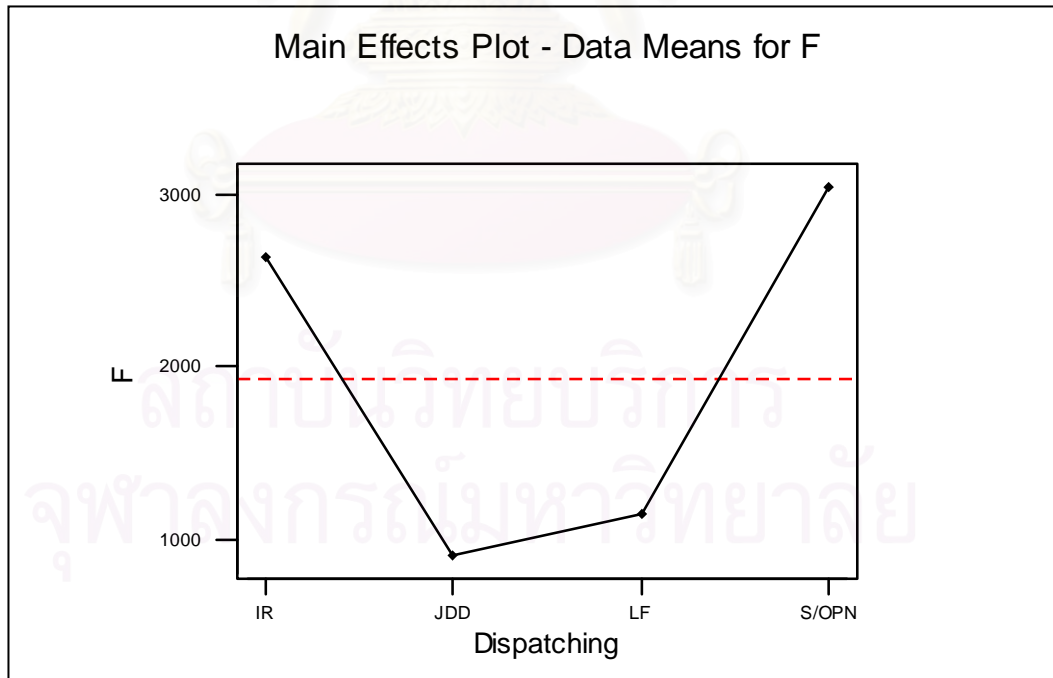
5.4.1.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-100 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



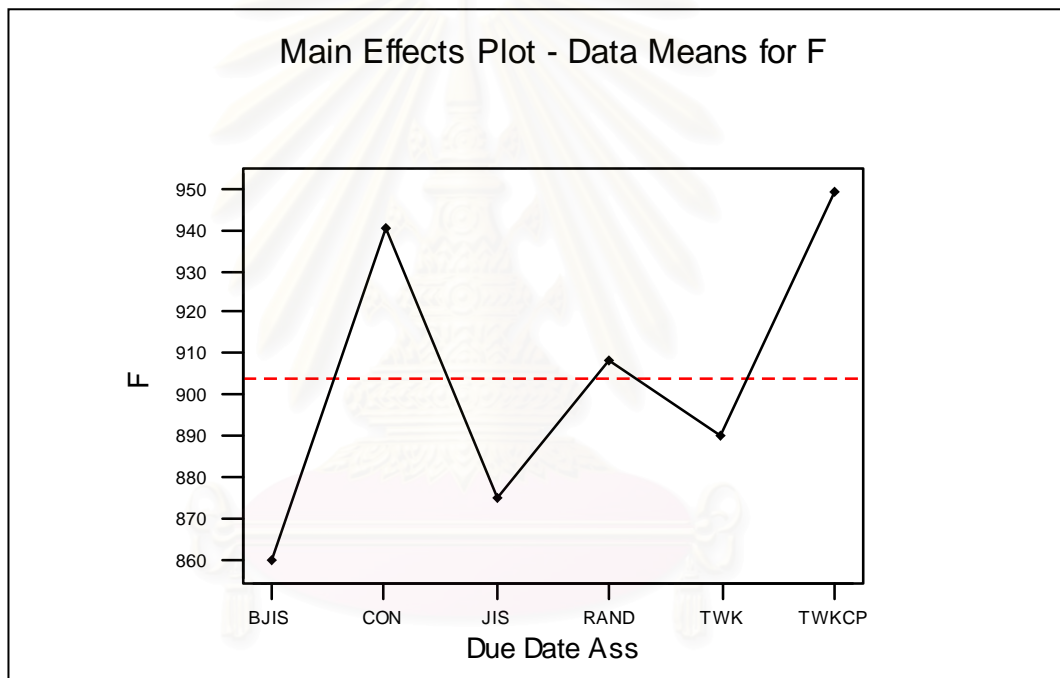
รูปที่ 5-101 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



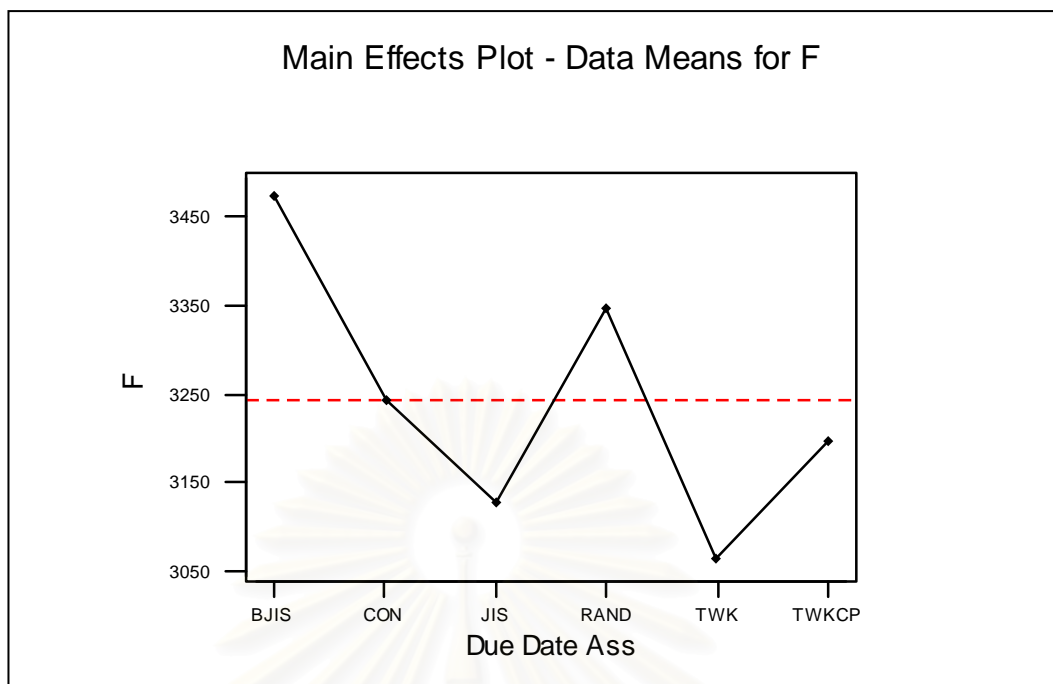
รูปที่ 5-102 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-100 – 5-102 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% และกฎ JDD ให้ค่าระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อยในระบบที่ไม่สมดุล ส่วนกฎที่ให้ค่าระยะเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

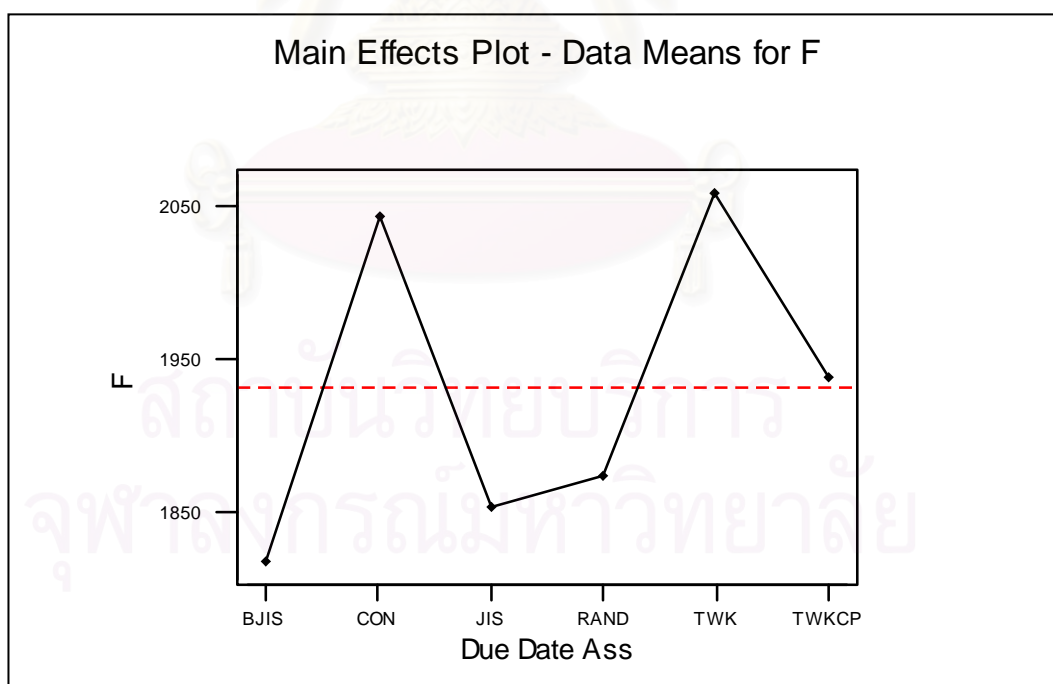
5.4.1.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-103 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-104 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

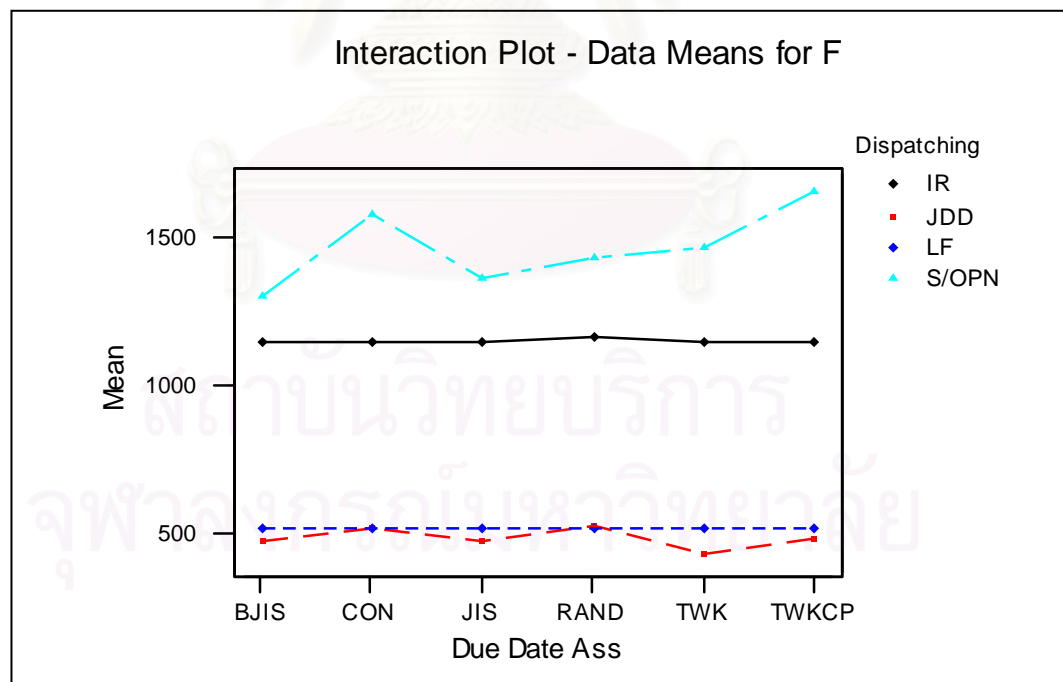


รูปที่ 5-105 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

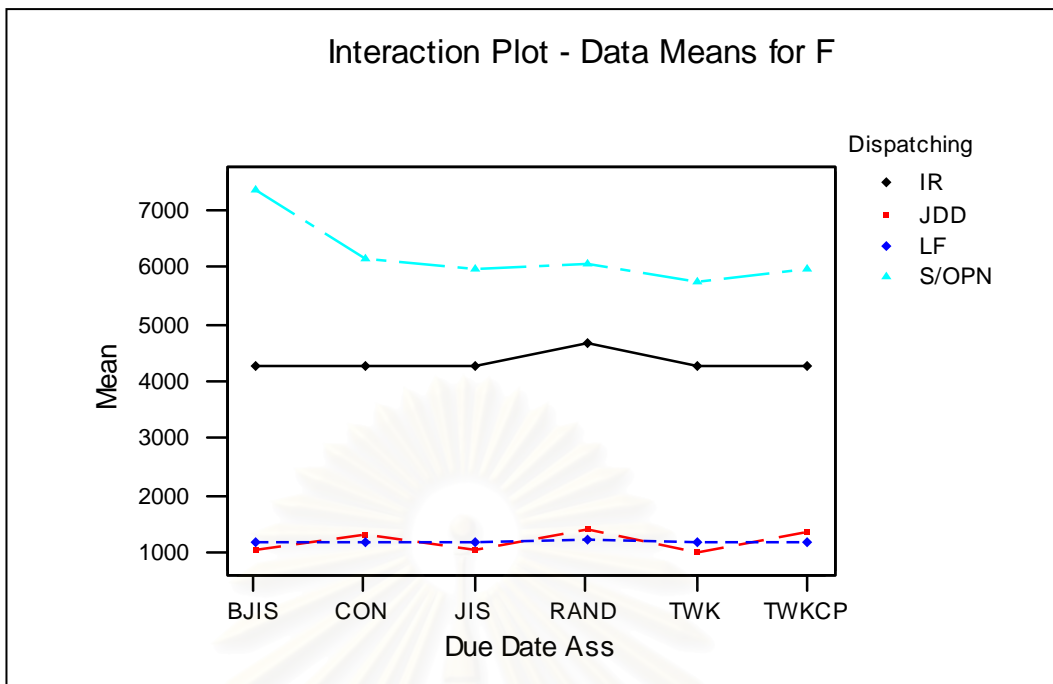
จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ซึ่งในที่นี้ความแตกต่างมาจากผลของการใช้กฎการจ่ายงานแบบ JDD และ S/OPN เท่านั้น เนื่องมาจากกฎ IR และ LF นั้นไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยเมื่อพิจารณาจากกราฟรูปที่ 5-103 – 5-105 พบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าเวลาการไหลโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ BJIS JIS และ TWK ตามลำดับ ส่วนกฎที่ให้ค่าสูงที่สุด ได้แก่กฎ TWKCP แต่เมื่อภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่า กฎที่ให้ค่าเวลาการไหลโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ TWK JIS และ TWKCP ตามลำดับ ส่วนกฎที่ให้ค่าสูงที่สุด ได้แก่กฎ BJIS

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ BJIS JIS และ RAND ตามลำดับ ส่วนกฎที่ให้ค่าสูงที่สุด ได้แก่กฎ TWK โดยจะพบว่าเมื่อระบบมีความแออัดมากขึ้น รวมทั้งเมื่อให้ระบบเกิดความไม่สมดุลของภาระงานในแต่ละเครื่องจักรแล้ว จะทำให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่เกิดจากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบค่อนข้างมีความผันแปรไปจากเดิม

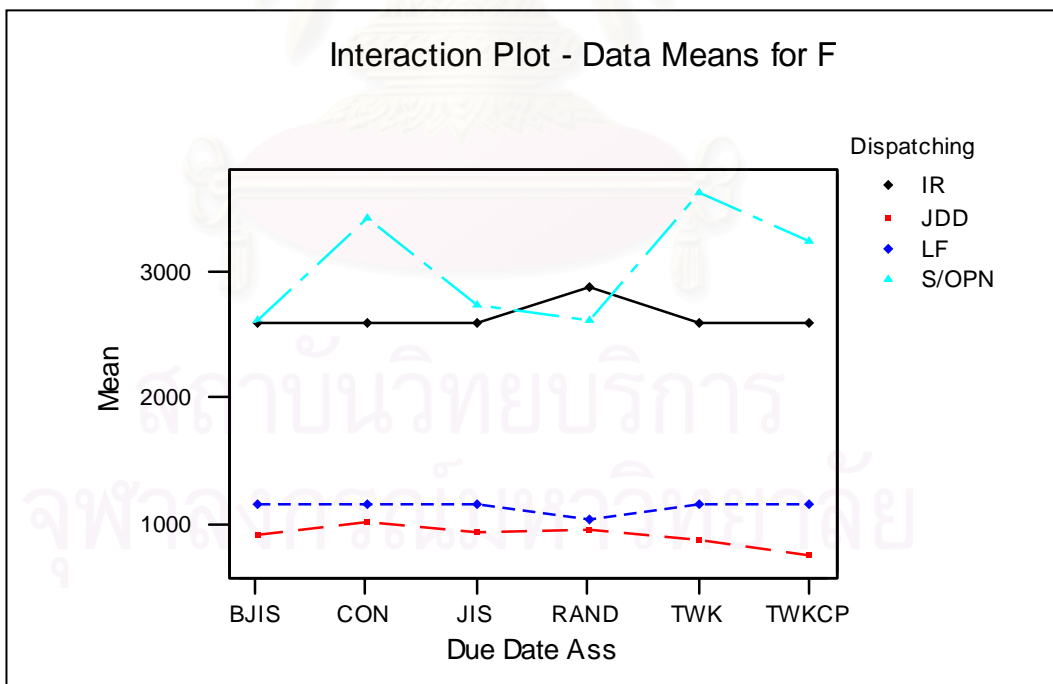
5.4.1.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-106 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-107 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-108 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ จากกราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย ดังรูปที่ 5-106 – 5-108 จะพบว่ากฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF ให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากกฎ IR และ LF นั้นไม่ได้ใช้ข้อมูลทางด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน โดยกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในระบบที่สมดุลทั้งที่ระดับการใช้งาน 80% และ 90% ได้แก่กฎ JDD และ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน โดยกฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS BJIS และ TWK และข้อสังเกตที่เห็นได้ชัดอีกด้านก็คือ กฎ S/OPN นั้นให้ค่าเวลาการไหลของงานที่สูง โดยจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ TWKCP ที่ระดับการใช้งาน 80% และจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ BJIS ที่ระดับการใช้งาน 90%

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ไม่ว่าจะกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎใดก็ตาม โดยจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ส่วนกฎ S/OPN นั้นให้ค่าเวลาการไหลของงานที่สูงที่สุดเช่นเดียวกับในระบบที่สมดุล โดยจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON TWK และ TWKCP ซึ่งเมื่อพิจารณากราฟทั้งสามโดยรวมแล้ว จะพบว่ากฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่แตกต่างกันนั้น ส่งผลต่อกฎ S/OPN มากกว่ากฎ JDD

5.4.1.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-9 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-TWK | 437.6 | ↑ JDD-TWK | 1,034.5 | ↑ JDD-TWKCP | 769.6 |
| JDD-JIS | 477.6 | JDD-BJIS | 1,053.0 | JDD-TWK | 875.4 |
| JDD-BJIS | 477.7 | JDD-JIS | 1,072.8 | JDD-BJIS | 912.9 |
| JDD-TWKCP | 483.5 | LF-CON | 1,195.6 | JDD-JIS | 943.5 |
| LF-CON | 519.3 | LF-TWK | 1,195.6 | JDD-RAND | 967.1 |
| LF-TWK | 519.3 | LF-TWKCP | 1,195.6 | JDD-CON | 1,018.1 |
| LF-TWKCP | 519.3 | LF-JIS | 1,195.6 | LF-RAND | 1,047.3 |
| LF-JIS | 519.3 | LF-BJIS | 1,195.6 | LF-CON | 1,163.8 |
| LF-BJIS | 519.3 | ↑ LF-RAND | 1,245.1 | LF-TWK | 1,163.8 |
| LF-RAND | 519.4 | JDD-CON | 1,341.3 | LF-TWKCP | 1,163.8 |
| JDD-CON | 523.3 | JDD-TWKCP | 1,358.1 | LF-JIS | 1,163.8 |
| ↓ JDD-RAND | 524.3 | ↓ JDD-RAND | 1,409.5 | ↓ LF-BJIS | 1,163.8 |
| ↑ IR-CON | 1,143.1 | ↑ IR-CON | 4,284.3 | ↑ IR-CON | 2,580.6 |
| IR-TWK | 1,143.1 | IR-TWK | 4,284.3 | IR-TWK | 2,580.6 |
| IR-TWKCP | 1,143.1 | IR-TWKCP | 4,284.3 | IR-TWKCP | 2,580.6 |
| IR-JIS | 1,143.1 | IR-JIS | 4,284.3 | IR-JIS | 2,580.6 |
| IR-BJIS | 1,143.1 | ↓ IR-BJIS | 4,284.3 | IR-BJIS | 2,580.6 |
| IR-RAND | 1,162.2 | ↑ IR-RAND | 4,675.3 | S/OPN-RAND | 2,617.1 |
| ↑ S/OPN-BJIS | 1,301.3 | S/OPN-TWK | 5,755.3 | S/OPN-BJIS | 2,617.5 |
| ↓ S/OPN-JIS | 1,360.0 | S/OPN-TWKCP | 5,949.0 | S/OPN-JIS | 2,722.5 |
| S/OPN-RAND | 1,427.8 | S/OPN-JIS | 5,968.2 | ↑ IR-RAND | 2,861.0 |
| ↑ S/OPN-TWK | 1,460.7 | S/OPN-RAND | 6,057.2 | S/OPN-TWKCP | 3,235.8 |
| ↓ S/OPN-CON | 1,574.4 | S/OPN-CON | 6,151.0 | ↓ S/OPN-CON | 3,408.7 |
| ↓ S/OPN-TWKCP | 1,650.2 | ↓ S/OPN-BJIS | 7,351.4 | ↓ S/OPN-TWK | 3,610.3 |

จากตารางที่ 5-9 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในช่วงกว้างของลูกศรเส้นเดียวกัน โดยพบว่า กฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบ ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าในระบบที่สมดุลนั้น กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP และข้อสังเกตที่เห็นได้ชัดอีกด้านก็คือ กฎ S/OPN นั้นให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูง โดยจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ที่ระดับการใช้งาน 80% และจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ BJIS ที่ระดับการใช้งาน 90% และเมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อใช้ร่วมกับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2 การวิเคราะห์เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)

5.4.2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 20766933 | 6922311 | 391.94 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 1196236 | 239247 | 13.55 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 2291169 | 152745 | 8.65 | 0.000 |
| Error | 456 | 8053744 | 17662 | | |
| Total | 479 | 32308082 | | | |

รูปที่ 5-109 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|-----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 1.303E+09 | 434487315 | 110.23 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 105613733 | 21122747 | 5.36 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 78404853 | 5226990 | 1.33 | 0.182 |
| Error | 456 | 1.797E+09 | 3941614 | | |
| Total | 479 | 3.285E+09 | | | |

รูปที่ 5-110 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

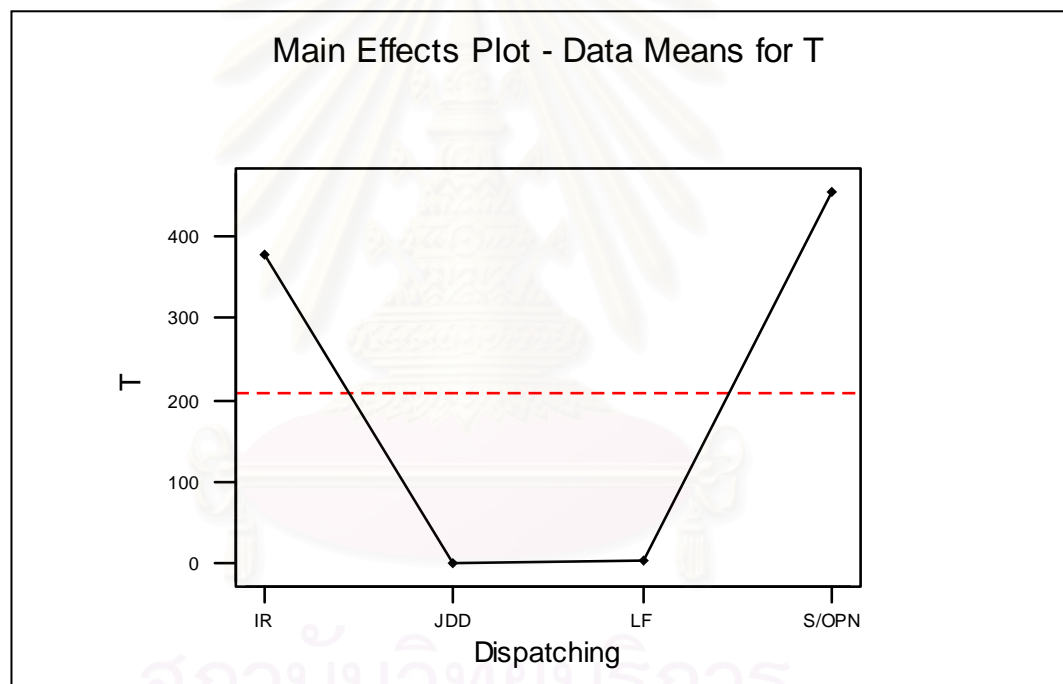
Two-way ANOVA: T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for T | | | | | |
|----------------------------|-----|-----------|----------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 272549046 | 90849682 | 237.88 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 23561805 | 4712361 | 12.34 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 27442494 | 1829500 | 4.79 | 0.000 |
| Error | 456 | 174152801 | 381914 | | |
| Total | 479 | 497706146 | | | |

รูปที่ 5-111 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ มีผลต่อค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่กลับพบว่าเมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลกระทบจากผลร่วมระหว่างสองปัจจัยลดน้อยลง จนถึงว่าไม่ส่งผลต่อค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ

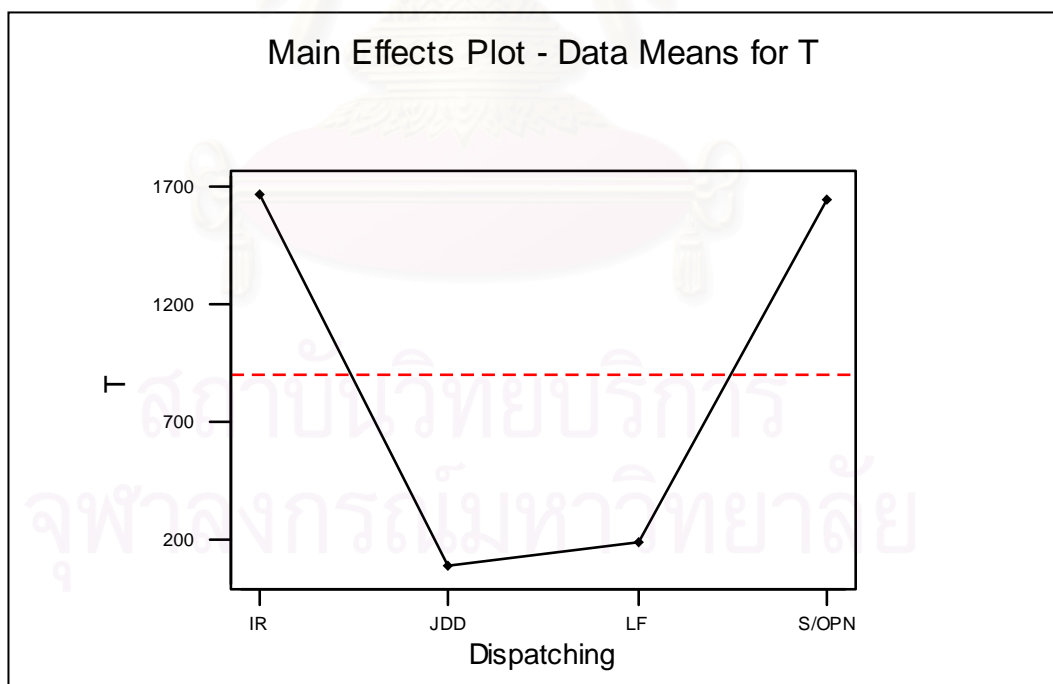
5.4.2.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-112 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาดำซ้ำของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



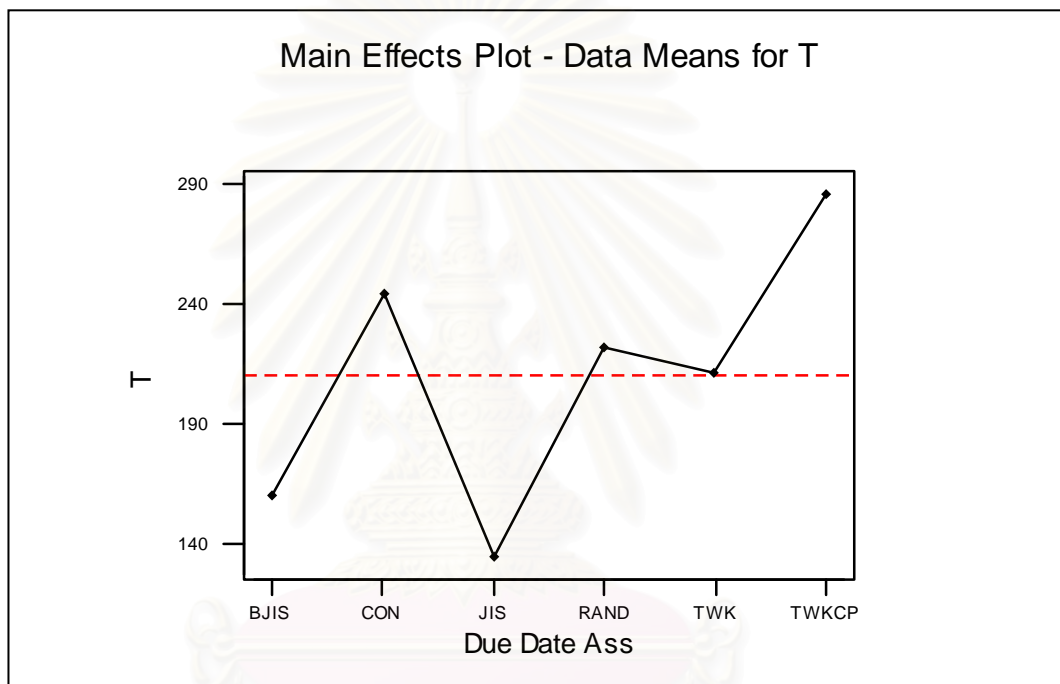
รูปที่ 5-113 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



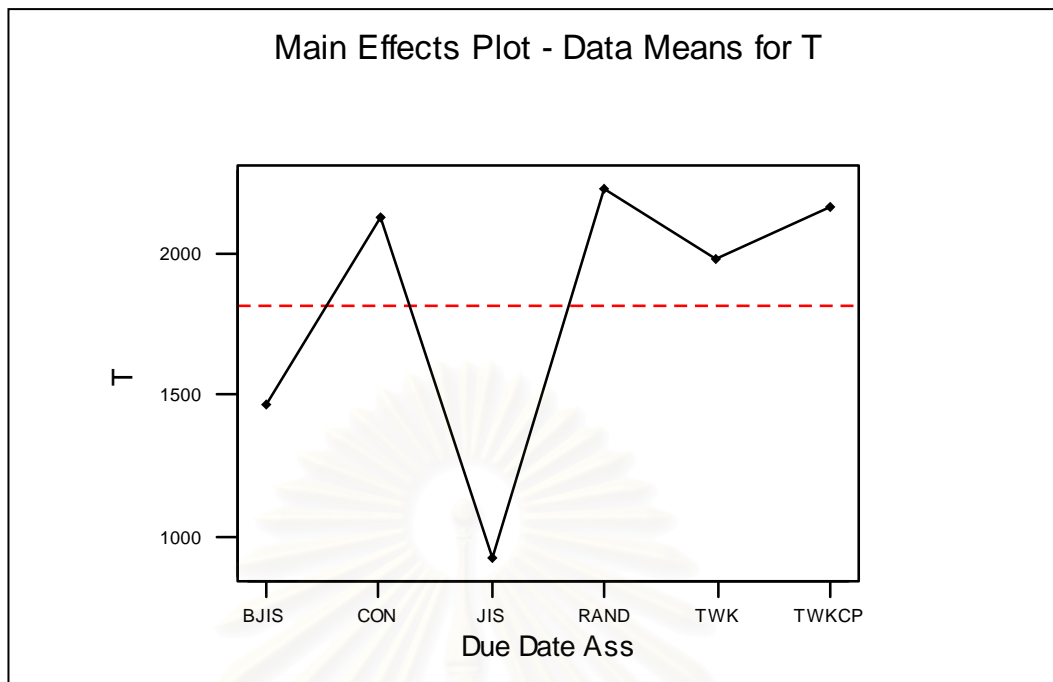
รูปที่ 5-114 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-112 – 5-114 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) นั้น ผลของกฎการจ่ายงานเป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ โดยกฎ JDD และกฎ LF สามารถให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน ส่วนกฎที่พบว่าให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

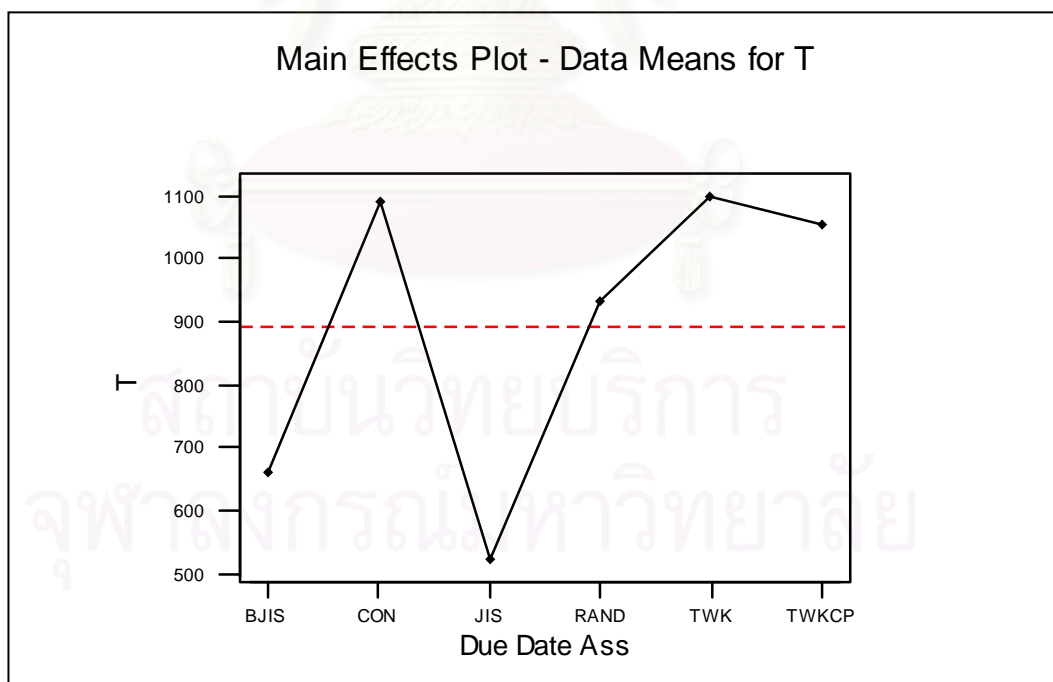
5.4.2.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-115 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



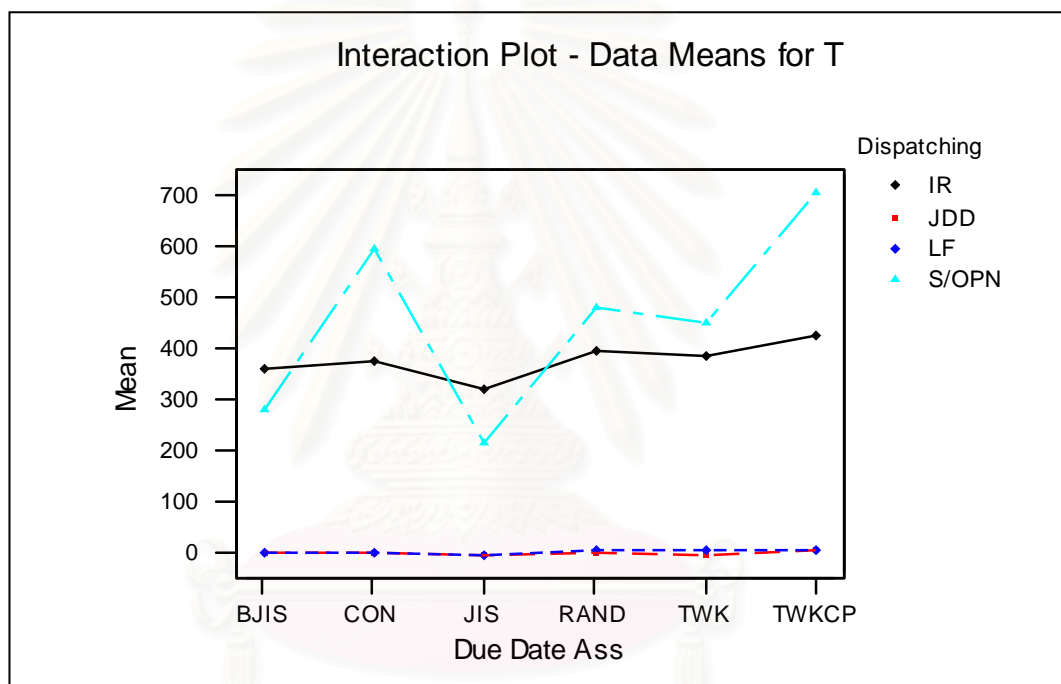
รูปที่ 5-116 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



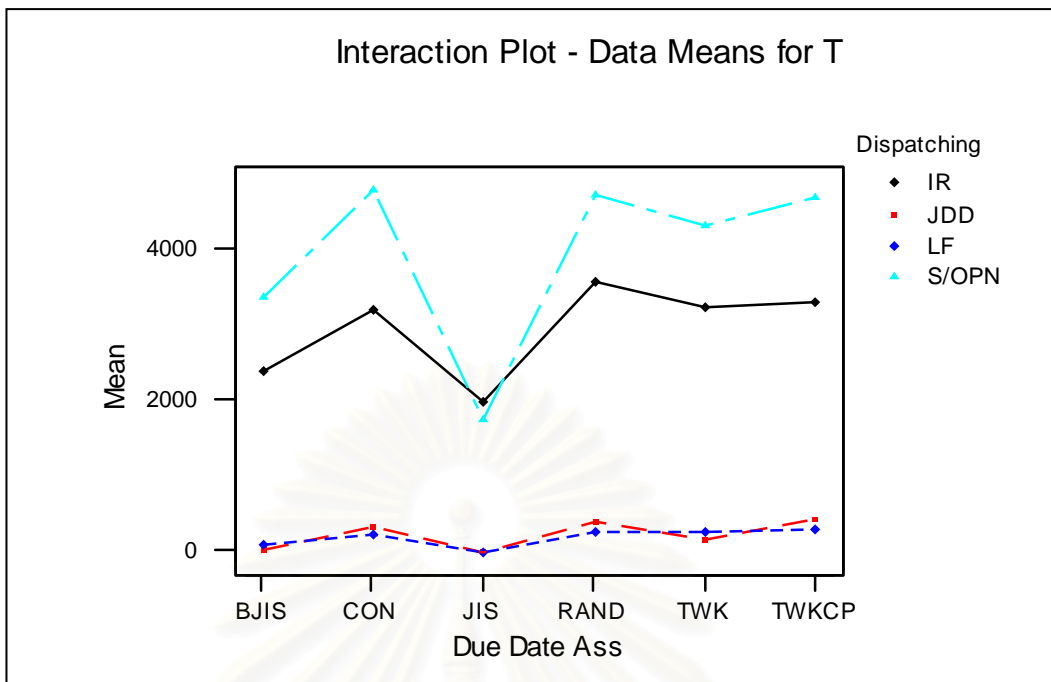
รูปที่ 5-117 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ กับค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย จากกราฟรูปที่ 5-115 – 5-117 พบว่าโดยภาพรวมให้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกสถานะของระบบ นั่นคือ กฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JIS และ BJIS ตามลำดับ ส่วนกฎอื่นๆนั้น พบว่าให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า ในระบบที่สมดุล กฎ TWK จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ TWKCP แต่ในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กลับพบว่ากฎ TWK ให้ค่าที่สูงกว่ากฎ TWKCP

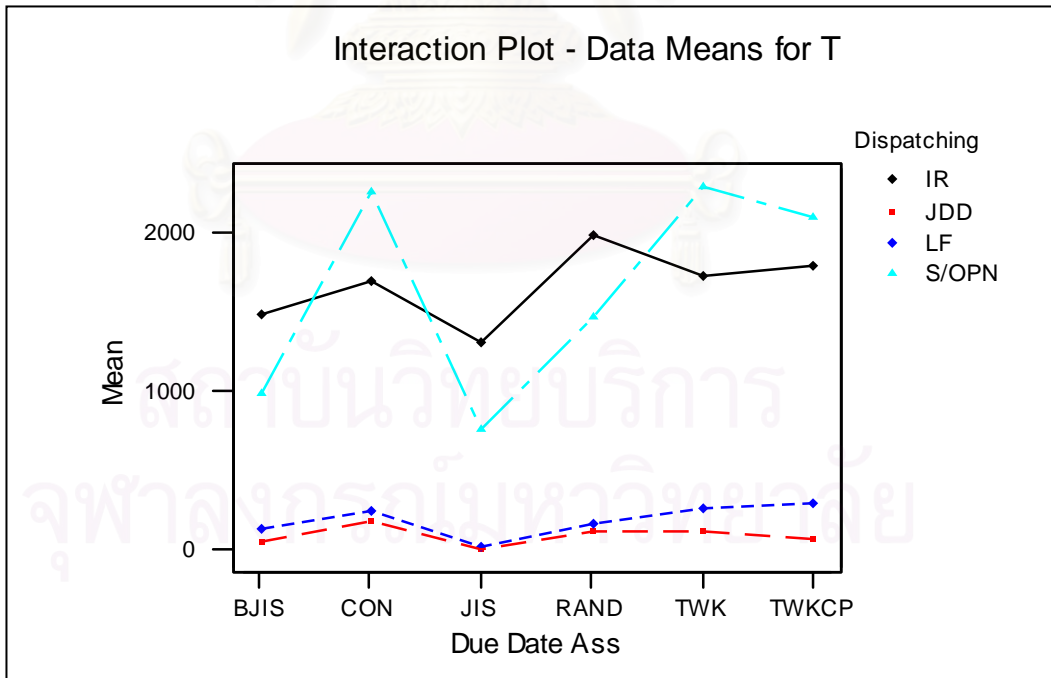
5.4.2.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-118 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-119 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-120 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ จากกราฟรูปที่ 5-118 – 5-120 จะพบว่าในระบบที่สมดุลทั้งที่ระดับการใช้งาน 80% และ 90% นั้น กฎ JDD และ LF ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ใกล้เคียงกันมาก รวมทั้งพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ IR ยกเว้นเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ที่พบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ IR

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ JDD ค่อนข้างให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อย ในทุกกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และเมื่อพิจารณาที่กฎ IR และกฎ S/OPN จะพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ IR เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS BJIS และ RAND



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.2.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-10 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้าน
ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|--------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-JIS | 0.01 | ↑ JDD-JIS | 2.4 | ↑ JDD-JIS | 12.5 |
| JDD-TWK | 0.04 | LF-JIS | 3.4 | LF-JIS | 27.7 |
| LF-JIS | 0.06 | JDD-BJIS | 32.7 | ↑ JDD-BJIS | 57.2 |
| JDD-BJIS | 0.82 | LF-BJIS | 81.6 | JDD-TWKCP | 61.8 |
| LF-BJIS | 1.07 | ↑ JDD-TWK | 140.7 | JDD-TWK | 123.1 |
| JDD-CON | 2.37 | LF-CON | 233.7 | JDD-RAND | 125.0 |
| LF-CON | 3.09 | LF-RAND | 256.9 | LF-BJIS | 126.7 |
| JDD-RAND | 3.60 | LF-TWK | 259.2 | LF-RAND | 164.4 |
| JDD-TWKCP | 5.67 | LF-TWKCP | 275.9 | JDD-CON | 174.6 |
| LF-TWKCP | 6.66 | JDD-CON | 333.0 | LF-CON | 253.2 |
| LF-RAND | 6.88 | JDD-RAND | 397.1 | LF-TWK | 264.9 |
| ↓ LF-TWK | 7.09 | JDD-TWKCP | 408.6 | ↑ ↓ LF-TWKCP | 291.8 |
| ↑ S/OPN-JIS | 217.30 | ↑ S/OPN-JIS | 1,736.7 | ↑ ↓ S/OPN-JIS | 760.0 |
| ↑ S/OPN-BJIS | 279.28 | ↓ IR-JIS | 1,972.4 | ↑ ↓ S/OPN-BJIS | 980.3 |
| ↑ ↓ IR-JIS | 322.81 | ↑ ↓ IR-BJIS | 2,387.0 | ↑ ↓ IR-JIS | 1,306.1 |
| ↑ ↓ IR-BJIS | 360.78 | ↑ IR-CON | 3,174.5 | ↑ ↓ S/OPN-RAND | 1,459.8 |
| ↑ ↓ IR-CON | 375.23 | IR-TWK | 3,221.2 | ↑ ↓ IR-BJIS | 1,483.2 |
| ↑ ↓ IR-TWK | 386.59 | IR-TWKCP | 3,288.6 | ↑ ↓ IR-CON | 1,680.8 |
| ↑ ↓ IR-RAND | 393.90 | S/OPN-BJIS | 3,345.0 | ↑ ↓ IR-TWK | 1,721.0 |
| ↑ ↓ IR-TWKCP | 425.71 | IR-RAND | 3,546.1 | ↑ ↓ IR-TWKCP | 1,780.0 |
| ↑ ↓ S/OPN-TWK | 449.21 | S/OPN-TWK | 4,282.5 | ↑ ↓ IR-RAND | 1,974.7 |
| ↑ ↓ S/OPN-RAND | 480.65 | ↓ S/OPN-TWKCP | 4,664.1 | ↑ ↓ S/OPN-TWKCP | 2,080.3 |
| ↑ ↓ S/OPN-CON | 593.83 | S/OPN-RAND | 4,705.9 | ↑ ↓ S/OPN-CON | 2,244.2 |
| ↑ ↓ S/OPN-TWKCP | 702.00 | ↓ S/OPN-CON | 4,758.5 | ↑ ↓ S/OPN-TWK | 2,278.0 |

จากตารางที่ 5-10 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงกลุ่มของกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ จะอยู่ภายในช่วงกว้างของลูกศรเส้นเดียวกัน พบว่า ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งาน 80% นั้น กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งทั้งสองกฎนี้ จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS อีกทั้งพบว่าโดยรวมแล้ว กฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ IR ยกเว้นเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ที่จะพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ IR ส่วนที่ระดับการใช้งาน 90% นั้น พบว่ากฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS เช่นกัน รวมทั้งพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ IR ยกเว้นเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS เท่านั้น ที่จะพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ IR

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่าโดยภาพรวมแล้ว กฎ JDD ก่อนข้างให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อย ในทุกกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ แต่ถือว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาที่กฎ IR และกฎ S/OPN จะพบว่าทั้งสองกฎนี้ จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS เช่นกัน

5.4.3 การวิเคราะห์เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)

5.4.3.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for %T | | | | | |
|-----------------------------|-----|----------|----------|---------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 52737.55 | 17579.18 | 2243.23 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 592.56 | 118.51 | 15.12 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 742.54 | 49.50 | 6.32 | 0.000 |
| Error | 456 | 3573.47 | 7.84 | | |
| Total | 479 | 57646.10 | | | |

รูปที่ 5-121 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for %T | | | | | |
|-----------------------------|-----|--------|-------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 108207 | 36069 | 286.17 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 27578 | 5516 | 43.76 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 1873 | 125 | 0.99 | 0.464 |
| Error | 456 | 57475 | 126 | | |
| Total | 479 | 195133 | | | |

รูปที่ 5-122 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

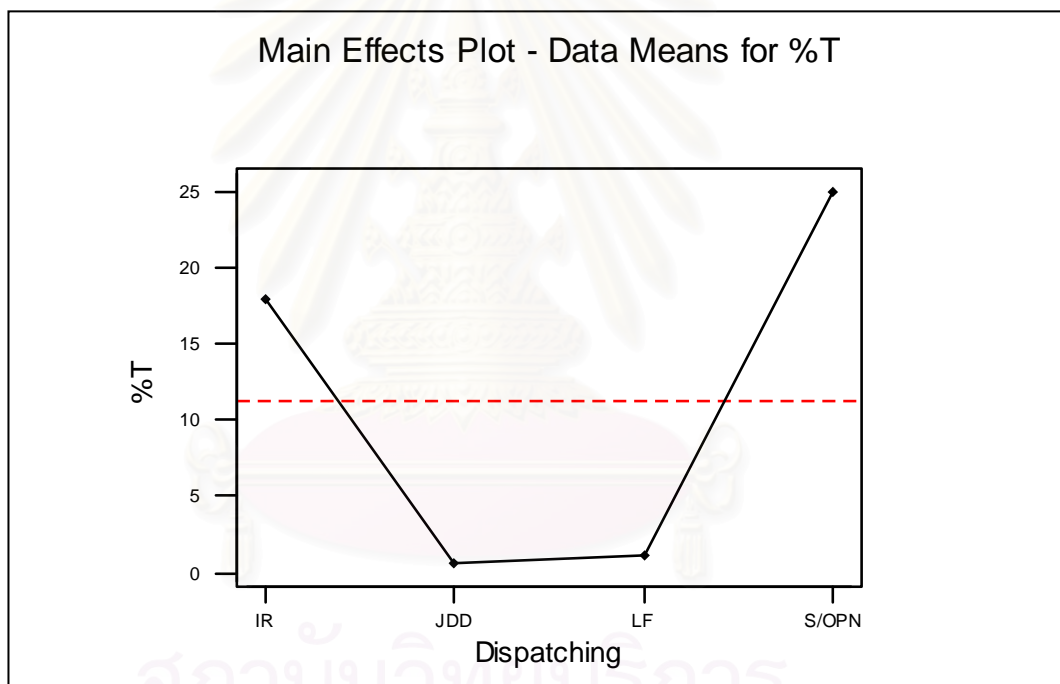
Two-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for %T | | | | | |
|-----------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 3 | 59572.8 | 19857.6 | 220.58 | 0.000 |
| Due Date | 5 | 4372.6 | 874.5 | 9.71 | 0.000 |
| Interaction | 15 | 2407.3 | 160.5 | 1.78 | 0.034 |
| Error | 456 | 41050.8 | 90.0 | | |
| Total | 479 | 107403.5 | | | |

รูปที่ 5-123 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ มีผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลร่วมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่กลับพบว่า เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลกระทบจากผลร่วมระหว่างสองปัจจัย ลดน้อยลง จนถึงว่าไม่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ

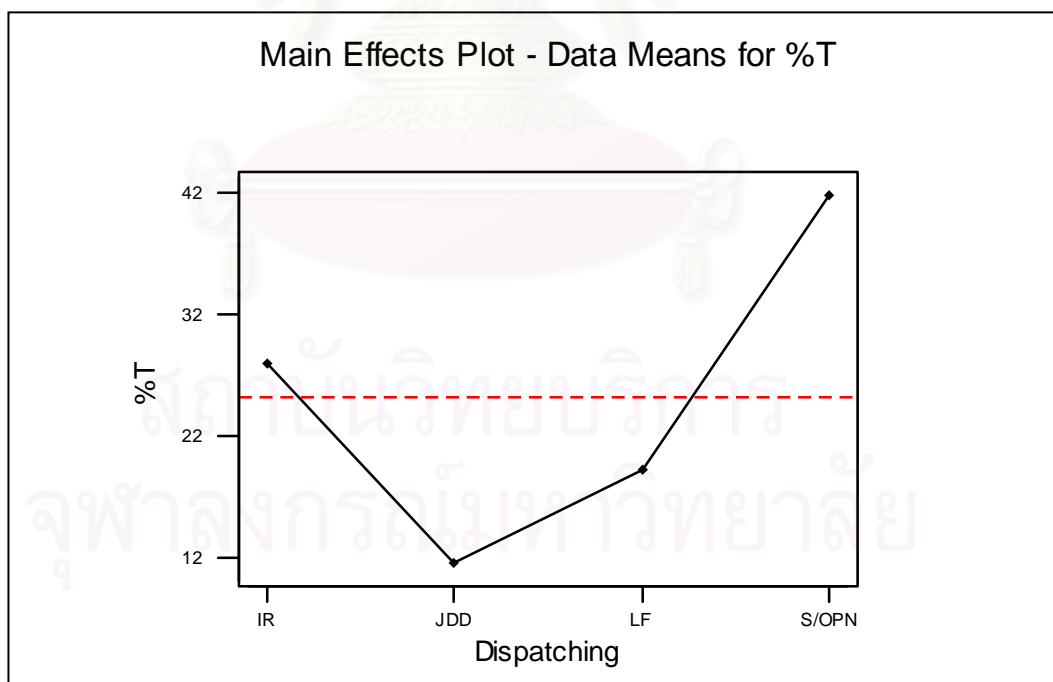
5.4.3.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-124 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



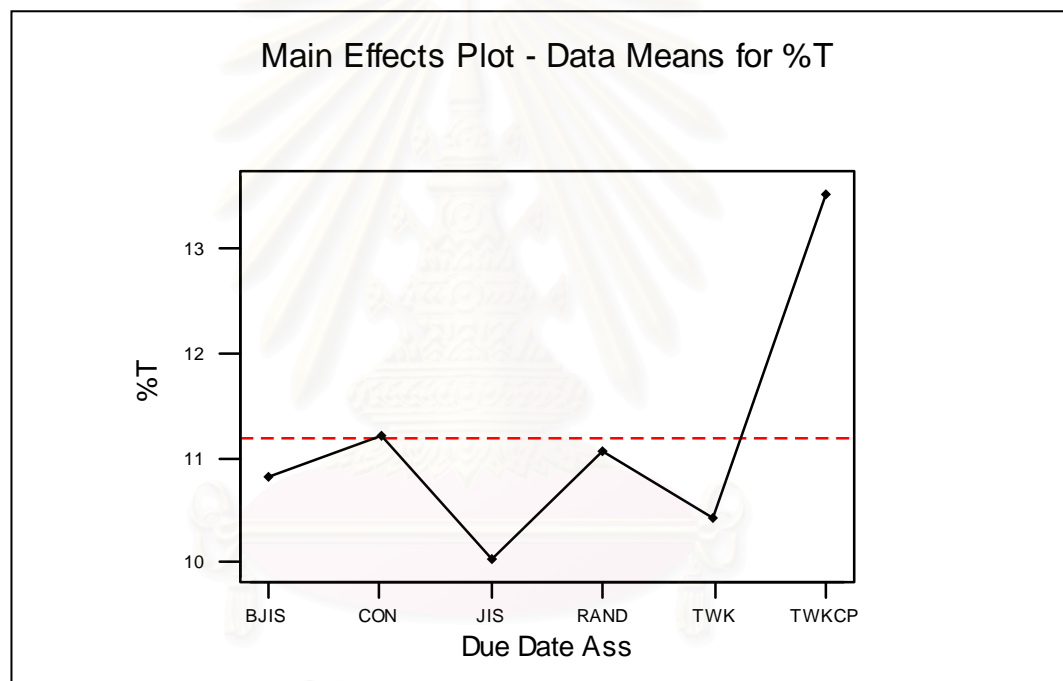
รูปที่ 5-125 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



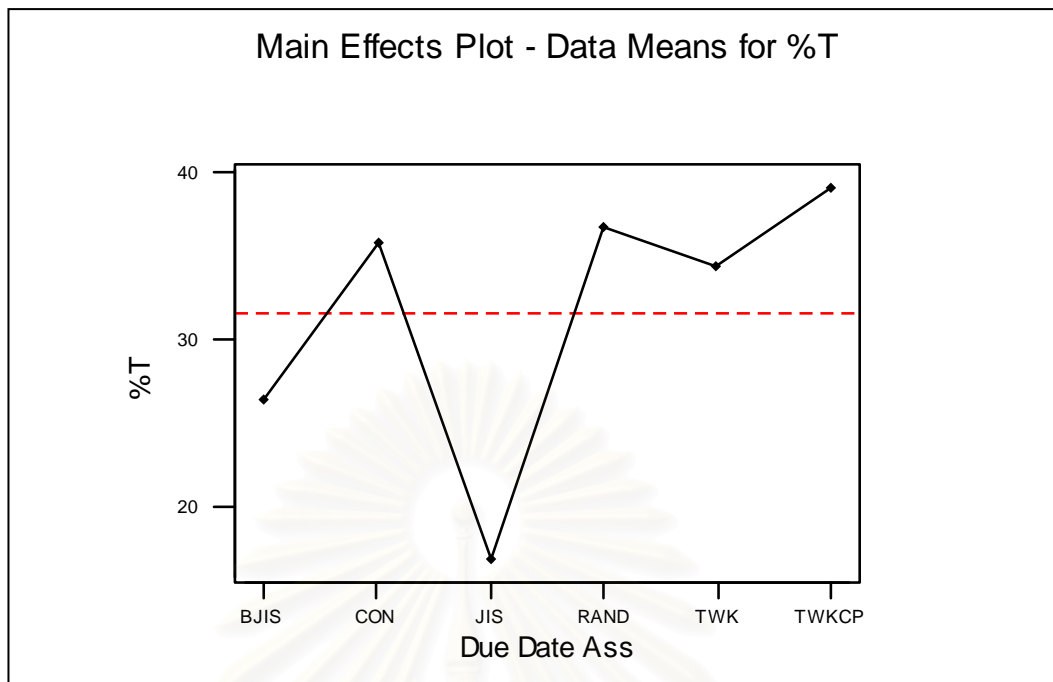
รูปที่ 5-126 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) ในระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-124 – 5-126 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด โดยถือว่าทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันในระบบที่สมดุล ทั้งในระดับการใช้งานที่ 80% และ 90% และกฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำกว่ากฎ LF เล็กน้อยในระบบที่ไม่สมดุล ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุดได้แก่กฎ S/OPN

5.4.3.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-127 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



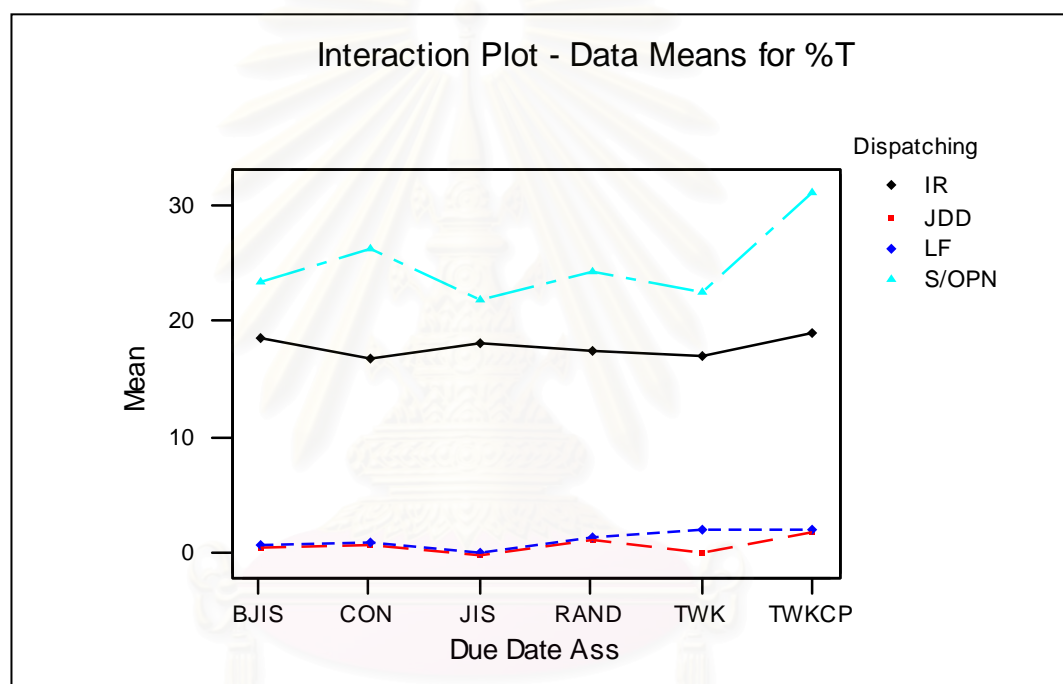
รูปที่ 5-128 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-129 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

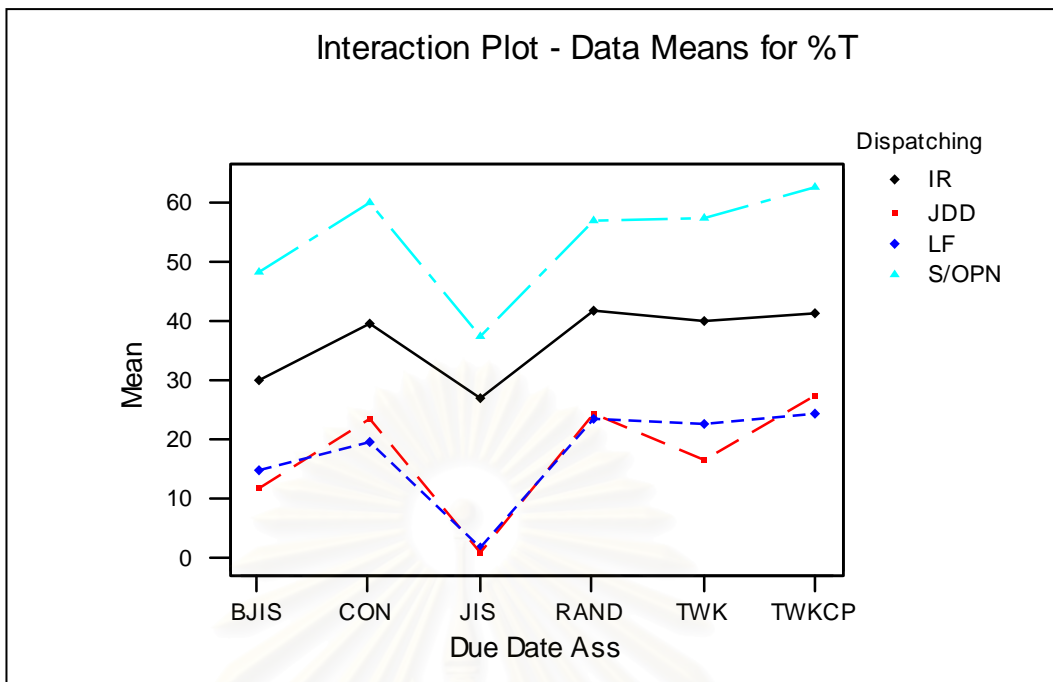
จากการพิจารณากราฟรูปที่ 5-127 – 5-129 พบว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ TWKCP เป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด โดยกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JIS และกฎ TWK ตามลำดับ และเมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% พบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล นั่นคือ กฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดอย่างเห็นได้ชัด ได้แก่กฎ JIS และกฎที่ให้ค่าที่สูงที่สุด ยังคงเป็นกฎ TWKCP

5.4.3.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)

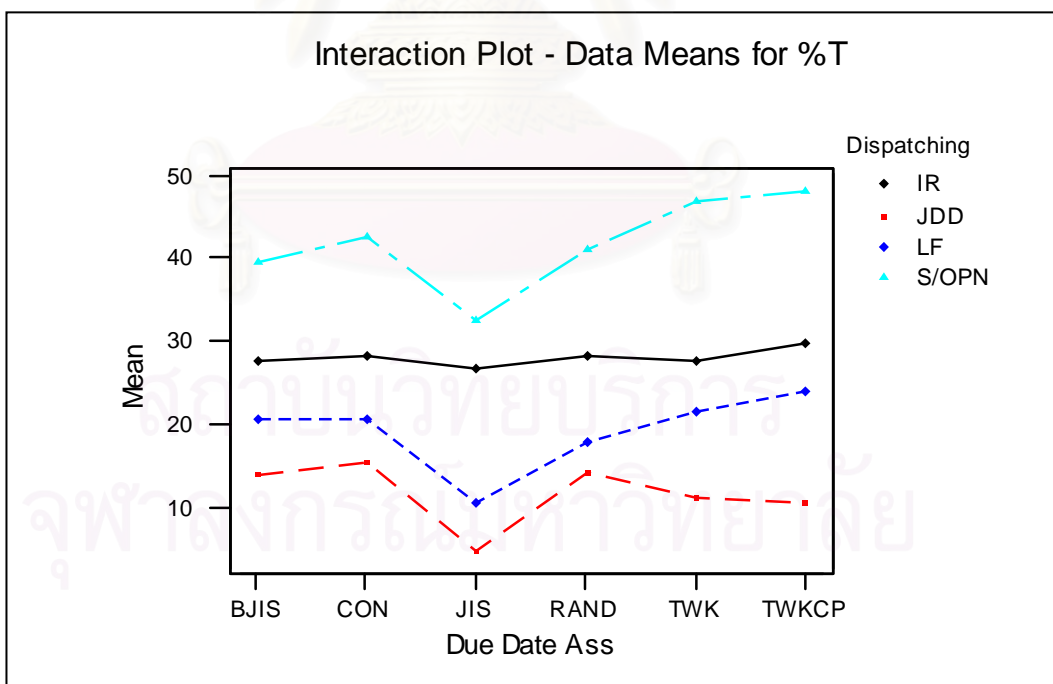


รูปที่ 5-130 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 5-131 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-132 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ จากกราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย ดังรูปที่ 5-130 – 5-132 จะพบว่าในระบบที่สมดุลทั้งที่ในระดับการใช้งานของระบบ 80% และ 90% นั้น กฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ใกล้เคียงกับกฎ LF โดยทั้งสองกฎจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS รวมถึงพบว่า กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ LF อย่างเห็นได้ชัด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่ากฎ LF ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN โดยพบว่า การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS นั้นจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดในทุกๆกฎการจ่ายงาน



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.4.3.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-11 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|-------|-----------------|-------|-----------------|-------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JDD-JIS | 0.01 | ↑ JDD-JIS | 1.24 | ↑ JDD-JIS | 4.95 |
| JDD-TWK | 0.05 | ↑ LF-JIS | 2.00 | ↑ JDD-TWKCP | 10.59 |
| LF-JIS | 0.09 | ↓ JDD-BJIS | 12.09 | LF-JIS | 10.60 |
| JDD-BJIS | 0.55 | ↓ LF-BJIS | 14.89 | ↑ JDD-TWK | 11.23 |
| LF-BJIS | 0.72 | ↑ JDD-TWK | 16.53 | ↑ JDD-BJIS | 13.81 |
| JDD-CON | 0.89 | ↑ LF-CON | 19.77 | ↑ JDD-RAND | 14.26 |
| LF-CON | 0.98 | LF-TWK | 22.79 | ↓ JDD-CON | 15.57 |
| JDD-RAND | 1.14 | LF-RAND | 23.45 | ↑ LF-RAND | 17.96 |
| LF-RAND | 1.41 | ↑ JDD-CON | 23.63 | ↑ LF-CON | 20.57 |
| JDD-TWKCP | 1.84 | JDD-RAND | 24.24 | ↓ LF-BJIS | 20.62 |
| LF-TWKCP | 2.10 | LF-TWKCP | 24.44 | ↓ LF-TWK | 21.57 |
| ↓ LF-TWK | 2.21 | ↑ IR-JIS | 26.86 | ↓ LF-TWKCP | 23.86 |
| ↑ IR-CON | 16.82 | ↓ JDD-TWKCP | 27.46 | ↑ IR-JIS | 26.83 |
| IR-TWK | 17.03 | ↑ IR-BJIS | 30.25 | IR-TWK | 27.62 |
| IR-RAND | 17.35 | ↑ S/OPN-JIS | 37.53 | IR-BJIS | 27.72 |
| IR-JIS | 18.19 | ↓ IR-CON | 39.58 | IR-RAND | 28.08 |
| IR-BJIS | 18.54 | IR-TWK | 40.10 | IR-CON | 28.27 |
| ↑ IR-TWKCP | 19.05 | IR-TWKCP | 41.34 | ↑ IR-TWKCP | 29.65 |
| ↓ S/OPN-JIS | 21.90 | IR-RAND | 41.58 | ↑ S/OPN-JIS | 32.54 |
| S/OPN-TWK | 22.40 | ↓ S/OPN-BJIS | 48.33 | ↓ S/OPN-BJIS | 39.46 |
| ↑ S/OPN-BJIS | 23.47 | ↑ S/OPN-RAND | 56.89 | S/OPN-RAND | 40.82 |
| ↓ S/OPN-RAND | 24.31 | S/OPN-TWK | 57.53 | ↓ S/OPN-CON | 42.48 |
| ↓ S/OPN-CON | 26.19 | ↓ S/OPN-CON | 59.75 | S/OPN-TWK | 46.77 |
| S/OPN-TWKCP | 31.04 | ↓ S/OPN-TWKCP | 62.50 | ↓ S/OPN-TWKCP | 47.93 |

จากตารางที่ 5-11 จะพบว่าในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าทั้งสองกฎนี้ให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยทั้งสองกฎจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN โดยจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ซึ่งพบว่าให้ค่าที่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% เพียงแต่จะสังเกตได้ว่าในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่ต่างกัน จะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

เมื่อพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุล จะพบว่ากฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด ส่วนกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN โดยพบว่า การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS นั้นจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดในทุกๆกฎการจ่ายงาน รวมทั้งพบว่าในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่ต่างกัน จะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% เช่นกัน

5.4.4 การวิเคราะห์ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)

5.4.4.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|----------|---------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 5234576 | 1744859 | 113.71 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 31491676 | 6298335 | 410.47 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 2958245 | 197216 | 12.85 | 0.000 | |
| Error | 456 | 6996952 | 15344 | | | |
| Total | 479 | 46681448 | | | | |

รูปที่ 5-133 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%

Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----------|-----------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 1.426E+09 | 475325875 | 104.59 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 32219217 | 6443843 | 1.42 | 0.216 | |
| Interaction | 15 | 25678158 | 1711877 | 0.38 | 0.984 | |
| Error | 456 | 2.072E+09 | 4544764 | | | |
| Total | 479 | 3.556E+09 | | | | |

รูปที่ 5-134 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%

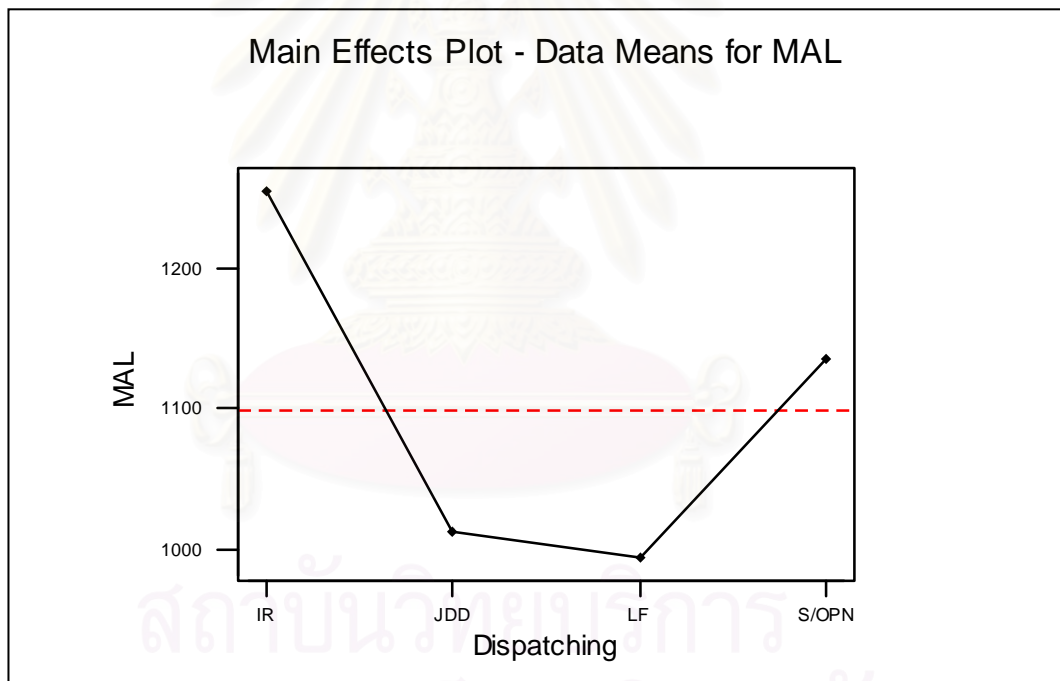
Two-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules, Due Date Assignment Rules

| Analysis of Variance for MAL | | | | | | |
|------------------------------|-----|-----------|----------|--------|-------|--|
| Source | DF | SS | MS | F | P | |
| Dispatch | 3 | 295614942 | 98538314 | 258.37 | 0.000 | |
| Due Date | 5 | 39263086 | 7852617 | 20.59 | 0.000 | |
| Interaction | 15 | 19543046 | 1302870 | 3.42 | 0.000 | |
| Error | 456 | 173914633 | 381392 | | | |
| Total | 479 | 528335707 | | | | |

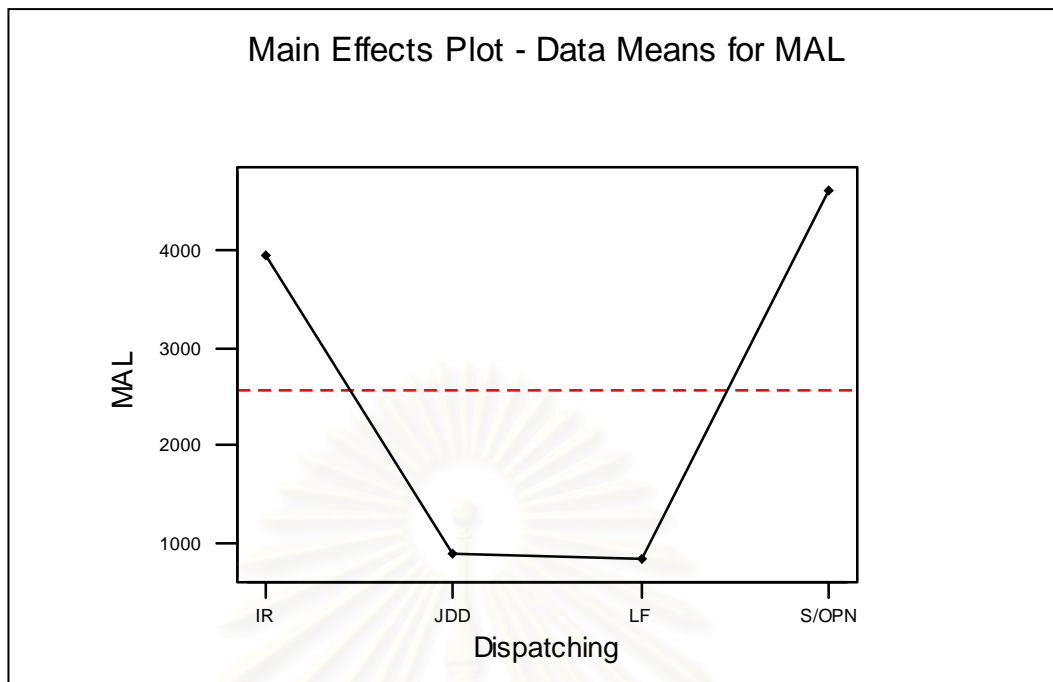
รูปที่ 5-135 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวน เพื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยดูจากค่า P-Value พบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานของเครื่องจักร และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ มีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ อีกทั้งยังพบว่า ผลรวมระหว่างสองปัจจัยก็ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน แต่กลับพบว่าเมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลกระทบจากปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และผลกระทบจากผลรวมระหว่างสองปัจจัย ส่งผลลดน้อยลง จนถึงว่าไม่ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ

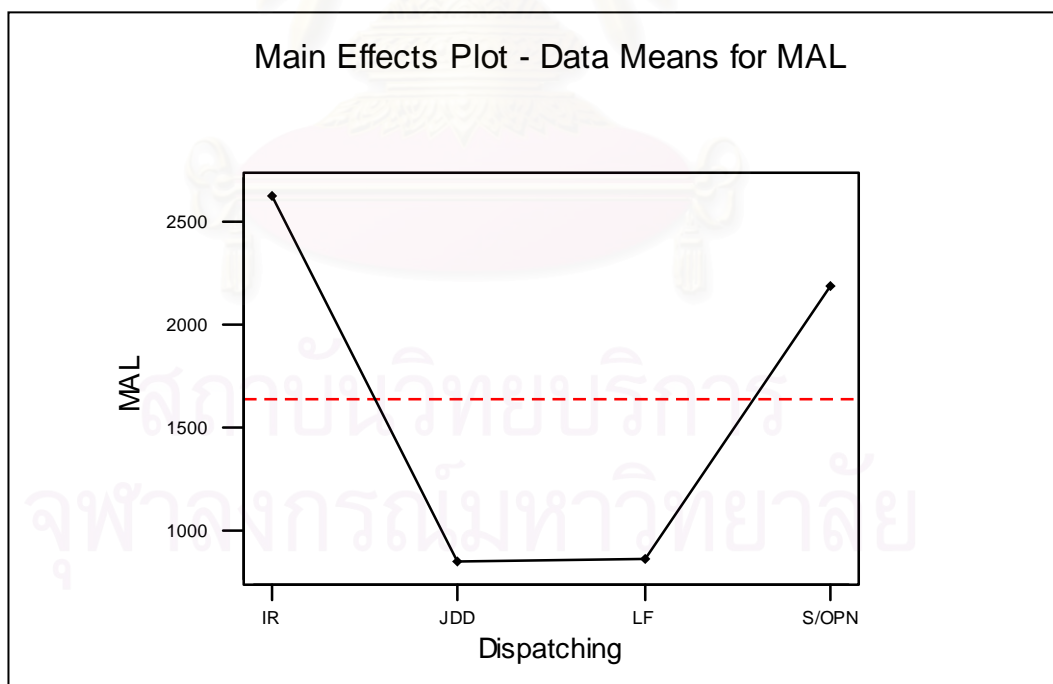
5.4.4.2 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการจ่ายงาน (Dispatching Rules Analysis)



รูปที่ 5-136 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



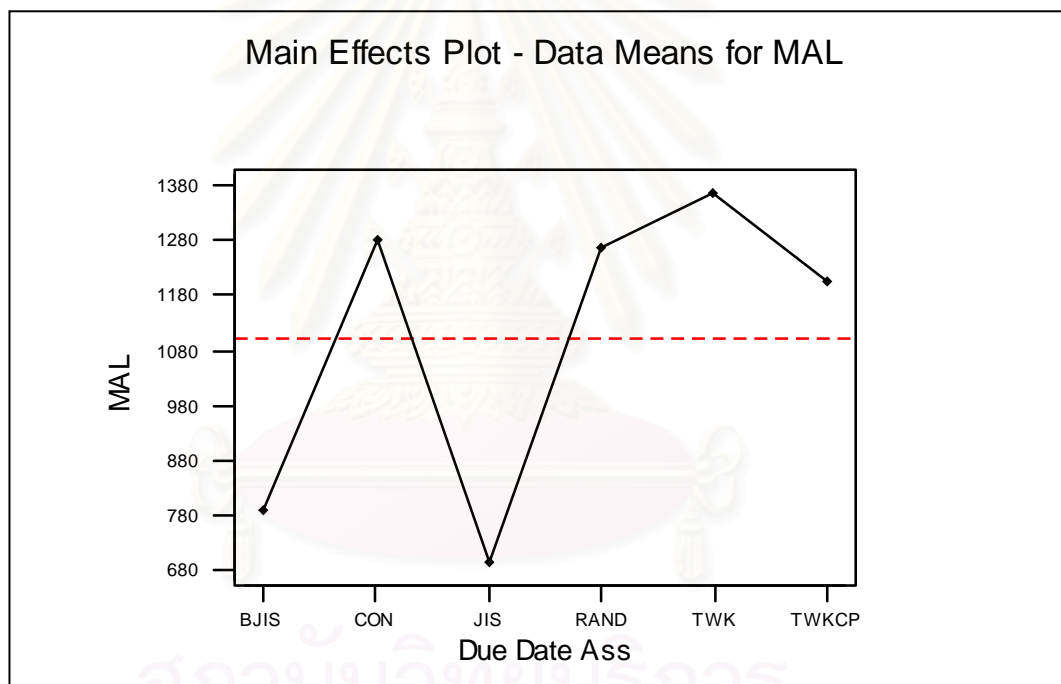
รูปที่ 5-137 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



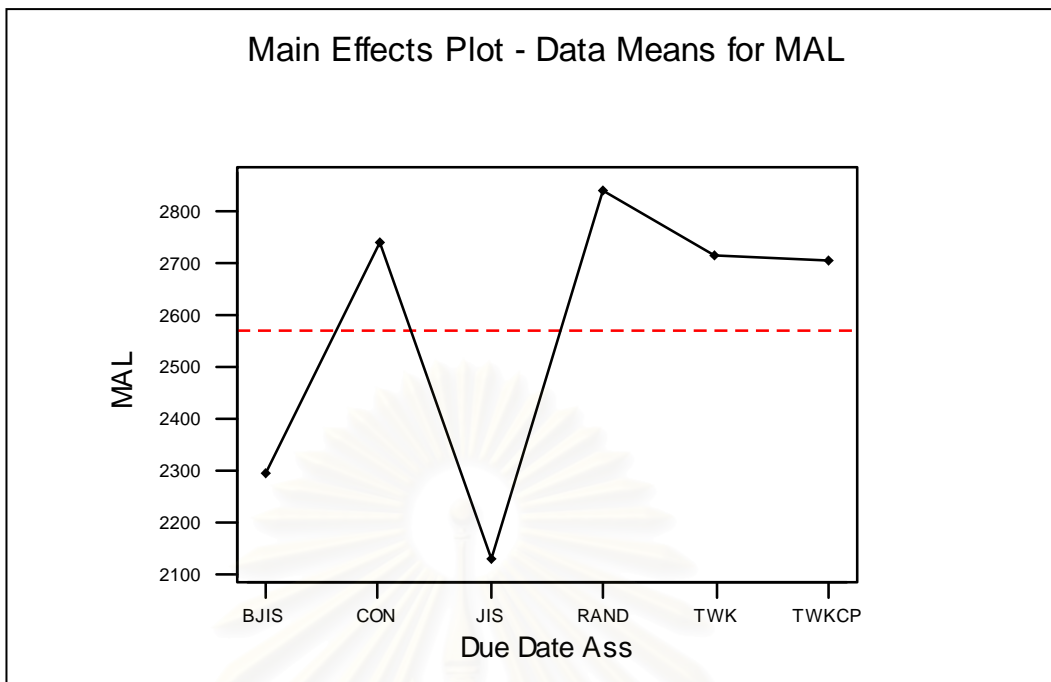
รูปที่ 5-138 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการจ่ายงานกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากรูปที่ 5-136 – 5-138 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) นั้น การจัดลำดับงานให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องโดยใช้กฎ JDD และ LF สามารถให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบ โดยทั้งสองกฎถือว่าให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน และพบว่า กฎ IR เป็นกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% รวมทั้งในระบบที่ไม่สมดุล แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นถึงที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่ากฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด

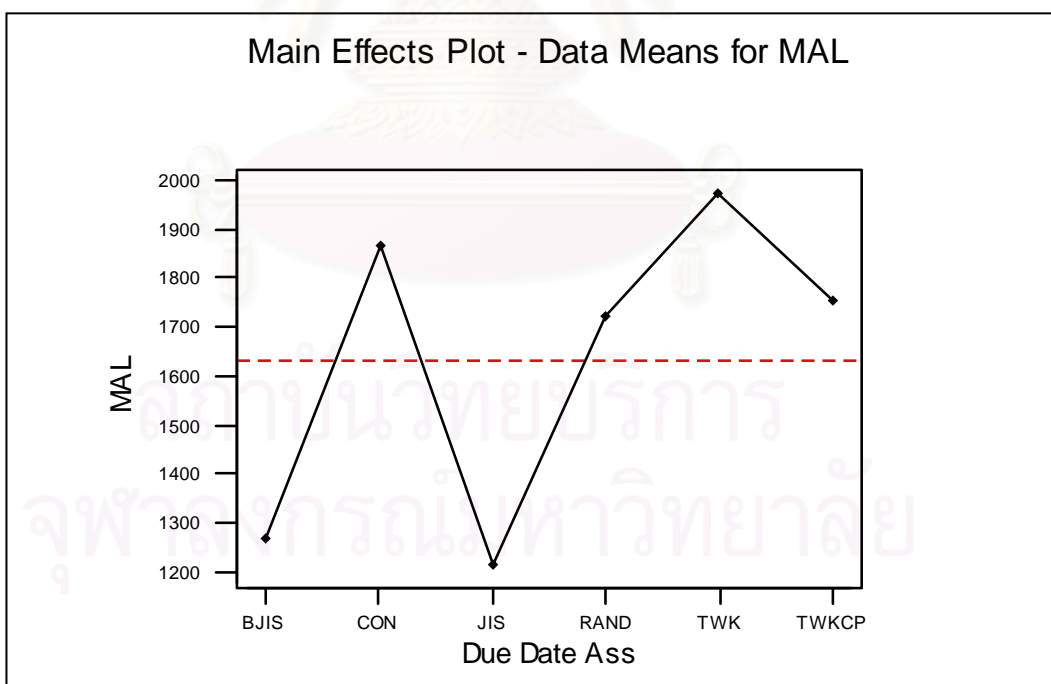
5.4.4.3 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date Assignment Rules Analysis)



รูปที่ 5-139 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



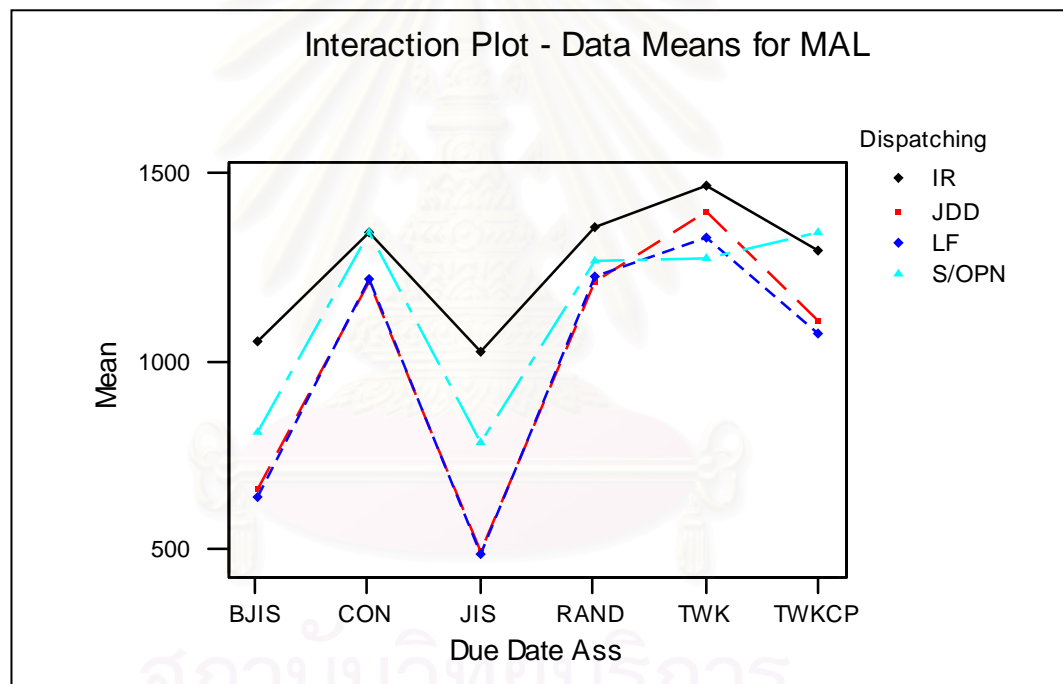
รูปที่ 5-140 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



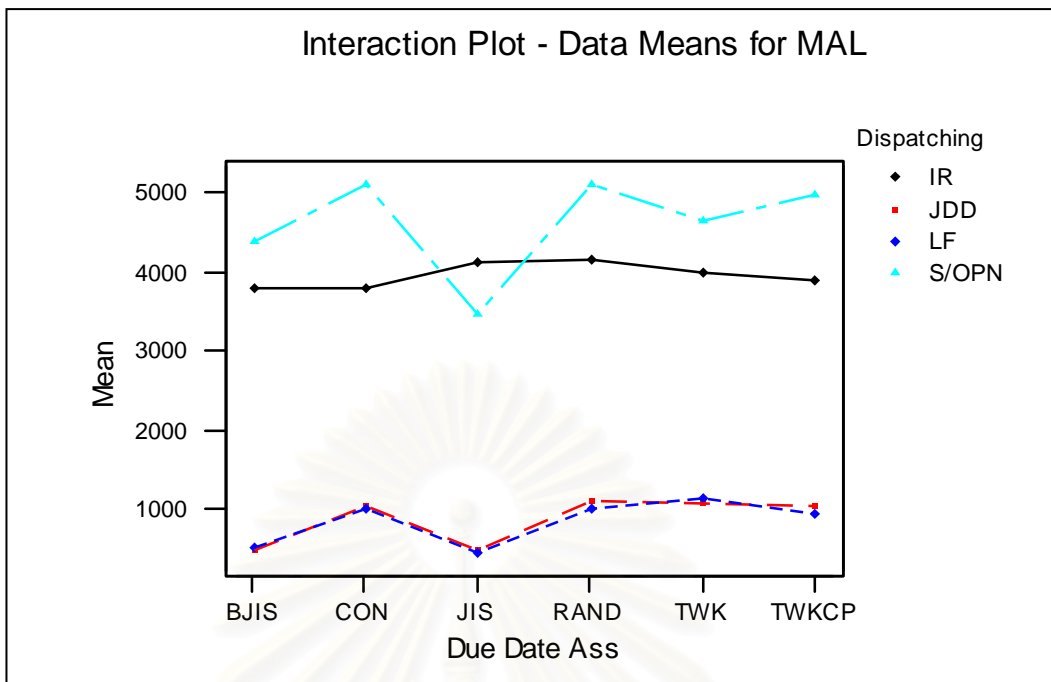
รูปที่ 5-141 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

จากการพิจารณากราฟรูปที่ 5-139 – 5-141 พบว่าโดยภาพรวมให้ผลที่เป็นไปในทิศทางเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ นั่นคือ กฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JIS และ BJIS ตามลำดับ ส่วนกฎอื่นๆนั้น พบว่าให้ค่าที่ค่อนข้างสูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด โดยเป็นที่น่าสังเกตว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น พบว่ากฎ TWK จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด โดยสูงกว่ากฎ TWKCP อย่างเห็นได้ชัด แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่ากฎ TWK ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ TWKCP โดยที่กฎ RAND จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด

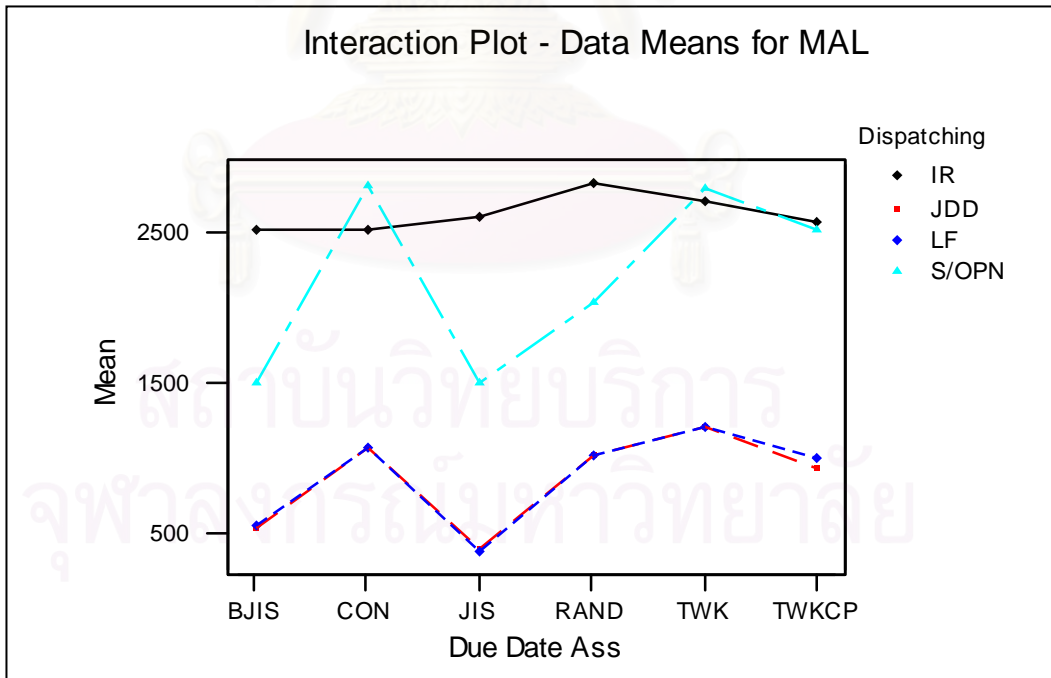
5.4.4.4 การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม (Interaction Analysis)



รูปที่ 5-142 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%



รูปที่ 5-143 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%



รูปที่ 5-144 ความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย เมื่อพิจารณาค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure) ระบบที่ไม่สมดุล (Unbalanced Shop)

เมื่อพิจารณาความสัมพันธ์ร่วมระหว่างกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ จากกราฟของความสัมพันธ์ร่วมระหว่างสองปัจจัย ดังรูปที่ 5-142 – 5-144 จะพบว่ากฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสถานะของระบบ ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ใกล้เคียงกันมาก ไม่ว่าจะกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎใดก็ตาม โดยพบว่าทั้งกฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS และกฎ BJIS ตามลำดับ รวมทั้งพบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% รวมทั้งในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ IR เป็นกฎที่พบว่าโดยภาพรวมแล้วให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด แต่เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% กลับพบว่ากฎ S/OPN เป็นกฎที่โดยภาพรวมแล้วให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด โดยกฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ในทุกสถานะของระบบ แต่เมื่อพิจารณาที่กฎ IR จะพบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ IR จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS แต่ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% และในระบบที่ไม่สมดุล กลับพบว่ากฎ IR ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ใกล้เคียงกัน

5.4.4.5 การวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

ตารางที่ 5-12 ผลการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test เมื่อพิจารณาด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)

| 80% Utilization | | 90% Utilization | | Unbalanced Shop | |
|-----------------|---------|-----------------|---------|-----------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ LF-JIS | 491.0 | ↑ LF-JIS | 470.1 | ↑ LF-JIS | 382.7 |
| ↓ JDD-JIS | 496.1 | JDD-JIS | 479.3 | JDD-JIS | 396.3 |
| ↑ LF-BJIS | 640.0 | JDD-BJIS | 492.2 | ↑ JDD-BJIS | 532.6 |
| ↑↓ JDD-BJIS | 658.8 | LF-BJIS | 527.4 | LF-BJIS | 545.6 |
| ↑↓ S/OPN-JIS | 783.9 | LF-TWKCP | 936.4 | ↑ JDD-TWKCP | 933.7 |
| ↓ S/OPN-BJIS | 812.5 | LF-RAND | 998.4 | LF-TWKCP | 1,001.7 |
| ↑ IR-JIS | 1,026.7 | LF-CON | 1,001.8 | LF-RAND | 1,011.2 |
| IR-BJIS | 1,055.0 | ↑ JDD-TWKCP | 1,042.3 | JDD-RAND | 1,011.9 |
| ↑ LF-TWKCP | 1,075.4 | JDD-CON | 1,054.7 | JDD-CON | 1,061.1 |
| ↓ JDD-TWKCP | 1,107.6 | JDD-TWK | 1,075.1 | ↓ LF-CON | 1,072.6 |
| ↑ JDD-CON | 1,211.3 | JDD-RAND | 1,114.4 | LF-TWK | 1,199.1 |
| JDD-RAND | 1,211.6 | ↓ LF-TWK | 1,152.1 | ↓ JDD-TWK | 1,202.7 |
| ↑↓ LF-CON | 1,216.8 | ↑↓ S/OPN-JIS | 3,478.2 | ↑ S/OPN-BJIS | 1,492.5 |
| ↓ LF-RAND | 1,224.4 | IR-BJIS | 3,782.1 | ↓ S/OPN-JIS | 1,493.2 |
| ↑ S/OPN-RAND | 1,263.1 | IR-CON | 3,794.7 | ↑↓ S/OPN-RAND | 2,033.3 |
| S/OPN-TWK | 1,271.7 | IR-TWKCP | 3,874.1 | ↑ S/OPN-TWKCP | 2,506.4 |
| IR-TWKCP | 1,290.3 | IR-TWK | 3,988.1 | IR-CON | 2,511.0 |
| ↑ LF-TWK | 1,325.9 | IR-JIS | 4,107.8 | IR-BJIS | 2,513.5 |
| S/OPN-TWKCP | 1,336.9 | IR-RAND | 4,147.3 | IR-TWKCP | 2,562.9 |
| IR-CON | 1,337.3 | S/OPN-BJIS | 4,379.2 | IR-JIS | 2,603.4 |
| ↓ S/OPN-CON | 1,343.2 | S/OPN-TWK | 4,640.1 | ↓ IR-TWK | 2,698.5 |
| ↓ IR-RAND | 1,355.0 | S/OPN-TWKCP | 4,961.1 | S/OPN-TWK | 2,780.9 |
| ↓ JDD-TWK | 1,392.7 | S/OPN-RAND | 5,083.4 | S/OPN-CON | 2,809.8 |
| ↓ IR-TWK | 1,463.5 | ↓ S/OPN-CON | 5,096.0 | ↓ IR-RAND | 2,819.7 |

จากตารางที่ 5-12 เมื่อพิจารณาในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% จะพบว่าในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% อย่างเห็นได้ชัด โดยพบว่า กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบ โดยทั้งสองกฎจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS และ BJIS ตามลำดับ แต่จะพบว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ JDD จะให้ค่าที่สูงมาก เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ TWK

เมื่อพิจารณาที่กฎ S/OPN และกฎ IR จะพบว่าทั้งกฎ S/OPN และกฎ IR ที่มีค่าที่สูงกว่ากฎ JDD และกฎ LF จากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา กลับให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกับกฎ JDD และกฎ LF ได้ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ในขณะที่พบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% รวมทั้งในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ S/OPN และกฎ IR ให้ค่าที่สูงกว่ากฎ JDD และกฎ LF อย่างมีนัยสำคัญ ไม่ว่าจะกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎใดก็ตาม ซึ่งกฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ในทุกสภาวะของระบบ แต่เมื่อพิจารณาที่กฎ IR จะพบว่า ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ IR จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS แต่ที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% และในระบบที่ไม่สมดุล กลับพบว่ากฎ IR ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ

5.5 สรุปผลการทดลอง

ในบทที่ 5 นี้เป็นการนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์ โดยเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม และการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test โดยสามารถสรุปผลการวิเคราะห์แยกตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนี้

1. ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

ตารางที่ 5-13 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| สถานะของระบบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_r$ | MAL |
|-----------------|-----------|-----------|---------|--------|
| 80% Utilization | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-TWK | LF-JIS |
| 90% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| Unbalanced Shop | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-TWK | LF-JIS |

■ ด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)

- กฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF จะให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากทั้งสองกฎนี้ ไม่ได้ใช้ข้อมูลด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน
- กฎการจ่ายงานที่ให้เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่ กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎถือว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยที่กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK TWKCP JIS และ BJIS ซึ่งพบว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ
- กฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP
- ผลของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย จะเป็นไปในทิศทางเดิมเมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนไป และจะเกิดความผันแปรไปเล็กน้อยเมื่อระบบมีความไม่สมดุล

- ด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)
 - กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS
 - การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และกฎ BJIS ซึ่งเป็นกฎที่ใช้ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานและข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบนั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสภาวะของระบบ
 - การกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK ซึ่งใช้เพียงข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำ แต่พบว่ากฎ TWKCP ซึ่งเป็นกฎที่ใช้เพียงข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบเช่นเดียวกับกฎ TWK กลับให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก เช่นเดียวกับการกำหนดเวลาส่งมอบโดยกฎ CON และกฎ RAND
 - กฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON RAND และ TWKCP
 - ผลของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย จะเป็นไปได้ในทิศทางเดิมเมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนไป และจะค่อนข้างเกิดความผันแปรไปเล็กน้อยเมื่อระบบมีความไม่สมดุล
- ด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)
 - ในระบบที่สมดุลนั้น การจัดลำดับงานตามกฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด และทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ แต่หากพิจารณาในระบบที่ไม่สมดุลจะพบว่ากฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JDD อย่างมีนัยสำคัญ ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ
 - โดยภาพรวมแล้ว กฎ JDD และกฎ LF จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS TWK และ BJIS ในทุกสภาวะของระบบ
 - กฎ S/OPN และกฎ IR พบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูง โดยกฎ S/OPN ถือเป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP
 - ผลของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า โดยรวมแล้วจะเป็นไปได้ในทิศทางเดิมเมื่อภาระงานในระบบเปลี่ยนไป และจะค่อนข้างเกิดความผันแปรไปเมื่อระบบมีความไม่สมดุล

- ด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)
 - กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยมีค่าต่ำที่สุด ได้แก่กฎ LF โดยกำหนดเวลาส่งมอบให้เป็นไปตามกฎ JIS ซึ่งให้ผลเช่นเดียวกันในทุกสภาวะของระบบ
 - ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎการจ่ายงานที่ต่างกันส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยน้อยมาก นั่นคือ ปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบจะมีผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยมากกว่า โดยกฎ JIS และ BJIS จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด และกฎ TWK และ TWKCP จะให้ค่าที่สูงที่สุด แต่เมื่อให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น รวมทั้งให้ระบบมีความไม่สมดุล จะพบว่ากฎ LF และ JDD นั้นให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ IR และ S/OPN อย่างเห็นได้ชัด
 - กฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยสูงที่สุด ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบที่ 90% และในระบบที่ไม่สมดุล ได้แก่กฎ S/OPN เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบให้เป็นไปตามกฎ TWKCP
 - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ TWK และ TWKCP ซึ่งเป็นที่น่าสังเกตว่า ในการวิเคราะห์ด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า นั้น พบว่ากฎ TWK ถือว่าเป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพทั้งสองด้านนี้ต่ำ แต่กลับให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก นั่นหมายความว่า กฎ TWK ถือว่ากำหนดเวลาส่งมอบได้ไม่แม่นยำนัก และน่าที่จะเป็นกฎที่ให้เวลาล่าช้าของงาน (Tardiness) ที่ต่ำ แต่ให้เวลาเสร็จสิ้นก่อนกำหนดของงาน (Earliness) ที่สูง

2. ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

ตารางที่ 5-14 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| สถานะของระบบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_t$ | MAL |
|-----------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| 80% Utilization | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| 90% Utilization | JDD-JIS | JDD-JIS | S/OPN-JIS | JDD-JIS |
| Unbalanced Shop | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |

- ด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)
 - เมื่อชิ้นงานมีโครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายๆระดับ จะทำให้เกิดเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อให้ระบบมีความแออัดสูง หรือที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% อีกทั้งยังทำให้ผลของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงานมีความไม่แน่นอน และมีความแปรปรวนสูง เมื่อสถานะของระบบเปลี่ยนไป
 - กฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF จะให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากทั้งสองกฎนี้ ไม่ได้ใช้ข้อมูลด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน
 - กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยต่ำที่สุดได้แก่ กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ผลที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น กฎ JDD จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP และกฎ LF จะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ RAND
 - ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ให้ผลโดยรวมที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล มากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%
 - เมื่อให้ภาระงานในระบบสูงขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ S/OPN ที่มีค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดนั้น กลับให้ค่าที่ต่ำเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP รวมทั้งกฎ IR เช่นกัน ที่พบว่าให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยโดยรวมที่ต่ำกว่ากฎ LF

- ด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)
 - กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าเวลาล่าช้าโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยจะให้ค่าต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS
 - ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ให้ผลโดยรวมที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล มากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%
 - กฎ IR ให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำในระบบที่สมดุล โดยเฉพาะเมื่อภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นถึงที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ IR นั้นให้ค่าที่ต่ำมากในหลายๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ รวมทั้งพบว่า กฎ S/OPN ที่มักให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยสูงที่สุดนั้น กลับให้ค่าที่ต่ำมากเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ในระดับการใช้งานของระบบ 90%
 - กฎ S/OPN เป็นกฎที่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด ซึ่งโดยรวมแล้วกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ RAND และ CON
 - เมื่อชิ้นงานมีโครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายๆระดับ เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือให้ระบบมีความแออัดเพิ่มขึ้นแล้ว จะทำให้ประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น ค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม
- ด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)
 - กฎการจ่ายงานที่ให้เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าต่ำที่สุด ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF โดยทั้งสองกฎนี้จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ซึ่งพบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ประสิทธิภาพทางด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าของกฎ LF และกฎ JDD ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ มีทิศทางที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล
 - ผลของกฎ IR และกฎ S/OPN ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ทั้งกฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP แต่หากเป็นในระบบที่ไม่สมดุลแล้ว จะพบว่าให้ผลในทิศทางตรงกันข้าม นั่นคือ กฎ IR และกฎ S/OPN จะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และ TWKCP และให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS
 - ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่าประสิทธิภาพของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ทางด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า

นั้น ค่อนข้างผันแปรไปจากเดิม นั่นคือ กฎ S/OPN กลับเป็นกฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS อีกทั้งยังพบว่ากฎ IR ที่มักให้ค่าที่สูงนั้น กลับให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ค่อนข้างต่ำ ส่วนกฎ JDD และกฎ LF ที่มักเป็นกฎที่ดีที่สุดในการวิเคราะห์ที่ผ่านมา กลับพบว่าให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงมาก

■ ด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)

- กฎการจ่ายงานที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยต่ำที่สุด ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% ได้แก่กฎ JDD และกฎ LF โดยทั้งสองกฎนี้จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ซึ่งพบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยของกฎ LF และกฎ JDD ในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ มีทิศทางที่ใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล
- ผลของกฎ IR และกฎ S/OPN ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% และในระบบที่ไม่สมดุลนั้น ค่อนข้างแตกต่างกัน โดยจะสังเกตได้ว่าเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS แล้ว ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% กฎ IR จะให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ S/OPN อย่างมีนัยสำคัญ ในขณะที่พบว่า เมื่อระบบไม่สมดุล กฎ IR จะให้ค่าที่สูงกว่ากฎ S/OPN
- ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และเป็นที่น่าสังเกตว่ากฎ IR และกฎ S/OPN ที่มักพบว่าให้ประสิทธิภาพที่ด้อยกว่ากฎ LF เมื่อดูจากการวิเคราะห์ที่ผ่านมา กลับพบว่าโดยรวมแล้วกฎ IR ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ LF และพบว่ากฎ S/OPN ให้ค่าที่ต่ำมาก เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP แต่โดยภาพรวมแล้วพบว่ากฎ S/OPN นั้น ยังเป็นกฎที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงมาก โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และ JIS ตามลำดับ

3. ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

ตารางที่ 5-15 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

| สถานะของระบบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_t$ | MAL |
|-----------------|-----------|-----------|---------|--------|
| 80% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| 90% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| Unbalanced Shop | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |

- ด้านเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Flow Time)
 - กฎการจ่ายงานแบบ IR และ LF จะให้ค่าที่เท่ากันในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ เนื่องจากทั้งสองกฎนี้ ไม่ได้ใช้ข้อมูลด้านเวลาส่งมอบในการจัดลำดับงาน
 - เมื่อชิ้นงานมีโครงสร้างที่ซับซ้อน หรือเป็นชิ้นงานที่เกิดจากการประกอบกันของส่วนประกอบย่อยๆหลายส่วน จะพบว่าค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย มักจะเป็นผลมาจากการใช้กฎการจ่ายงาน มากกว่าเป็นผลมาจากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยเฉพาะเมื่อให้ระบบมีความแออัดสูง
 - กฎที่ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสถานะของระบบ ได้แก่ กฎ JDD และกฎ LF ซึ่งทั้งสองกฎให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ โดยพบว่าในระบบที่สมดุลนั้น กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK ส่วนในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP
 - กฎ S/OPN ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุด
- ด้านเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย (Mean Tardiness)
 - พบว่า เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลกระทบจากผลร่วมระหว่างสองปัจจัยลดลง จนถึงถือว่าไม่ส่งผลต่อค่าเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ
 - โดยภาพรวมแล้ว กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ในทุกสถานะของระบบ โดยทั้งสองกฎนี้จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS

- กฎ S/OPN จะให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยที่สูงที่สุดในทุกสภาวะของระบบ โดยให้ค่าที่สูงกว่ากฎ IR ยกเว้นเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS เท่านั้น ที่จะพบว่ากฎ S/OPN นั้นจะให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ IR
- ด้านเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs)
 - พบว่า เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% หรือให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น กลับทำให้ผลกระทบจากผลร่วมระหว่างสองปัจจัยลดลง จนถือว่าไม่ส่งผลต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าอย่างมีนัยสำคัญ
 - ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด ซึ่งพบว่าทั้งสองกฎนี้ให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในแต่ละกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยทั้งสองกฎจะให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS รวมทั้งพบว่า กฎที่ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงที่สุด ได้แก่กฎ S/OPN โดยจะให้ค่าที่สูงที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP
 - ในระบบที่สมดุลที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% นั้น จะพบว่าให้ผลโดยรวมที่ใกล้เคียงกับที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% แต่จะสังเกตเห็นได้ว่าในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่ต่าง ๆ กัน จะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80%
 - ในระบบที่ไม่สมดุล พบว่ากฎ JDD ให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่ากฎ LF ในทุกๆกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยพบว่าจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS รวมทั้งพบว่าในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญมากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 80% เช่นกัน
- ด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness)
 - พบว่า เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะทำให้ผลกระทบจากปัจจัยทางด้านกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ และผลร่วมระหว่างสองปัจจัย ส่งผลลดน้อยลง จนถือว่าไม่ส่งผลต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยอย่างมีนัยสำคัญ
 - ในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% พบว่า ในแต่ละกฎการจ่ายงานนั้น เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎที่แตกต่างกัน จะส่งผลให้เกิดค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ มากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% อย่างเห็นได้ชัด

- กฎ JDD และกฎ LF ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดในทุกสถานะของระบบ โดยพบว่าทั้งสองกฎจะให้ค่าที่ต่ำที่สุดเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS และ BJIS ตามลำดับ
- สังเกตได้ว่าในระบบที่สมดุลด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% ทั้งกฎ S/OPN และกฎ IR ที่มักให้ค่าที่สูงกว่ากฎ JDD และกฎ LF จากการวิเคราะห์ที่ผ่านๆ มา กลับให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำใกล้เคียงกับกฎ JDD และกฎ LF เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และ BJIS ในขณะที่พบว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% รวมทั้งในระบบที่ไม่สมดุลนั้น กฎ S/OPN และกฎ IR ให้ค่าที่สูงกว่ากฎ JDD และกฎ LF อย่างมีนัยสำคัญ ไม่ว่าจะกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎใดก็ตาม



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 6

การปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบ

6.1 บทนำ

หลังจากทำการวิเคราะห์และสรุปผลการทดลอง จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบ ที่เป็นผลมาจากกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบรูปแบบต่างๆแล้ว ในบทนี้จะเป็นการทำการทดลองเพิ่มเติมโดยการพัฒนาและเพิ่มเทคนิคบางอย่างให้กับกฎการจ่ายงาน และกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในบทที่ 5 นั่นคือกฎ JDD และกฎ JIS จากนั้นจะทำการเปรียบเทียบผลการทดลองที่ได้กับค่าประสิทธิภาพในบทที่ 5 เพื่อสรุปผลการทดลองในขั้นต่อไป

6.2 การพัฒนากฎการกำหนดเวลาส่งมอบ

6.2.1 แนวคิดและหลักการ

จากผลการทดลองในบทที่ 5 ที่พบว่าการทำงานตามกฎ JDD นั้น ให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบดีที่สุด เมื่อใช้ควบคู่กับการกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ซึ่งกฎ JIS เป็นการกำหนดเวลาส่งมอบโดยการใช้ทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน (Job Characteristics) ได้แก่ ภาระงานที่งานนั้นจะต้องทำ หรือผลรวมของเวลาการดำเนินงานทั้งหมดของงาน ควบคู่กับข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบ อันได้แก่ จำนวนของงานทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบ เมื่อเวลาที่งานนั้นมาถึง โดยจะสังเกตได้ว่ากฎ BJIS ที่มีการใช้ข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบ อันได้แก่ จำนวนงานทั้งหมดที่มีอยู่ในระบบเมื่อเวลาที่งานนั้นมาถึง เช่นเดียวกับกฎ JIS แต่กลับให้ประสิทธิภาพของระบบที่ด้อยกว่า ถึงแม้ในภาพรวมแล้ว กฎ BJIS มักจะให้ค่าที่ไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม ทั้งที่กฎ BJIS เป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบใหม่ที่นำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้ โดยอ้างอิงหลักการบางประการมาจากข้อสรุปของ Russell and Taylor (1985) และ Fry et al. (1989) ที่ว่างานที่โครงสร้างมีระดับของการประกอบหลายๆระดับนั้น มีแนวโน้มที่จะใช้เวลาอยู่ในระบบนานกว่า และน่าที่จะเสร็จงานล่าช้ามากกว่างานที่มีโครงสร้างแบบแบน รวมทั้งยังมีการคำนึงถึงว่า งานที่ผลิตมาจากการประกอบกันของส่วนประกอบหลายๆส่วน น่าที่จะมีเวลาการรอคอยในแถวคอยสูงกว่า และมีแนวโน้มที่จะเสร็จงานล่าช้ามากกว่างานที่มีส่วนประกอบน้อยกว่า แต่หากพิจารณาข้อสรุปที่ได้จากงานวิจัยครั้งนี้ ที่พบว่าปัจจัยทางด้านจำนวนส่วนประกอบทั้งหมดในรายการวัสดุ

ของงานนั้น ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานน้อยมากเมื่อเทียบกับผลจากปัจจัยทางด้านจำนวนระดับของการประกอบ โดยพบว่าในระบบที่ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างแบบสูงนั้น ให้ค่าเวลาการไหลของงานที่สูงกว่ามากเมื่อเทียบกับระบบที่ผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างซับซ้อน ที่มีจำนวนส่วนประกอบมากกว่า แต่โครงสร้างมีระดับของการประกอบเพียงแค่ 2-3 ระดับ ส่งผลให้งานที่มีโครงสร้างแบบสูงนั้น เกิดเวลาล่าช้าและเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่าเช่นกัน ซึ่งจะเห็นได้ว่าข้อมูลทางด้านสถานภาพของระบบในปัจจุบันทั้งของกฎ JIS และกฎ BJIS นั้น เป็นข้อมูลเดียวกัน ทั้งสองกฎจึงต่างกันตรงที่ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานเท่านั้น จึงเกิดแนวความคิดที่ว่ากฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบ BJIS นั้น หากตัดข้อมูลทางด้านจำนวนส่วนประกอบทั้งหมดในรายการวัสดุของงานออก และพิจารณาพร้อมกับแนวความคิดที่ว่ากฎ JIS ที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดนั้น หากนำข้อมูลทางด้านจำนวนระดับของการประกอบในรายการวัสดุของงานไปใช้ในการกำหนดเวลาส่งมอบด้วยแล้ว น่าจะให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น จึงได้มีการทำการทดลองเพิ่มเติมตามแนวคิดของการรวมข้อดีและตัดข้อด้อยออกจากทั้งกฎ JIS และกฎ BJIS โดยจะทำให้กำหนดเวลาส่งมอบของงานนั้นถูกกำหนดมาจากข้อมูลสามด้าน อันได้แก่ ภาระงานที่งานนั้นต้องทำ จำนวนของงานทั้งหมดที่มีในระบบเมื่อเวลาที่งานนั้นมาถึง และจำนวนระดับของการประกอบในรายการวัสดุของงาน โดยให้ชื่อของกฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่นี้ว่ากฎ Job in System and Number of Levels (JISNL) ดังสมการที่ 6-1

$$d_j = r_j + K_1 P_j + K_2 (JIS_j) + K_3 (NL_j) \quad (6-1)$$

| | | |
|--------|---------|--|
| โดยที่ | d_j | หมายถึง เวลาส่งมอบของงาน j |
| | r_j | หมายถึง เวลาที่งาน j เข้ามาในระบบ |
| | P_j | หมายถึง ผลรวมของเวลาการดำเนินงานทั้งหมดของงาน j |
| | JIS_j | หมายถึง จำนวนของงานทั้งหมดในระบบเมื่องาน j มาถึง |
| | NL_j | หมายถึง จำนวนระดับในรายการวัสดุของงาน j |

การกำหนดค่าคงที่ (K) นั้น ได้มาจากวิธีการเดียวกันกับการกำหนดค่าคงที่ของกฎการกำหนดเวลาส่งมอบอื่นๆในการทดลองที่ผ่านมา นั่นคือ กำหนดค่าดังกล่าวที่ทำให้เกิดเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าเท่ากับ 5% โดยใช้แบบจำลองพื้นฐานในการทำการทดลอง นั่นคือ ให้การจัดลำดับงานเป็นไปตามกฎ First Come First Served (FCFS) โดยได้ผลดังตารางที่ 6-1

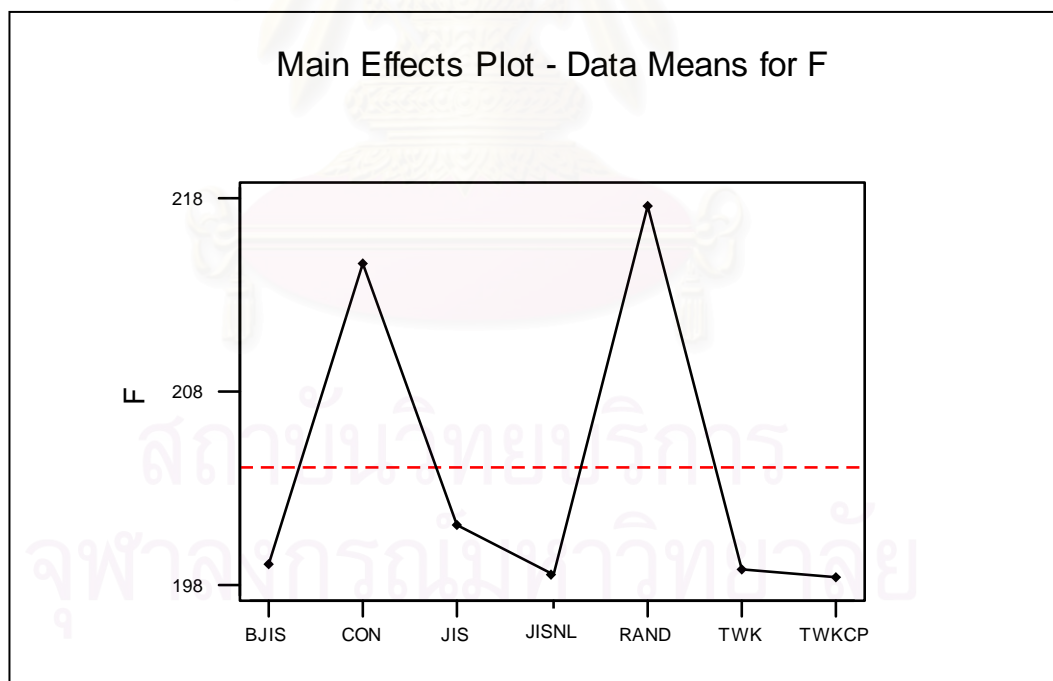
ตารางที่ 6-1 ค่าคงที่ (K) ที่ใช้ในการทดลองสำหรับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ JISNL

| ค่าคงที่ | โครงสร้างผลิตภัณฑ์ | | |
|----------|--------------------|--------|------------|
| | แบบแบน | แบบสูง | แบบซับซ้อน |
| K_1 | 1.1 | 1.2 | 0.6 |
| K_2 | 12 | 23 | 45 |
| K_3 | 142 | 93 | 178 |

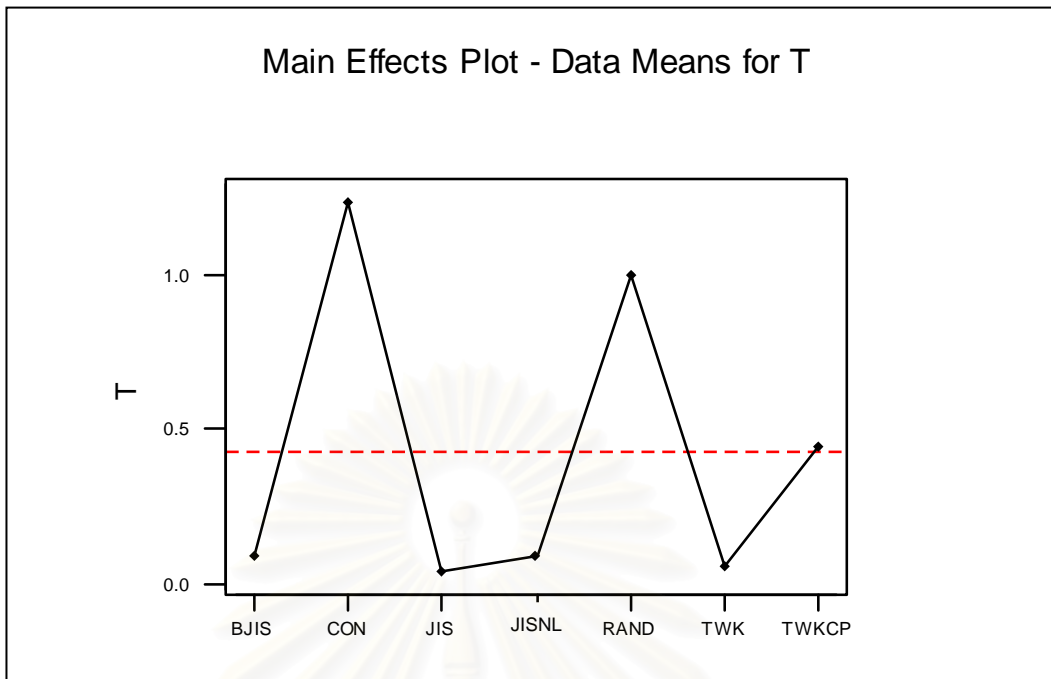
6.2.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบทางสถิติกับผลการทดลองในบทที่ 5 โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก และการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test ดังนี้

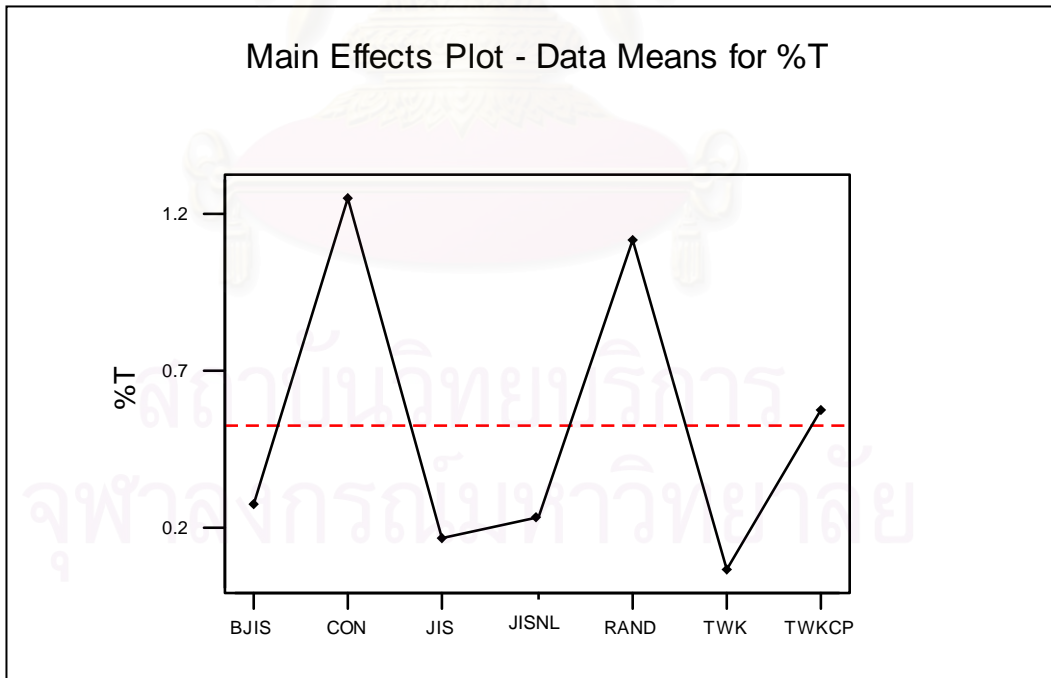
6.2.2.1 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)



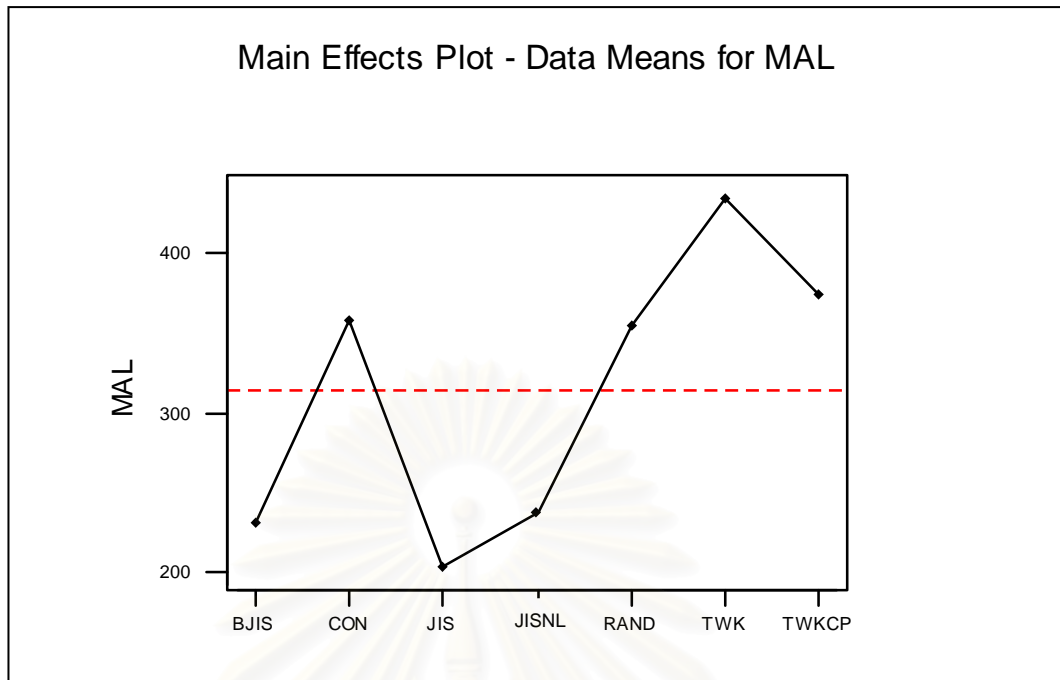
รูปที่ 6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-4 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD

จากการพิจารณารูปที่ 6-1 – 6-4 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบนนั้น เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD แล้ว กฎ JISNL สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำกว่ากฎ JIS โดยให้ค่าที่ต่ำได้ใกล้เคียงกับกฎ BJIS TWK และ TWKCP และให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ CON และกฎ RAND ค่อนข้างมาก รวมทั้งเมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่า กฎ JISNL นั้นสามารถให้ค่าที่ต่ำใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกฎ JIS BJIS และ TWK และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL นั้นสามารถให้ค่าที่ต่ำได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกฎ JIS และ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ TWK และ TWKCP ค่อนข้างมาก

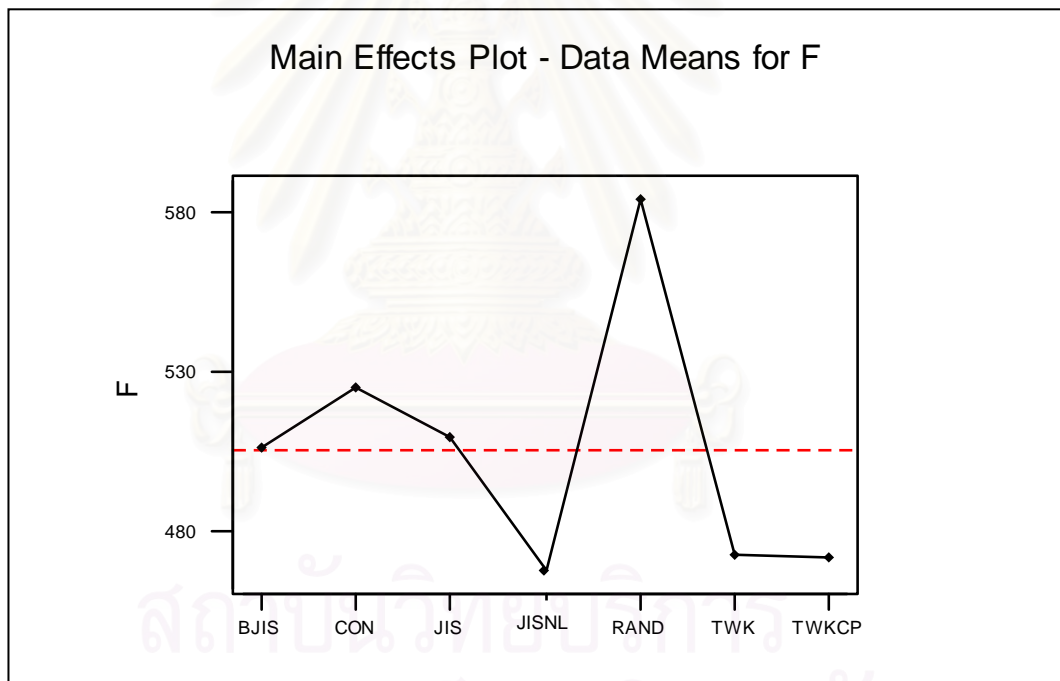
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-2 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure) โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

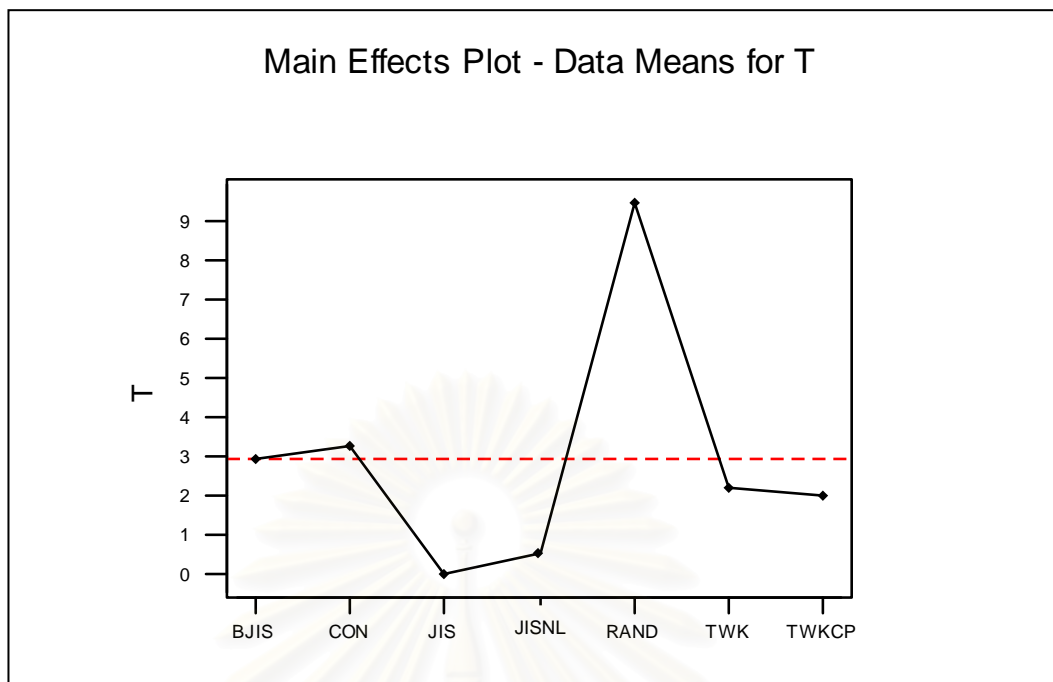
| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|------------------------|---------------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ TWKCP | 198.52 | ↑ JIS | 0.05 | ↑ TWK | 0.07 | JIS | 205.12 |
| JISNL | 198.63 | TWK | 0.07 | ↑ ↓ JIS | 0.17 | ↑ BJIS | 231.39 |
| TWK | 198.80 | ↓ BJIS | 0.10 | ↓ JISNL | 0.24 | ↓ JISNL | 238.17 |
| ↓ BJIS | 199.13 | ↓ JISNL | 0.10 | ↓ BJIS | 0.28 | ↑ RAND | 354.18 |
| ↓ JIS | 201.17 | ↑ ↓ TWKCP | 0.45 | ↓ TWKCP | 0.57 | ↓ CON | 357.75 |
| ↑ CON | 214.63 | ↓ ↑ RAND | 1.00 | ↑ RAND | 1.12 | TWKCP | 373.15 |
| ↓ RAND | 217.56 | ↓ CON | 1.23 | ↓ CON | 1.25 | TWK | 433.25 |

จากการพิจารณาตารางที่ 6-2 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบนนั้น เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD แล้ว กฎ JISNL สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างต่ำกว่ากฎ JIS แม้จะถือว่าไม่ต่างกันอย่างไร้สำคัญก็ตาม โดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ BJIS TWK และ TWKCP และให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ CON และกฎ RAND อย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า พบว่า กฎ JISNL นั้นสามารถให้ค่าที่ต่ำได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกฎ JIS BJIS และ TWK โดยถือว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างไร้สำคัญ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL นั้นให้ค่าที่ยังสูงกว่ากฎ JIS อย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างไร้สำคัญกับค่าที่ได้จากกฎ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ TWK และ TWKCP ค่อนข้างมาก

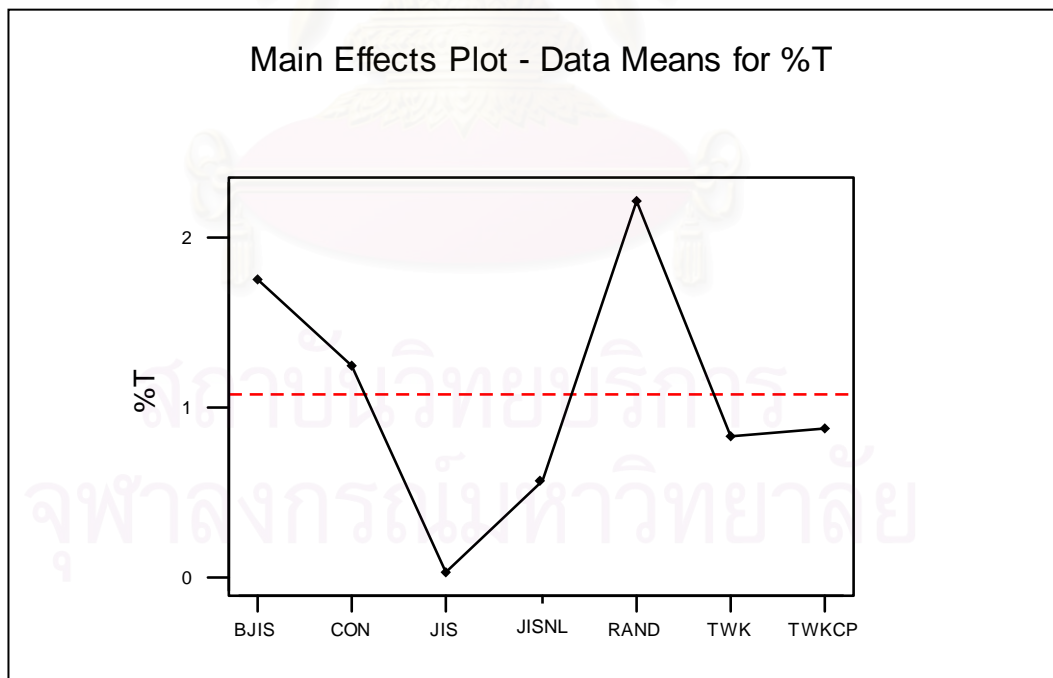
6.2.2.2 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)



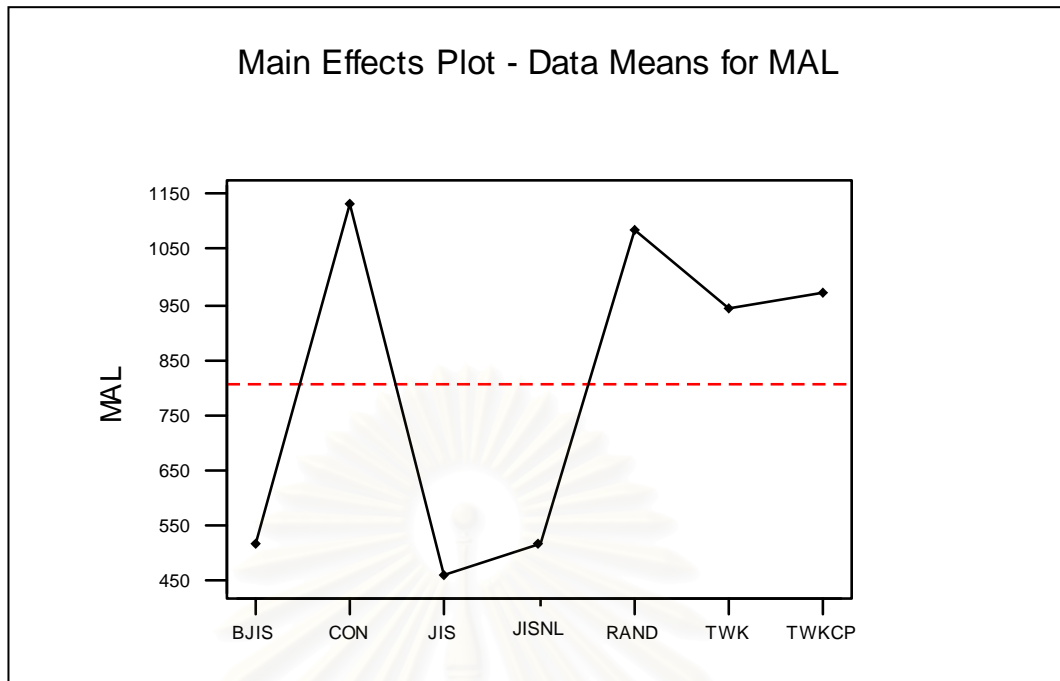
รูปที่ 6-5 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-6 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงาน โดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-7 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-8 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD

จากการพิจารณารูปที่ 6-5 – 6-8 พบว่า เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูงแล้ว กฎ JISNL สามารถให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ TWK และ TWKCP รวมทั้งให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำกว่ากฎ JIS อย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยและค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่ากฎ JISNL นั้น ให้ค่าที่ยังสูงกว่าค่าที่ได้จากกฎ JIS แต่สามารถให้ค่าที่ค่อนข้างต่ำกว่ากฎอื่นๆ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL นั้นสามารถให้ค่าที่ต่ำได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกฎ JIS และ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด

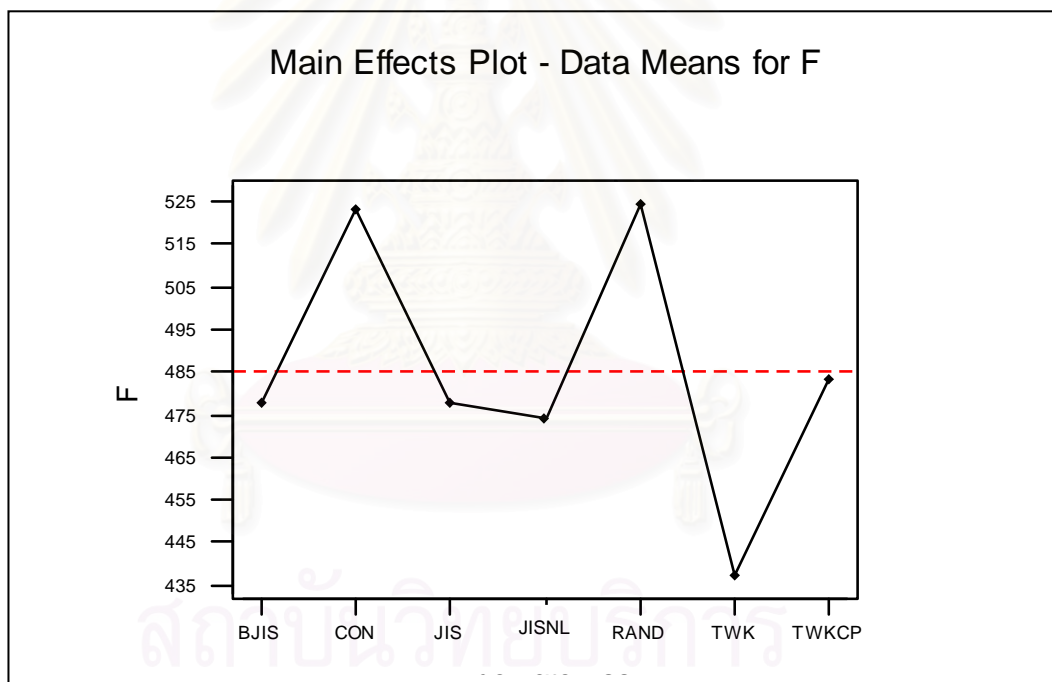
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-3 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD
ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure) โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

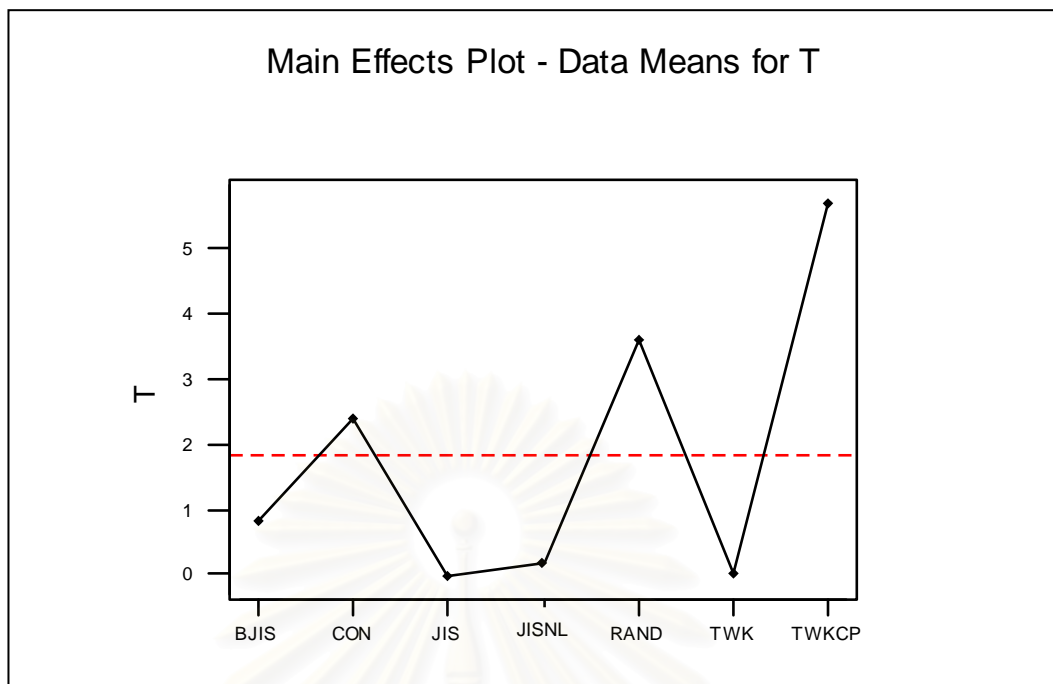
| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|--------|----------------|-------------|-----------------|-------------|------------------------|---------------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ JISNL | 467.85 | ↑ JIS | 0.02 | ↑ JIS | 0.05 | JIS | 463.78 |
| TWKCP | 471.95 | JISNL | 0.54 | ↑ JISNL | 0.57 | ↑ JISNL | 516.95 |
| TWK | 472.04 | TWKCP | 1.96 | ↓ TWK | 0.83 | ↓ BJIS | 518.21 |
| BJIS | 505.94 | TWK | 2.18 | TWKCP | 0.88 | ↑ TWK | 943.86 |
| JIS | 509.60 | BJIS | 2.94 | ↓ CON | 1.25 | ↓ TWKCP | 973.25 |
| ↑ CON | 525.23 | ↓ CON | 3.25 | ↓ BJIS | 1.76 | RAND | 1084.68 |
| ↓ RAND | 584.10 | RAND | 9.42 | ↓ RAND | 2.22 | CON | 1131.19 |

จากการพิจารณาตารางที่ 6-3 จะพบว่า เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูงแล้ว กฎ JISNL สามารถให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาลำช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่ากฎ JISNL นั้น ให้ค่าที่ยังสูงกว่าค่าที่ได้จากกฎ JIS แต่ถือว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL นั้นให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากกฎ JIS อย่างมีนัยสำคัญ โดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งจะเห็นได้ว่ากฎ JISNL นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพที่สูงกว่ากฎ JIS และให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎอื่นๆ ยกเว้นประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยเท่านั้นที่กฎใหม่ให้ค่าที่ต่ำที่สุด

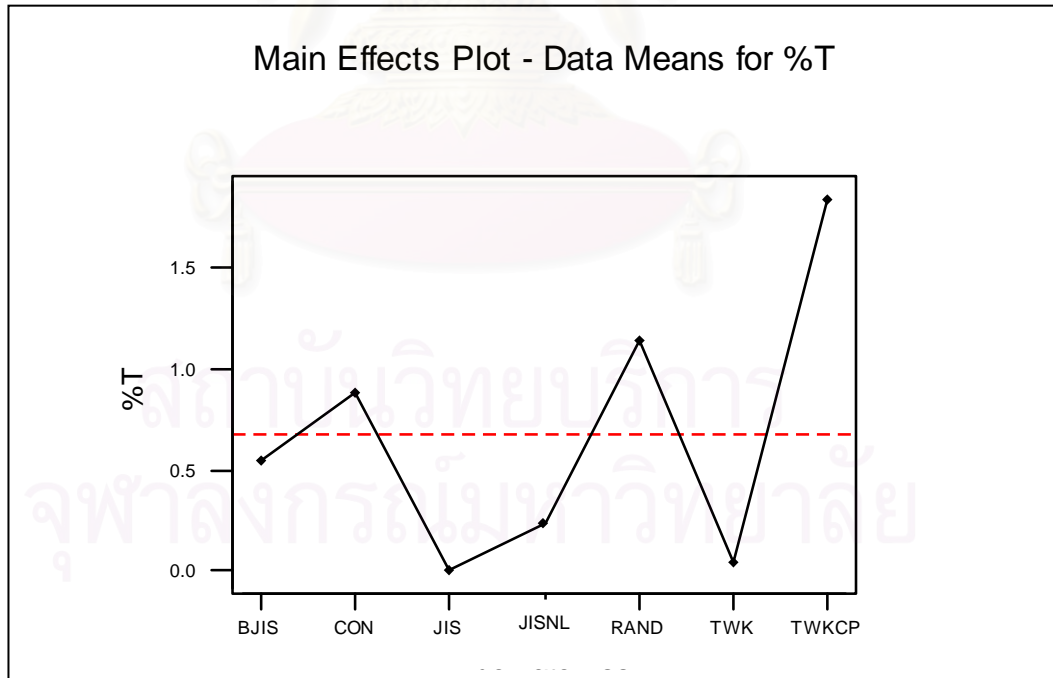
6.2.2.3 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)



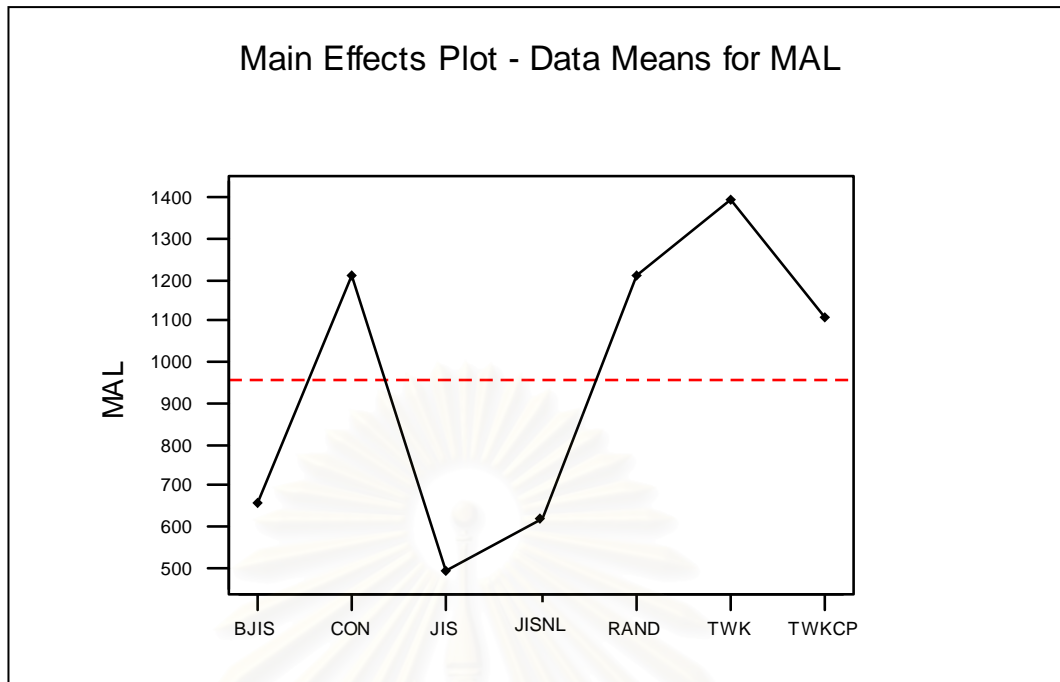
รูปที่ 6-9 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-10 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD



รูปที่ 6-12 ความสัมพันธ์ระหว่างกฎการกำหนดเวลาส่งมอบกับค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD

จากการพิจารณารูปที่ 6-9 – 6-12 พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อนนั้น เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD แล้ว กฎ JISNL ให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ยังสูงกว่ากฎ TWK อย่างเห็นได้ชัด โดยให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ JIS และ BJIS เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านเวลาต่อชั่วโมงของงานโดยเฉลี่ยและเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่า กฎ JISNL นั้น ให้ค่าที่ใกล้เคียงกับกฎ JIS และ TWK รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ TWKCP อย่างเห็นได้ชัด และเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL นั้นสามารถให้ค่าที่ต่ำได้ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากกฎ JIS และ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎอื่นๆอย่างเห็นได้ชัด โดยเฉพาะกฎ TWK

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 6-4 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากกฎการกำหนดเวลาส่งมอบแบบต่างๆ เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD
ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure) โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|------|------------------------|---------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ TWK | 437.63 | ↑ JIS | 0.01 | ↑ JIS | 0.01 | JIS | 496.09 |
| ↑ JISNL | 474.21 | TWK | 0.04 | TWK | 0.05 | JISNL | 620.96 |
| JIS | 477.59 | JISNL | 0.21 | JISNL | 0.23 | BJIS | 658.82 |
| BJIS | 477.68 | BJIS | 0.82 | BJIS | 0.55 | TWKCP | 1107.61 |
| ↓ TWKCP | 483.50 | ↑ CON | 2.37 | ↑ CON | 0.89 | ↑ CON | 1211.30 |
| CON | 523.34 | ↓ RAND | 3.60 | ↓ RAND | 1.14 | ↓ RAND | 1211.63 |
| ↓ RAND | 524.33 | ↓ TWKCP | 5.67 | ↓ TWKCP | 1.84 | TWK | 1392.71 |

จากการพิจารณารายที่ 6-4 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบ
ซับซ้อนนั้น เมื่อจัดลำดับงานด้วยกฎ JDD แล้ว กฎ JISNL สามารถให้ค่าประสิทธิภาพทางด้าน
เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ใกล้เคียงกับกฎ TWK JIS BJIS และ TWKCP โดยถือว่าให้ค่าที่
ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยและค่า
เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า พบว่า กฎ JISNL นั้น ให้ค่าที่ยังสูงกว่ากฎ JIS และ TWK แต่ถือว่าให้ค่าที่
ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญเช่นกัน รวมทั้งพบว่าให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ TWKCP อย่างมีนัยสำคัญ และ
เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย จะพบว่า กฎ JISNL
นั้นให้ค่าที่สูงกว่าค่าที่ได้จากกฎ JIS แต่ให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ BJIS รวมทั้งให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎอื่นๆอย่าง
มีนัยสำคัญ โดยเฉพาะกฎ TWK



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3 การพัฒนากฎ JDD โดยเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

6.3.1 แนวคิดและหลักการ

สำหรับการพัฒนากฎการจ่ายงานนั้น ได้มีการคำนึงถึงปัจจัยที่ควรนำมาพิจารณาในการตัดสินใจเกี่ยวกับการจัดลำดับงานในระบบผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งได้ถูกเสนอไว้ในงานวิจัยของ Philipoom, Russell, and Fry (1991) นั่นคือ ควรมีการพิจารณาข้อมูลทางด้าน ความคับคั่งของระบบ (Shop Congestion), โครงสร้างของผลิตภัณฑ์ (Product Structure), ความก้าวหน้าของงาน (Job Progress), เวลารอคอยการประกอบ (Staging Delay), และกำหนดเวลาส่งมอบ (Due Date) ดังนั้น จะเห็นได้ว่ากฎ JDD ซึ่งเป็นกฎการจ่ายงานที่พบว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมของระบบที่ดีที่สุดนั้น มีการใช้ข้อมูลเพียงแต่ทางด้านกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งหากมีการใช้ข้อมูลทางด้านอื่นๆ ร่วมด้วยแล้ว คาดว่าน่าจะส่งผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น นั่นคือหากให้มีการเพิ่มหลักการในการลดลำดับความสำคัญให้งานเข้าสู่เครื่องจักรก่อน ในกรณีที่มีส่วนประกอบที่ต้องประกอบเข้าด้วยกันมารองานนั้นอยู่ที่สถานีการประกอบ น่าจะส่งผลให้เวลารอคอยการประกอบ (Staging Delay) ของงานนั้นมีค่าน้อยลง ซึ่งเวลาส่วนนี้ถือเป็นส่วนหนึ่งของเวลาการไหลของงาน จึงน่าที่จะส่งผลให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย รวมทั้งค่าประสิทธิภาพทางด้านอื่นๆ ต่ำลง เช่นกัน

6.3.2 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดลองตามแนวคิดและหลักการที่ได้กล่าวมาเป็นที่เรียบร้อยแล้ว จึงนำผลการทดลองที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลการทดลองของกฎ JDD ในบทที่ 5 โดยกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS เหมือนกัน ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ในครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของระบบ รวมถึงทำการวิเคราะห์ปัจจัยหลัก และทำการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test โดยได้ผล ดังนี้

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.2.1 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

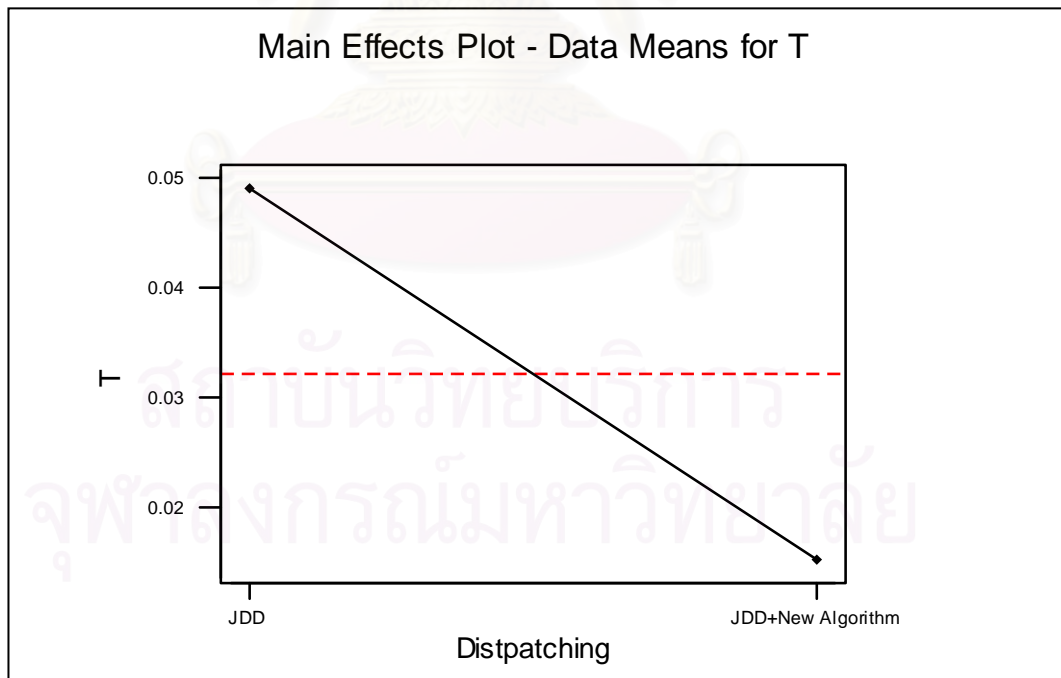
| One-way ANOVA: F versus Distpatching Rules | | | | | |
|---|----|---------|---------|-------|-------|
| Analysis of Variance for F | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Distpatc | 1 | 218.6 | 218.6 | 8.74 | 0.005 |
| Error | 38 | 950.0 | 25.0 | | |
| Total | 39 | 1168.5 | | | |
| One-way ANOVA: T versus Distpatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Distpatc | 1 | 0.01122 | 0.01122 | 7.27 | 0.010 |
| Error | 38 | 0.05867 | 0.00154 | | |
| Total | 39 | 0.06990 | | | |
| One-way ANOVA: %T versus Distpatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for %T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Distpatc | 1 | 0.1452 | 0.1452 | 10.90 | 0.002 |
| Error | 38 | 0.5063 | 0.0133 | | |
| Total | 39 | 0.6515 | | | |
| One-way ANOVA: MAL versus Distpatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Distpatc | 1 | 8.74 | 8.74 | 4.25 | 0.046 |
| Error | 38 | 78.20 | 2.06 | | |
| Total | 39 | 86.94 | | | |

รูปที่ 6-13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ทำให้พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบนนั้น เทคนิคในการลำดับความสำคัญมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทั้ง 4 ด้าน ได้แก่ เวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย



รูปที่ 6-14 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)



รูปที่ 6-15 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)



รูปที่ 6-16 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)



รูปที่ 6-17 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

จากการพิจารณารูปที่ 6-14 – 6-17 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบนนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD ซึ่งถูกพบว่าเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดในระบบผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว สามารถให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่าผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

ตารางที่ 6-5 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|---------------|----------------|-------------|-----------------|-------------|------------------------|---------------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| New | 196.50 | New | 0.01 | New | 0.05 | JDD | 205.12 |
| JDD | 201.17 | JDD | 0.05 | JDD | 0.17 | New | 206.06 |
| ผลต่าง | 4.67 | ผลต่าง | 0.04 | ผลต่าง | 0.12 | ผลต่าง | 0.94 |
| % | 2.32 | % | 80 | % | 70.58 | % | 0.45 |

* New หมายถึง กฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

% หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้ เมื่อเทียบกับผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

Individual 95% CIs For Mean Flow Time

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|---------------------|----|--------|-------|----------------------------------|
| JDD | 20 | 201.17 | 5.91 | (-----*-----) |
| New | 20 | 196.50 | 3.88 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 5.00 | | | | 195.0 197.5 200.0 202.5 |

Individual 95% CIs For Mean Tardiness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|------------------------|----|---------|---------|----------------------------------|
| JDD | 20 | 0.04900 | 0.04587 | (-----*-----) |
| New | 20 | 0.01550 | 0.03137 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 0.03929 | | | | 0.000 0.020 0.040 0.060 |

Individual 95% CIs For Mean % of Tardy Jobs

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|-----------------------|----|--------|--------|-----------------------|
| JDD | 20 | 0.1740 | 0.1301 | (-----*-----) |
| New | 20 | 0.0535 | 0.0986 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 0.1154 | | | | 0.070 0.140 0.210 |

Individual 95% CIs For Mean Absolute Lateness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|---------------------|----|--------|-------|-----------------------|
| JDD | 20 | 205.12 | 1.63 | (-----*-----) |
| New | 20 | 206.06 | 1.21 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 1.43 | | | | 205.10 205.80 206.50 |

รูปที่ 6-18 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test ทำให้พบว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบนนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD โดยกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว สามารถให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่าผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.3.2.2 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

| One-way ANOVA: F versus Dispatching Rules | | | | | |
|--|----|--------|-------|------|-------|
| Analysis of Variance for F | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 17036 | 17036 | 4.12 | 0.050 |
| Error | 38 | 157307 | 4140 | | |
| Total | 39 | 174343 | | | |

| One-way ANOVA: T versus Dispatching Rules | | | | | |
|--|----|---------|---------|------|-------|
| Analysis of Variance for T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 0.00380 | 0.00380 | 2.26 | 0.141 |
| Error | 38 | 0.06387 | 0.00168 | | |
| Total | 39 | 0.06768 | | | |

| One-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules | | | | | |
|---|----|---------|---------|------|-------|
| Analysis of Variance for %T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 0.01560 | 0.01560 | 2.45 | 0.126 |
| Error | 38 | 0.24228 | 0.00638 | | |
| Total | 39 | 0.25788 | | | |

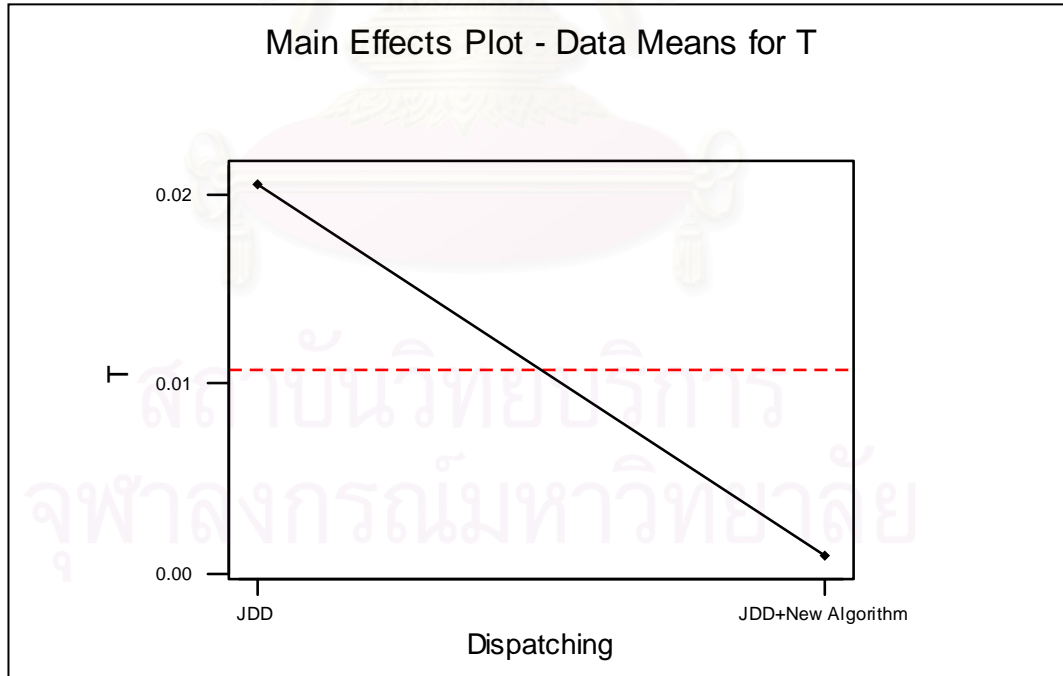
| One-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules | | | | | |
|--|----|--------|------|------|-------|
| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 84.7 | 84.7 | 2.18 | 0.148 |
| Error | 38 | 1476.6 | 38.9 | | |
| Total | 39 | 1561.2 | | | |

รูปที่ 6-19 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ทำให้พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูงนั้น เทคนิคในการลำดับความสำคัญมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย แต่ถือว่าส่งผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย



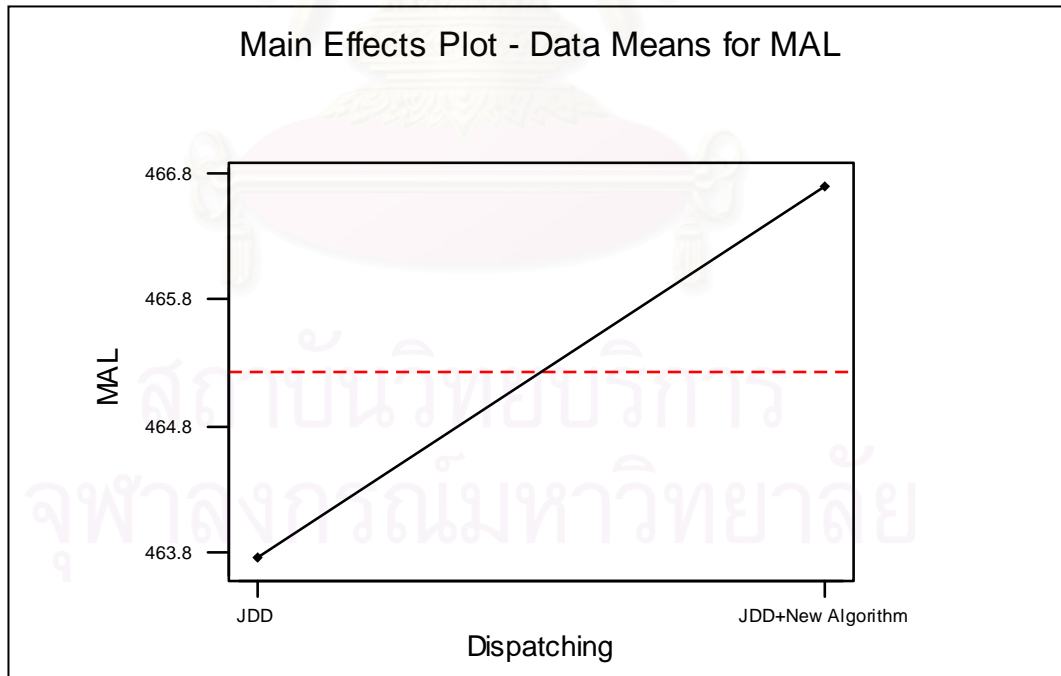
รูปที่ 6-20 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)



รูปที่ 6-21 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาดำเข้าของงาน โดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)



รูปที่ 6-22 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)



รูปที่ 6-23 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

จากการพิจารณารูปที่ 6-20 – 6-23 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูงนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD ซึ่งถูกพบว่าเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดในระบบผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว สามารถให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น ทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่าผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

ตารางที่ 6-6 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|--------|----------------|-------|-----------------|-------|------------------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| New | 468.32 | ↑ New | 0.001 | ↑ New | 0.007 | ↑ JDD | 463.78 |
| JDD | 509.60 | ↓ JDD | 0.020 | ↓ JDD | 0.046 | ↓ New | 466.69 |
| ผลต่าง | 41.28 | ผลต่าง | 0.019 | ผลต่าง | 0.039 | ผลต่าง | 2.91 |
| % | 8.10 | % | 95 | % | 84.78 | % | 0.62 |

* New หมายถึง กฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

% หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้ เมื่อเทียบกับผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

Individual 95% CIs For Mean Flow Time

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|----------------------|----|--------|-------|--------------------------------|
| JDD | 20 | 509.60 | 87.19 | (-----*-----) |
| New | 20 | 468.32 | 26.01 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 64.34 | | | | 450 480 510 540 |

Individual 95% CIs For Mean Tardiness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|------------------------|----|---------|---------|---|
| JDD | 20 | 0.02050 | 0.05790 | (-----*-----) |
| New | 20 | 0.00100 | 0.00308 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 0.04100 | | | | -0.016 0.000 0.016 0.032 |

Individual 95% CIs For Mean % of Tardy Jobs

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev | | |
|----------------|----|---------|---------|-------------------------|-------|-------|
| JDD | 20 | 0.04650 | 0.11231 | -----+-----+-----+----- | | |
| | | | | (-----*-----) | | |
| New | 20 | 0.00700 | 0.01174 | (------*-----) | | |
| | | | | -----+-----+-----+----- | | |
| Pooled StDev = | | 0.07985 | | 0.000 | 0.035 | 0.070 |

Individual 95% CIs For Mean Absolute Lateness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev | | |
|----------------|----|--------|-------|-------------------------|-------|-------|
| JDD | 20 | 463.78 | 8.04 | -----+-----+-----+----- | | |
| | | | | (-----*-----) | | |
| JDD+New | 20 | 466.69 | 3.61 | (------*-----) | | |
| | | | | -----+-----+-----+----- | | |
| Pooled StDev = | | 6.23 | | 462.5 | 465.0 | 467.5 |

รูปที่ 6-24 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง (Tall Structure)

จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test ทำให้พบว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูงนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD โดยกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย แต่เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่ากฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นเช่นกัน ถึงแม้จะพบว่าไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผลของกฎ JDD เดิม นั้น มีค่าใกล้เคียงค่าศูนย์มาก ทำให้ผลในทางปรับปรุงแสดงออกมาอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย พบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดา แต่ถือว่าไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

6.3.2.3 ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

| One-way ANOVA: F versus Dispatching Rules | | | | | |
|--|----|-----------|-----------|------|-------|
| Analysis of Variance for F | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 8223 | 8223 | 3.54 | 0.068 |
| Error | 38 | 88387 | 2326 | | |
| Total | 39 | 96609 | | | |
| One-way ANOVA: T versus Dispatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 0.0000900 | 0.0000900 | 0.94 | 0.337 |
| Error | 38 | 0.0036200 | 0.0000953 | | |
| Total | 39 | 0.0037100 | | | |
| One-way ANOVA: %T versus Dispatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for %T | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 0.000810 | 0.000810 | 1.03 | 0.316 |
| Error | 38 | 0.029790 | 0.000784 | | |
| Total | 39 | 0.030600 | | | |
| One-way ANOVA: MAL versus Dispatching Rules | | | | | |
| Analysis of Variance for MAL | | | | | |
| Source | DF | SS | MS | F | P |
| Dispatch | 1 | 46.0 | 46.0 | 4.20 | 0.047 |
| Error | 38 | 416.5 | 11.0 | | |
| Total | 39 | 462.5 | | | |

รูปที่ 6-25 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อทดสอบอิทธิพลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากค่า P-Value ทำให้พบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อนนั้น เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญมีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย แต่ถือว่าส่งผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า



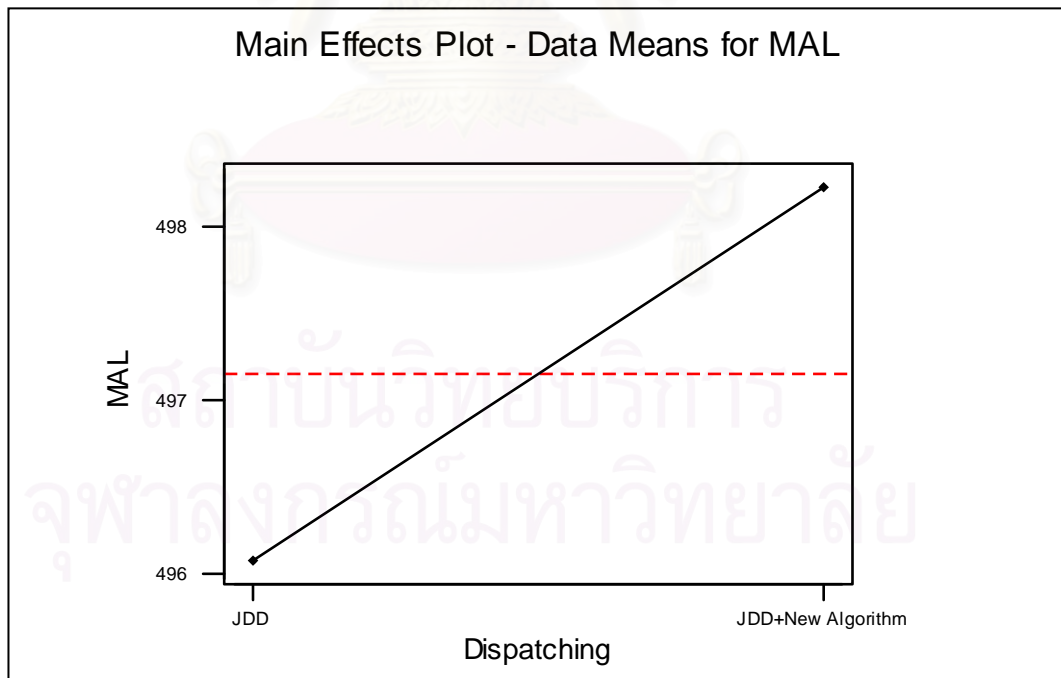
รูปที่ 6-26 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)



รูปที่ 6-27 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเวลาดำเข้าของงานโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)



รูปที่ 6-28 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)



รูปที่ 6-29 เปรียบเทียบผลของเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญที่มีต่อค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย ที่เกิดจากกฎ JDD-JIS ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างซับซ้อน (Complex Structure)

จากการพิจารณารูปที่ 6-26 – 6-29 จะพบว่า ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อนนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD ซึ่งถูกพบว่าเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดในระบบผลิตแบบสายการประกอบ เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว สามารถให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น ทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่าผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

ตารางที่ 6-7 ผลการวิเคราะห์ความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test

| Mean Flow Time | | Mean Tardiness | | % of Tardy Jobs | | Mean Absolute Lateness | |
|----------------|--------|----------------|-------|-----------------|-------|------------------------|--------|
| Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean | Rules | Mean |
| ↑ New | 448.92 | ↑ New | 0.002 | ↑ New | 0.005 | JDD | 496.09 |
| ↓ JDD | 477.59 | ↓ JDD | 0.005 | ↓ JDD | 0.014 | New | 498.23 |
| ผลต่าง | 28.67 | ผลต่าง | 0.003 | ผลต่าง | 0.009 | ผลต่าง | 2.14 |
| % | 6 | % | 60 | % | 64.28 | % | 0.43 |

* New หมายถึง กฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

% หมายถึง เปอร์เซ็นต์ความแตกต่างที่ได้ เมื่อเทียบกับผลของกฎ JDD แบบธรรมดา

Individual 95% CIs For Mean Flow Time

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|----------------------|----|--------|-------|---------------------------|
| JDD | 20 | 477.59 | 53.90 | (-----+-----+-----+-----) |
| New | 20 | 448.92 | 41.80 | (-----+-----+-----+-----) |
| Pooled StDev = 48.23 | | | | 440 460 480 |

Individual 95% CIs For Mean Tardiness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|-------------------------|----|----------|----------|---------------------------|
| JDD | 20 | 0.005000 | 0.012773 | (-----+-----+-----+-----) |
| New | 20 | 0.002000 | 0.005231 | (-----+-----+-----+-----) |
| Pooled StDev = 0.009760 | | | | 0.0000 0.0035 0.0070 |

Individual 95% CIs For Mean % of Tardy Jobs

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|------------------------|----|---------|---------|-----------------------------|
| JDD | 20 | 0.01450 | 0.03748 | (-----*-----) |
| New | 20 | 0.00550 | 0.01276 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 0.02800 | | | | 0.000 0.010 0.020 |

Individual 95% CIs For Mean Absolute Lateness

| Level | N | Mean | StDev | Based on Pooled StDev |
|---------------------|----|--------|-------|--|
| JDD | 20 | 496.09 | 3.39 | (-----*-----) |
| New | 20 | 498.23 | 3.23 | (-----*-----) |
| Pooled StDev = 3.31 | | | | 495.0 496.5 498.0 499.5 |

รูปที่ 6-30 เปรียบเทียบค่าเฉลี่ยและความเบี่ยงเบนมาตรฐานที่ได้จากการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน (Complex Structure)

จากการวิเคราะห์โดยใช้เทคนิค Tukey Multiple Comparison Test ทำให้พบว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างซับซ้อนนั้น เมื่อเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD โดยกำหนดเวลาส่งมอบด้วยกฎ JIS แล้ว ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ถึงแม้ในทางสถิติแล้วจะพบว่าไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.4 สรุปผลการทดลอง

ในบทที่ 6 นี้เป็นการทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการเสนอกฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่และการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD หลังจากนั้นเป็นการนำผลการทดลองที่ได้มาทำการวิเคราะห์เพื่อเปรียบเทียบกับผลการทดลองในบทที่ 5 โดยใช้การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test ซึ่งสามารถสรุปผลการวิเคราะห์แยกตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ได้ ดังนี้

1. สรุปผลกฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่ (กฎ JISNL)

- ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน
 - เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JISNL กับกฎ JIS ซึ่งเป็นกฎที่ถือว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในบทที่ 5 จะพบว่า กฎ JISNL นั้น ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ JIS แต่ให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ยค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ยังสูงกว่ากฎ JIS แต่พบว่าให้ค่าที่ไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญในทุกดัชนีวัดประสิทธิภาพ
 - เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะพบว่ากฎ JISNL นั้น ถือว่าให้ผลการดำเนินงานที่ค่อนข้างดี รวมทั้งพบว่าให้ผลที่ใกล้เคียงกับกฎ BJIS
- ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง
 - เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JISNL กับกฎ JIS จะพบว่า กฎ JISNL สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด โดยให้ค่าที่ต่ำกว่ากฎ JIS ค่อนข้างมาก ถึงแม้ในทางสถิติแล้วจะถือว่าไม่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม รวมทั้งพบว่า กฎ JISNL นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JIS เพียงเล็กน้อย แต่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ JIS อย่างมีนัยสำคัญ
 - กฎ JISNL นั้น ถือว่าให้ผลในทางปรับปรุงกับระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายระดับ มากกว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานที่มีระดับของการประกอบน้อย เนื่องจากกฎ JISNL นั้นมีการใช้ข้อมูลทางด้านจำนวนระดับของการประกอบในการกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งข้อมูลทางด้านนี้ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานค่อนข้างมาก เมื่อดูจากสรุปผลการทดลองในบทที่ 5 ดังนั้น จึงทำให้กฎ JISNL สามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้แม่นยำมากกว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง

- ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน
 - เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JISNL กับกฎ JIS ซึ่งเป็นกฎที่ถือว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในบทที่ 5 จะพบว่า กฎ JISNL นั้นให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ JIS รวมทั้งพบว่าให้ค่าเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JIS เพียงเล็กน้อย แต่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ JIS อย่างมีนัยสำคัญ
 - เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมแล้ว จะพบว่ากฎ JISNL นั้น ถือว่าให้ผลการดำเนินงานที่ค่อนข้างดี โดยให้ผลที่ใกล้เคียงกับกฎ JIS

2. สรุปผลการพัฒนากฎ JDD โดยเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

- ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน
 - เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ถือว่ามีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย
 - เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JDD แบบปกติกับผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ พบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่าผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ
- ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง
 - เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย แต่ถือว่าส่งผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพทางด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย
 - เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JDD แบบปกติกับผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ พบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย แต่เมื่อพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่ากฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับ

ความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้นเช่นกัน ถึงแม้จะพบว่าไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากผลของกฎ JDD เดิมนั้น มีค่าใกล้เคียงค่าศูนย์มาก ทำให้ผลในทางปรับปรุงแสดงออกมาอย่างไม่มีนัยสำคัญ และเมื่อพิจารณาทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย จะพบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดา แต่ถือว่าไม่สูงกว่าอย่างมีนัยสำคัญ

■ ระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบซับซ้อน

- เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ มีอิทธิพลต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย แต่ถือว่าส่งผลน้อยมากต่อประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า
- เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JDD แบบปกติกับผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ พบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ถึงแม้ในทางสถิติแล้วจะพบว่าไม่ได้ให้ผลที่ต่างกันอย่างมีนัยสำคัญก็ตาม แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ

บทที่ 7

สรุปผลการดำเนินงาน

7.1 สรุป

การทำงานวิจัยครั้งนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์ผลกระทบร่วมของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ที่มีต่อประสิทธิภาพการทำงานของระบบผลิตแบบสายการประกอบรูปแบบต่างๆ นั่นคือ ระบบที่ผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีโครงสร้างแบบแบน แบบสูง และแบบซับซ้อน โดยทำการทดลองในระบบที่สมดุลซึ่งมีการงานปานกลางและภาระงานหนัก รวมทั้งในระบบที่ไม่สมดุล โดยใช้เทคนิคการจำลองปัญหาทางคอมพิวเตอร์ นั่นคือ โปรแกรม ARENA Version 5.0 โดยกฎการจ่ายงานที่เลือกมาทำการศึกษาในครั้งนี้ ได้แก่ กฎ JDD, S/OPN, IR, และ LF ส่วนกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่เลือกมาศึกษา ได้แก่ กฎ CON, RAND, TWK, TWKCP, และ JIS รวมทั้งกฎใหม่ที่น่าสนใจ ได้แก่ กฎ BJIS

ก่อนทำการทดลองตามปัจจัยและเงื่อนไขที่ระบุไว้นั้น จำเป็นต้องมีการทำการทดลองเบื้องต้น (Pilot Run) กับแบบจำลองระบบผลิตแบบสายการประกอบที่ใช้เป็นแบบจำลองพื้นฐานในการทำการทดลอง นั่นคือ ให้มีการจัดลำดับงานเป็นไปตามกฎ First Come First Served (FCFS) และกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ Constant (CON) เพื่อหาเวลาที่ระบบเข้าสู่สภาวะคงตัว (Steady State) และหาจำนวนซ้ำของการรัน (Number of Replications) ที่เหมาะสม โดยสรุปได้ว่าการทดลองจริงนั้นได้ตั้งเวลาที่ระบบจะเข้าสู่สภาวะคงตัว (Warm-Up Period) ไว้เท่ากับ 400,000 นาที และใช้เวลาในการรันโปรแกรมเพื่อเก็บข้อมูลทางสถิติอีก 400,000 นาที เป็นจำนวน 20 Replications ที่ต่อเนื่องกัน โดยในการทดลองจริงนั้น ประสิทธิภาพของระบบที่ใช้ในการเปรียบเทียบ ได้แก่ เวลาไหลของงานโดยเฉลี่ย (Mean Flow Time), เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย (Mean Tardiness), เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า (% of Tardy Jobs), และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย (Mean Absolute Lateness) โดยเมื่อทำการทดลองเรียบร้อยแล้ว ได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ทางสถิติโดยใช้โปรแกรม Minitab ช่วยในการวิเคราะห์ ซึ่งเทคนิคที่ใช้ในการวิเคราะห์ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) การวิเคราะห์ปัจจัยหลัก การวิเคราะห์ปฏิสัมพันธ์ร่วม และการเปรียบเทียบแบบ Tukey Multiple Comparison Test โดยผลสรุปแบบละเอียดซึ่งแยกตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และแยกย่อยตามลำดับขั้นตอนประสิทธิภาพนั้น ได้สรุปเอาไว้ในท้ายบทที่ 5 และจากข้อสรุปโดยละเอียดทั้งหมดนั้น สามารถนำมาสรุปเป็นภาพรวมอีกครั้งได้ ดังนี้

ตารางที่ 7-1 กฎการจ่ายงาน - กฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีค่าประสิทธิภาพที่ดีที่สุด

| โครงสร้าง ผลิตภัณฑ์ | สถานะของ ระบบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_r$ | MAL |
|------------------------|------------------|-----------|-----------|-----------|---------|
| Flat Structure | 80% Utilization | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-TWK | LF-JIS |
| | 90% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| | Unbalanced Shop | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-TWK | LF-JIS |
| Tall Structure | 80% Utilization | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| | 90% Utilization | JDD-JIS | JDD-JIS | S/OPN-JIS | JDD-JIS |
| | Unbalanced Shop | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| Complex Structure | 80% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| | 90% Utilization | JDD-TWK | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |
| | Unbalanced Shop | JDD-TWKCP | JDD-JIS | JDD-JIS | LF-JIS |

- ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบแบน หรือมีระดับของการประกอบเพียงแค่ 1 ระดับ นั้น จะพบว่า ผลของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของระบบ จะเป็นไปในทิศทางเดิม เมื่อให้ระบบที่สมดุลมีภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้น และจะเกิดความผันแปรไปเล็กน้อยเมื่อระบบมีความไม่สมดุล
- ในระบบที่ผลิตชิ้นงาน โครงสร้างแบบสูง หรือที่มีระดับของการประกอบหลายระดับนั้น พบว่า ผลของกฎการจ่ายงาน และกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของระบบ ค่อนข้างผันแปรไป โดยเฉพาะเมื่อให้ระบบที่สมดุลมีภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้น หรือเมื่อให้ระบบมีความแออัดมากขึ้น แต่กลับพบว่า เมื่อให้ระบบมีความไม่สมดุลแล้ว จะทำให้ ผลของกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบ ที่มีต่อค่าประสิทธิภาพของระบบโดยรวมนั้น ค่อนข้างยังคงเป็นไปในทิศทางเดิม แต่จะเกิดช่วงกว้างของความแตกต่างของค่าประสิทธิภาพในแต่ละกฎที่แตกต่างออกไป จึงสรุปได้ว่า ในระบบที่สมดุล ด้วยระดับการใช้งานของระบบ 80% นั้น ให้ผลโดยรวมที่ค่อนข้างใกล้เคียงกับในระบบที่ไม่สมดุล มากกว่าที่ระดับการใช้งานของระบบ 90%
- เมื่อชิ้นงานมีโครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายระดับ จะทำให้เกิดเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่สูงมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่ง เมื่อให้ระบบมีความแออัดสูง หรือที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% ซึ่งจะพบว่าทำให้เกิดเวลาการไหลของงานที่สูงกว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบซับซ้อนหลายเท่า แม้ว่าชิ้นงานโครงสร้าง

แบบซับซ้อนนั้น จะเกิดจากการประกอบกันของส่วนประกอบที่มากกว่าก็ตาม ซึ่งการที่มีเวลาการไหลของงานที่สูงมากนั้น ย่อมส่งผลให้เกิดเวลาล่าช้าของงาน เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายที่สูงมากเช่นกัน โดยข้อสรุปดังกล่าวถือเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ Russell and Taylor (1985) และ Fry et al. (1989)

- ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบซับซ้อน หรือชิ้นงานที่มีโครงสร้างขนาดใหญ่ แต่โครงสร้างไม่สูงมากนัก พบว่า เมื่อให้ภาระงานในระบบเพิ่มสูงขึ้นที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะทำให้ผลกระทบจากผลร่วมระหว่างสองปัจจัย ส่งผลลดน้อยลง จนถือว่าไม่ส่งผลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญ
- กฎ JDD ถือเป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และในทุกสถานะของระบบ โดยเมื่อพิจารณาทางด้านเวลาการไหลของงาน พบว่ากฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWK และกฎ TWKCP และหากพิจารณาทางด้านเวลาล่าช้าของงาน และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า จะพบว่ากฎ JDD จะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวถือเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ Russell and Taylor (1985), Goodwin and Weeks (1986), และ Fry et al. (1989) ที่ว่ากฎที่ใช้เวลาส่งมอบในการจัดลำดับงานสามารถให้ค่าประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับเวลาล่าช้าของงานได้ดีที่สุด ในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ในระบบผลิตแบบสายการประกอบ รวมถึงเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ Reeja and Rajendran (2000) Part 2 ที่พบว่ากฎ JDD นั้นให้ค่าประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย และเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย ที่ดีกว่ากฎ IR ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ทั้งที่ระดับการใช้งานของระบบ 85% และ 95%
- กฎ LF ถือเป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ที่ดีที่สุด เมื่อพิจารณาโดยภาพรวมในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และในทุกสถานะของระบบ โดยพบว่าจะให้ค่าที่ต่ำที่สุด เมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS อีกทั้งพบว่ากฎ LF ที่ถึงแม้จะให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่สูงกว่ากฎ JDD แต่โดยรวมแล้วมักพบว่าเป็นการสูงกว่าอย่างไม่มีนัยสำคัญ ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวถือว่าการเสริมคุณสมบัติของกฎ LF ที่พบจากงานวิจัยของ Mohanasundaram (2002) ที่ว่ากฎ LF นั้นให้ประสิทธิภาพทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ดีที่สุด ในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ในระบบผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งเหตุผลที่สนับสนุนการทำงานของกฎ LF อาจเนื่องมาจากว่า กฎ LF ถือเป็นกฎที่พิจารณาความสัมพันธ์ภายในโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ มีการประสานและมีการเร่ง

งานระหว่างการดำเนินงานในสายงานวิกฤติกับการดำเนินงานที่ไม่ได้อยู่ในสายงานวิกฤติของงานให้มีความสอดคล้องกัน

- กฎ IR พบว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ด้อยกว่ากฎ JDD และกฎ LF แต่ถือเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่ากฎ S/OPN ในระบบการผลิตแบบสายการประกอบ ซึ่งชิ้นงานมีโครงสร้างแบบแบน และแบบซับซ้อน แต่กฎ IR ถือเป็นกฎที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีใกล้เคียงกับกฎ JDD และถือว่าค่อนข้างดีกว่ากฎ LF เมื่อชิ้นงานมีโครงสร้างแบบสูง โดยเฉพาะเมื่อระบบมีความแออัดสูง หรือที่ระดับการใช้งานของระบบ 90% จะพบว่ากฎ LF ด้อยประสิทธิภาพลง แต่กฎ IR ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น อีกทั้งพบว่ากฎ IR ค่อนข้างให้ผลที่ไม่แตกต่างออกไปอย่างมีนัยสำคัญเท่าไรนัก เมื่อกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบเปลี่ยนไป และเมื่อระบบมีความไม่สมดุลแล้ว พบว่ากฎ IR ถือว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ค่อนข้างต่ำ ในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ ซึ่งข้อสรุปเกี่ยวกับกฎ IR ดังกล่าวมานี้ ถือเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ Philipoom et al. 1991, Roman and Valle 1996 ที่ว่า กฎ IR นั้นสามารถนำมาปฏิบัติงานได้ดีในระบบการผลิตที่ชิ้นงานมีโครงสร้างแบบสูง แต่กฎ IR จะไม่ค่อยมีผลในทางปรับปรุงเมื่อผลิตภัณฑ์มีโครงสร้างแบบแบนและแบบซับซ้อน ซึ่งเหตุผลหนึ่งที่สนับสนุนข้อสรุปดังกล่าวนี้ อาจเนื่องมาจากว่า กฎ IR นั้นมีการคำนวณค่าอัตราส่วนระหว่าง จำนวนการดำเนินงานที่ยังเหลืออยู่บนเส้นทางงาน (Branch) งานนั้นถูกประกอบเสร็จสิ้น ต่อจำนวนการดำเนินงานที่เหลืออยู่บนเส้นทางงานที่ยาวที่สุดของงานนั้น ดังนั้น หากชิ้นงานมีโครงสร้างแบบแบนและแบบซับซ้อน ซึ่งมีระดับของการประกอบไม่เกิน 3 ระดับแล้ว จะทำให้โอกาสที่อัตราส่วน IR ถูกคำนวณออกมาได้ค่าที่เท่ากันสูง ซึ่งเมื่อ IR มีค่าที่เท่ากันแล้ว ระบบก็จะจัดลำดับงานตามกฎมาก่อนทำก่อน หรือ FCFS ซึ่งกฎ FCFS นั้นถูกพบในงานวิจัยที่ผ่านมาแล้วว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ค่อนข้างต่ำ ในระบบผลิตแบบสายการประกอบ
- กฎ S/OPN ถือเป็นกฎการจ่ายงานที่ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ด้อยที่สุดในทุกโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และในทุกสถานะของระบบ ยกเว้นในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง และระบบมีความแออัดสูง โดยมีระดับการใช้งานของระบบที่ 90% นั้น จะพบว่ากฎ S/OPN ที่กำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ TWKCP ให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย ที่ค่อนข้างต่ำ ถึงแม้จะไม่ได้ให้ค่าที่ต่ำที่สุด แต่ก็พบว่าให้ค่าที่ไม่ต่างจากกฎ JDD อย่างมีนัยสำคัญ รวมทั้งพบว่ากฎ S/OPN ที่กำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ JIS และกฎ BJIS นั้น สามารถให้ค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่ต่ำที่สุด และต่ำกว่ากฎอื่นๆอย่างมีนัยสำคัญ แต่เมื่อพิจารณาในกรณีที่กฎ S/OPN ถูกใช้ร่วมกับกฎการกำหนดเวลาส่งมอบอื่นๆ ที่ระดับการใช้งานของระบบที่ 90% ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง รวมทั้งในสถานะของระบบแบบ

อื่นๆแล้ว กฎ S/OPN ก็ยังถือว่าให้ค่าประสิทธิภาพด้านต่างๆโดยรวมที่สูงมาก โดยเฉพาะเมื่อกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ CON และกฎ RAND

- กฎ JIS และกฎ BJIS ซึ่งเป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ใช้ทั้งข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงาน (Job Characteristics) และทางด้านสถานภาพของระบบในปัจจุบัน (Current Shop Status) นั้น สามารถประมาณค่าระยะเวลาการไหลของงานได้อย่างแม่นยำมากกว่า จึงเป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับเวลาล่าช้า และเวลาสายของงาน ที่ดีกว่ากฎที่ใช้เพียงแค่ข้อมูลทางด้านคุณลักษณะของงานในการกำหนดเวลาส่งมอบ เช่นกฎ TWK และกฎ TWKCP รวมทั้งกฎที่กำหนดเวลาส่งมอบมาจากค่าคงที่ (CON) และกำหนดโดยวิธีการสุ่ม (RAND)
- เมื่อระบบมีความแออัดมากขึ้น หรือที่ระดับการใช้งานของระบบสูงถึง 90% จะพบว่ากฎ JIS และกฎ BJIS ให้ผลในทางปรับปรุงขึ้น เนื่องมาจากทั้งสองกฎนี้กำหนดเวลาส่งมอบมาจากข้อมูลทางด้านจำนวนงานที่มีอยู่ในระบบในขณะนั้น จึงทำให้สามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้อย่างแม่นยำมากกว่า
- กฎ BJIS เป็นกฎที่ใช้ข้อมูลถึงสามด้านในการกำหนดเวลาส่งมอบ แต่กลับพบว่าไม่ได้เป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุด นั่นทำให้สรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลมาประกอบกันหลายๆด้านในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น ไม่ได้บ่งบอกว่าจะสามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้แม่นยำกว่าการใช้ข้อมูลเพียงด้านเดียวหรือสองด้าน
- กฎ TWK และกฎ TWKCP เป็นกฎการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่ค่อนข้างสูง แต่กลับพบว่า ในการวิเคราะห์ด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า นั้น พบว่ากฎ TWK ถือเป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพทั้งสามด้านนี้ค่อนข้างต่ำ นั่นหมายความว่า กฎ TWK นั้นสามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้ไม่แม่นยำนัก จึงน่าที่จะเป็นกฎที่ให้เวลาล่าช้าของงาน (Tardiness) ที่ต่ำ แต่ให้เวลาเสร็จสิ้นก่อนกำหนดของงาน (Earliness) ที่สูง
- กฎ TWK ให้ผลโดยรวมทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า ที่ใกล้เคียงกับกฎ TWKCP ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง ในขณะที่พบว่าให้ค่าประสิทธิภาพทั้งสามด้านนี้ที่ดีกว่ากฎ TWKCP อย่างเห็นได้ชัด ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน และแบบซับซ้อน ซึ่งข้อสรุปดังกล่าวถือเป็นการสนับสนุนข้อสรุปของ Roman and Valle (1996) ที่พบว่ากฎ TWK ให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ค่อนข้างดีกว่ากฎ TWKCP ในระบบที่ผลิตผลิตภัณฑ์โครงสร้างแบบสูง และให้ผลที่ดีกว่ามาก ในระบบที่ผลิตผลิตภัณฑ์โครงสร้างแบบแบน และแบบซับซ้อน ซึ่งถึงแม้จากตารางที่ 7-1 จะพบว่ากฎ TWKCP มักให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำที่สุด เมื่อจัดลำดับงานตามกฎ JDD แต่เมื่อดูผลโดยรวมอย่างละเอียดในบท

ที่ 5 จะพบว่ากฎ TWKCP มักเป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่สูงที่สุด เมื่อจัดลำดับงานตามกฎ S/OPN ยกเว้นในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง และระบบมีความแออัดสูง โดยมีระดับการใช้งานของระบบที่ 90% ดังที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น

- กฎ CON และกฎ RAND นั้นพบว่ากำหนดเวลาส่งมอบได้อย่างไม่แม่นยำ ทำให้ค่าประสิทธิภาพที่เกิดจากกฎการจ่ายงานต่างๆ ในแต่ละโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งในแต่ละสถานะของระบบ มีความไม่แน่นอน และไม่สามารถสรุปเป็นภาพรวมได้ จึงถือเป็นกฎที่ไม่ควรนำไปใช้ในอุตสาหกรรมจริง ถึงแม้จะสามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้อย่างง่ายและรวดเร็วที่สุดก็ตาม

หลังจากวิเคราะห์และสรุปผลที่ได้จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบ ที่เป็นผลมาจากกฎการจ่ายงานและกฎการกำหนดเวลาส่งมอบรูปแบบต่างๆ แล้ว จึงได้ทำการทดลองเพิ่มเติม โดยการพัฒนาและเพิ่มเทคนิคบางอย่างให้กับกฎการจ่ายงาน รวมทั้งกฎในการกำหนดเวลาส่งมอบที่ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในส่วนที่ผ่านมา นั่นคือกฎ JDD และกฎ JIS นั่นคือ มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญให้กับกฎ JDD และมีการพัฒนากฎ JIS โดยพิจารณาปัจจัยทางด้านจำนวนระดับของการประกอบในรายการวัสดุของงาน (BOM) เพิ่มเข้ามาในการกำหนดเวลาส่งมอบ โดยให้ชื่อของกฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่นี้ว่ากฎ JISNL โดยผลสรุปแบบละเอียดซึ่งแยกตามโครงสร้างของผลิตภัณฑ์ และแยกตามค่าดัชนีวัดประสิทธิภาพนั้น ได้สรุปเอาไว้ในท้ายบทที่ 6 และจากข้อสรุปโดยละเอียดทั้งหมดนั้นสามารถนำมาสรุปเป็นภาพรวมอีกครั้งได้ ดังนี้

1. สรุปผลกฎการกำหนดเวลาส่งมอบใหม่ (กฎ JISNL)

- กฎ JISNL นั้น ถือว่าให้ผลในทางปรับปรุงกับระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายๆระดับ มากกว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานที่มีระดับของการประกอบน้อย เนื่องจากกฎ JISNL นั้นมีการใช้ข้อมูลทางด้านจำนวนระดับของการประกอบในการกำหนดเวลาส่งมอบ ซึ่งข้อมูลทางด้านนี้ถือเป็นปัจจัยหนึ่งที่ส่งผลต่อค่าเวลาการไหลของงานค่อนข้างมาก เมื่อดูจากสรุปผลการทดลองในบทที่ 5 ดังนั้น จึงทำให้กฎ JISNL สามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้แม่นยำมากกว่าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อพิจารณาในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง
- เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JISNL กับกฎ JIS ซึ่งเป็นกฎที่ถือว่าให้ประสิทธิภาพโดยรวมที่ดีที่สุดจากการวิเคราะห์ในส่วนที่ผ่านมา จะพบว่า กฎ JISNL สามารถให้ค่าเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ยที่ต่ำกว่ากฎ JIS โดยเฉพาะในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง

รวมทั้งพบว่า กฎ JISNL นั้น ให้ค่าประสิทธิภาพด้านเวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้าที่สูงกว่ากฎ JIS เพียงเล็กน้อย แต่ให้ค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ยที่สูงกว่ากฎ JIS อย่างมีนัยสำคัญ

- กฎ JISNL เป็นกฎที่ใช้ข้อมูลถึงสามด้านในการกำหนดเวลาส่งมอบ เช่นเดียวกับกฎ BJIS แต่กลับพบว่าทั้งสองกฎนั้น ไม่ได้เป็นกฎที่ให้ค่าประสิทธิภาพโดยรวมของระบบที่ดีที่สุด ถึงแม้ว่ากฎ JISNL จะให้ผลในทางปรับปรุงไปจากกฎ JIS บ้างก็ตาม แต่โดยภาพรวมแล้ว ก็ไม่ได้ถือว่ากฎ JISNL เป็นกฎที่ดีที่สุด นั่นทำให้สรุปได้ว่า การใช้ข้อมูลมาประกอบกันหลายๆด้านในการกำหนดเวลาส่งมอบนั้น ไม่ได้บ่งบอกว่าจะสามารถกำหนดเวลาส่งมอบได้แม่นยำกว่าการใช้ข้อมูลเพียงด้านเดียวหรือสองด้าน

2. สรุปผลการพัฒนากฎ JDD โดยเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ

- โดยภาพรวมแล้ว เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ ถือว่ามีอิทธิพลต่อค่าประสิทธิภาพของระบบทางด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย เปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า และค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายของงานโดยเฉลี่ย
- เมื่อเปรียบเทียบผลของกฎ JDD แบบปกติกับผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญ จะพบว่า การเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ให้ผลในทางปรับปรุงที่ดีขึ้น เมื่อพิจารณาด้านเวลาการไหลของงานโดยเฉลี่ย เวลาล่าช้าของงานโดยเฉลี่ย และค่าเปอร์เซ็นต์ของงานล่าช้า แต่เมื่อพิจารณาประสิทธิภาพทางด้านค่าสัมบูรณ์ของเวลาสายโดยเฉลี่ย กลับพบว่า ผลของกฎ JDD ที่มีการเพิ่มเทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น มีค่าสูงกว่าผลของกฎ JDD แบบธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ
- เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น ถือว่าให้ผลในทางปรับปรุงกับระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบสูง หรือมีระดับของการประกอบหลายๆระดับ มากกว่าในระบบที่ผลิตชิ้นงานที่มีระดับของการประกอบน้อย เนื่องมาจากในการผลิตชิ้นงานที่มีโครงสร้างแบบสูงนั้น จะทำให้เกิดจำนวนครั้งของการลดลำดับความสำคัญที่มากกว่าการผลิตชิ้นงานที่มีระดับของการประกอบน้อย

7.2 ข้อเสนอแนะสำหรับงานวิจัยในอนาคต

การทำงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ดำเนินการภายใต้สมมติฐานรวมทั้งข้อกำหนดหลายประการ เพื่อเป็นการจำกัดขอบเขตของการดำเนินงานให้เหมาะสมกับระยะเวลาตามที่กำหนด ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงสามารถพัฒนาต่อไปได้อีกหลายด้าน โดยการพิจารณาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้อง ซึ่งถูกยกเว้นไว้ในงานวิจัยฉบับนี้ เช่น

- จากหลายงานวิจัยทำให้พบว่ากฎที่ใช้ในการแก้ไขความเสมอภาค (Tie-Break) สำหรับการจัดลำดับการทำงานนั้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบผลิตแบบสายการประกอบ อย่างมีนัยสำคัญ (Philipoom, Russell, and Fry 1991, Roman and Valle 1996, Reeja and Rajendran 2000, Mohanasundaram et al. 2002) ซึ่งการทำงานวิจัยครั้งนี้ไม่ได้มุ่งประเด็นไปที่การแก้ไขความเสมอภาค ทำให้เกิดกรณีที่มีการจัดลำดับการทำงานโดยกฎการจ่ายงานแล้วเกิดการเสมอภาคกัน ระบบจะกำหนดให้งานที่เข้ามาก่อนได้ดำเนินการก่อนตามกฎ FCFS นั้นอาจทำให้กฎการจ่ายงานบางกฎที่มักมีความเสมอภาคเกิดขึ้น ไม่สามารถแสดงประสิทธิภาพออกมาได้อย่างชัดเจน
- สามารถเลือกสมมติฐานบางประการที่กำหนดไว้ในบทที่ 1 เพื่อให้ระบบสอดคล้องกับสถานะการทำงานจริงได้มากขึ้น เช่น การพิจารณาเวลาปรับตั้งเครื่องจักร (Set up Time) เวลาในการขนย้ายชิ้นงาน ความน่าจะเป็นที่จะเกิดเครื่องจักรเสีย หรือการพิจารณาให้มีการแทรกงานเกิดขึ้น เป็นต้น
- เทคนิคในการลดลำดับความสำคัญนั้น อาจมีข้อยกเว้นสำหรับการให้ผลในทางปรับปรุงในกฎการจ่ายงานบางกฎ ซึ่งยังไม่ได้รับการศึกษาในการทำงานวิจัยครั้งนี้
- การนำผลการทดลองที่ได้ไปประยุกต์ใช้กับการดำเนินงานจริงในอุตสาหกรรมแบบสายการประกอบนั้น จำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงปัจจัยที่เกี่ยวข้อง รวมทั้งข้อจำกัดต่างๆที่มีอยู่ในสมมติฐานที่กำหนดไว้ในบทที่ 1 ซึ่งหากสถานะในระบบงานจริงมีความคลาดเคลื่อนไปจากสถานะในการทดลองมาก อาจส่งผลให้ผลที่ได้คลาดเคลื่อนไปจากผลการทดลองได้เช่นกัน ดังนั้นผู้ที่วิเคราะห์ระบบจะต้องมีความเข้าใจในข้อจำกัดและสิ่งแวดล้อมที่จะมีผลกระทบต่อระบบเป็นอย่างดี จึงจะทำให้สามารถวิเคราะห์ระบบจากแบบจำลองปัญหาได้อย่างใกล้เคียงกับระบบงานจริง

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

ปารเมศ ชุติมา. 2545. การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. 2546. เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พิภพ สถิตินาถ. 2545. ระบบการวางแผนและควบคุมการผลิต. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).

ศิริจันทร์ ทองประเสริฐ. 2537. การจำลองแบบปัญหา. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ภาษาอังกฤษ

Adam, N.R., Bertrand, J.W.M., Morehead, D.C., and Surkis, J. 1993. Due date assignment procedures with dynamically update coefficients for multi-level assembly jobshops. European Journal of Operational Research. 68: 212-227.

Azizoglu, M. 2003. Preemptive scheduling on identical parallel machines subject to deadlines. European Journal of Operational Research. 148: 205-210.

Baker, K.R., and Kanet, J.J. 1983. Job shop scheduling with modified due date. Journal of Operations Management. 4: 11-22.

Bertrand, J.W.M., and Van De Wakker, A.M. 2002. An investigation of order release and flow time allowance policies for assembly job shops. Production Planning and Control. 13: 639-648.

- Chang, F.R. 1996. A study of due-date assignment rules with constrained tightness in a dynamic job shop. Computer and Industrial Engineering. 31: 205-208.
- Cheng, T.C.E., and Jiang, J. 1998. Job shop scheduling for missed due-date performance. Computer and Industrial Engineering. 34: 297-307.
- Gargeya, V.B., and Deane, R.H. 1999. Scheduling in the dynamic job shop under auxiliary resource constraints: a simulation study. International Journal of Production Research. 37: 2817-2834.
- Goodwin, J.S., and Weeks, J.K. 1986. Evaluating scheduling policies in a multi-level assembly system. International Journal of Production Research. 24: 247-257.
- Green, G.I., Appel, L.B. 1981. An empirical analysis of job shop dispatch rule selection. Journal of Operations Management. 1: 197-203.
- Fry, T.D., Oliff, M.D., Minor, E.D., and Leong, G.K. 1989. The effect of product structure and sequencing rule on assembly shop performance. International Journal of Production Research. 27: 671-686.
- Fry, T.D., Philipoom, P.R., and Markland, R.E. 1989. Due date assignment in a multistage job shop. IIE Transactions. 21: 153-161.
- Huang, P.Y. 1984. A comparative study of priority dispatching rules in a hybrid assembly job shop. International Journal of Production Research. 22: 375-387.
- Mohanasundaram, K.M., Natarajan, K., Viswanathkumar, G., Radhakrishnan, P., Rajendran, C. 2002. Scheduling rules for dynamic shops that manufacture multi-level jobs. Computer and Industrial Engineering. 44: 119-131.
- Pegden, C.D., Shannon, R.E., and Sadowski, R.P. 1995. Introduction to Simulation Using SIMAN, Second Edition. Singapore: McGraw-Hill.

- Philipoom, P.R., Russell, R.S., and Fry, T.D. 1991. A preliminary investigation of multi-attribute based sequencing rules for assembly shops. International Journal of Production Research. 29: 739-753.
- Ragatz, G.L., and Mabert, V.A. 1984. A simulation analysis of due date assignment rules. Journal of Operations Management. 5: 27-39.
- Ragatz, G.L., and Mabert, V.A. 1984. A framework for the study of due date management in job shops. International Journal of Production Research. 22: 685-695.
- Reeja, M.K., and Rajendran, C. 2000. Dispatching rules for scheduling in assembly jobshops – Part 1. International Journal of Production Research. 38: 2051-2066.
- Reeja, M.K., and Rajendran, C. 2000. Dispatching rules for scheduling in assembly jobshops – Part 2. International Journal of Production Research. 38: 2349-2360.
- Roman, D.B., and Valle, A.G. 1996. Dynamic assignation of due-date in an assembly shop based in simulation. International Journal of Production Research. 34: 1539-1554.
- Russell, R.S., and Taylor, B.W. 1985. An evaluation of sequencing rules for an assembly shop. Decision Sciences. 16: 196-212.
- Smith, C.H., Minor, E.D., and Wen, H.J. 1995: Regression-based due date assignment rules for improved assembly shop performance. International Journal of Production Research. 33: 2375-2385.
- Song, D.P., Hicks, C., and Earl, C.F. 2002. Product due date assignment for complex assemblies. International Journal of Production Economics. 76: 243-256.
- Vig, M.M., and Dooley, K.J. 1991. Dynamic rules for due-date assignment. International Journal of Production Research. 29: 1361-1377.



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

ตัวอย่างไฟล์ของแบบจำลองปัญหาที่เป็นแบบจำลองพื้นฐาน นั่นคือ เป็นการจัดลำดับงานตามกฎ
First Come First Served (FCFS) และกำหนดเวลาส่งมอบตามกฎ Constant (CON)
ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

ส่วน Model

| | | |
|------|------------|--|
| 0\$ | CREATE, | 1: EXPO(30):MARK(ArrivalTime):NEXT(1\$); |
| 1\$ | ASSIGN: | DueDate=ArrivalTime+570: JobType=DISC(1/3,1,2/3,2,1.0,3); |
| 22\$ | BRANCH, | 1: If,JobType==1,2\$, Yes: If,JobType==2,23\$, Yes: Else,28\$, Yes; |
| 2\$ | DUPLICATE: | 1,4\$:NEXT(3\$); |
| 3\$ | ASSIGN: | NS=A1; |
| 5\$ | ROUTE: | 0.0,SEQ; |
| 4\$ | ASSIGN: | NS=A2:NEXT(5\$); |
| 23\$ | DUPLICATE: | 1,25\$: 1,26\$: 1,27\$:NEXT(24\$); |
| 24\$ | ASSIGN: | NS=B1:NEXT(5\$); |
| 25\$ | ASSIGN: | NS=B2:NEXT(5\$); |
| 26\$ | ASSIGN: | NS=B3:NEXT(5\$); |
| 27\$ | ASSIGN: | NS=B4:NEXT(5\$); |
| 28\$ | DUPLICATE: | 1,30\$: 1,31\$: 1,32\$: 1,33\$: 1,34\$: 1,35\$:NEXT(29\$); |

29\$ ASSIGN: NS=C1:NEXT(5\$);
 30\$ ASSIGN: NS=C2:NEXT(5\$);
 31\$ ASSIGN: NS=C3:NEXT(5\$);
 32\$ ASSIGN: NS=C4:NEXT(5\$);
 33\$ ASSIGN: NS=C5:NEXT(5\$);
 34\$ ASSIGN: NS=C6:NEXT(5\$);
 35\$ ASSIGN: NS=C7:NEXT(5\$);
 6\$ STATION, StationSet;
 7\$ ASSIGN: SetIndex=MEMIDX(StationSet,M);
 8\$ QUEUE, QueueSet(SetIndex);
 9\$ SEIZE, 1,Other:
 MachineSet(SetIndex),1:NEXT(10\$);
 10\$ DELAY: OpTime,,Other:NEXT(11\$);
 11\$ RELEASE: MachineSet(SetIndex),1;
 12\$ ROUTE: 0.0,SEQ;
 13\$ STATION, AssemblyStation;
 14\$ BRANCH, 1:
 If,NS==A1,A1Route,Yes:
 If,NS==A2,A2Route,Yes:
 If,NS==B1,B1Route,Yes:
 If,NS==B2,B2Route,Yes:
 If,NS==B3,B3Route,Yes:
 If,NS==B4,B4Route,Yes:
 If,NS==C1,C1Route,Yes:
 If,NS==C2,C2Route,Yes:
 If,NS==C3,C3Route,Yes:
 If,NS==C4,C4Route,Yes:
 If,NS==C5,C5Route,Yes:
 If,NS==C6,C6Route,Yes:
 Else,C7Route,Yes;
 A1Route QUEUE, AssemblyQ1:DETACH;
 A2Route QUEUE, AssemblyQ2:DETACH;

| | | |
|------------|----------|-------------------------------------|
| B1Route | QUEUE, | AssemblyQ3:DETACH; |
| B2Route | QUEUE, | AssemblyQ4:DETACH; |
| B3Route | QUEUE, | AssemblyQ5:DETACH; |
| B4Route | QUEUE, | AssemblyQ6:DETACH; |
| C1Route | QUEUE, | AssemblyQ7:DETACH; |
| C2Route | QUEUE, | AssemblyQ8:DETACH; |
| C3Route | QUEUE, | AssemblyQ9:DETACH; |
| C4Route | QUEUE, | AssemblyQ10:DETACH; |
| C5Route | QUEUE, | AssemblyQ11:DETACH; |
| C6Route | QUEUE, | AssemblyQ12:DETACH; |
| C7Route | QUEUE, | AssemblyQ13:DETACH; |
| | MATCH: | A1Route,15\$: |
| | | A2Route; |
| 15\$ | ASSIGN: | NS=JobA: |
| | | IS=0; |
| 16\$ | ROUTE: | 0.0,SEQ; |
| 17\$ | STATION, | ExitSystem; |
| 19\$ | BRANCH, | 1: |
| | | If,TNOW>DueDate,Tardy_Jobs,Yes: |
| | | Else,NonTardy,Yes; |
| Tardy_Jobs | ASSIGN: | Tardy=Tnow-DueDate; |
| 40\$ | COUNT: | TardyJobs,1; |
| 38\$ | TALLY: | MeanAbsoluteLateness,Tardy+Early,1; |
| 39\$ | ASSIGN: | Early=0; |
| 20\$ | TALLY: | Tardiness,Tardy+Early,1; |
| 18\$ | TALLY: | FlowTime,INT(ArrivalTime),1; |
| 21\$ | DISPOSE: | No; |
| NonTardy | ASSIGN: | Early=DueDate-TNOW:NEXT(38\$); |
| | MATCH: | B1Route,36\$: |
| | | B2Route: |
| | | B3Route: |
| | | B4Route; |

AssemblyQ8,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

AssemblyQ9,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC3Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC4Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC5Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC6Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC7Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

MC8Q,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

AssemblyQ10,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

AssemblyQ11,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

AssemblyQ12,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,):

AssemblyQ13,FirstInFirstOut,,AUTOSTATS(Yes,,);

RESOURCES: Machine1,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

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,,):

Machine6,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Machine7,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,):

Machine8,Capacity(1),,Stationary,COST(0.0,0.0,0.0),,AUTOSTATS(Yes,,);

STATIONS: MC1:

MC2:

MC3:

MC4:

MC5:

MC6:

MC7:

MC8:

AssemblyStation:

ExitSystem;

SEQUENCES: 1,A1,MC4,OpTime=NORM(15,3)&MC5,OpTime=NORM(15,3)
 &MC8,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 2,A2,MC6,OpTime=NORM(15,3)&MC2,OpTime=NORM(15,3)
 &MC3,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 3,JobA,MC1,OpTime=NORM(15,3)&MC7,OpTime=NORM(15,3)
 &ExitSystem:
 4,B1,MC3,OpTime=NORM(15,3)&MC7,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 5,B2,MC5,OpTime=NORM(15,3)&MC1,OpTime=NORM(15,3)
 &MC2,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 6,B3,MC8,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 7,B4,MC4,OpTime=NORM(15,3)&MC1,OpTime=NORM(15,3)
 &MC6,OpTime=NORM(15,3)&MC4,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 8,JobB,MC3,OpTime=NORM(15,3)&ExitSystem:
 9,C1,MC4,OpTime=NORM(15,3)&MC2,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 10,C2,MC3,OpTime=NORM(15,3)&MC8,OpTime=NORM(15,3)
 &MC5,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 11,C3,MC1,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 12,C4,MC8,OpTime=NORM(15,3)&AssemblyStation:
 13,C5,MC5,OpTime=NORM(15,3)&MC7,OpTime=NORM(15,3)
 &MC2,OpTime=NORM(15,3)&MC6,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 14,C6,MC1,OpTime=NORM(15,3)&MC6,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 15,C7,MC3,OpTime=NORM(15,3)&MC4,OpTime=NORM(15,3)
 &AssemblyStation:
 16,JobC,MC2,OpTime=NORM(15,3)&MC7,OpTime=NORM(15,3)
 &MC8,OpTime=NORM(15,3)&ExitSystem;

COUNTERS: TardyJobs,,Replicate;

TALLIES: MeanAbsoluteLateness:
Tardiness:
FlowTime,"c:\pilotrun.dat";

DSTATS: 1,NR(Machine1)*100,Machine1 Utilization:
2,NR(Machine2)*100,Machine2 Utilization:
3,NR(Machine3)*100,Machine3 Utilization:
4,NR(Machine4)*100,Machine4 Utilization:
5,NR(Machine5)*100,Machine5 Utilization:
6,NR(Machine6)*100,Machine6 Utilization:
7,NR(Machine7)*100,Machine7 Utilization:
8,NR(Machine8)*100,Machine8 Utilization;

REPLICATE, 1,0.0,400000,Yes,Yes,160000,,24.0,Minutes,No,No;

SETS: QueueSet,MC1Q,MC2Q,MC3Q,MC4Q,MC5Q,MC6Q,MC7Q,MC8Q:
StationSet,MC1,MC2,MC3,MC4,MC5,MC6,MC7,MC8:
MachineSet,Machine1,Machine2,Machine3,Machine4,Machine5,Machine6,
Machine7,Machine8;

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข

ตารางการออกแบบการทดลอง
ในระบบที่ผลิตชิ้นงานโครงสร้างแบบแบน (Flat Structure)

| ระดับการใช้งาน ของระบบ | กฎการจ่าย งาน | กฎการกำหนด เวลาส่งมอบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_T$ | MAL |
|---------------------------|------------------|--------------------------|-----------|-----------|---------|-----|
| 80% | JDD | CON | | | | |
| 80% | JDD | RAND | | | | |
| 80% | JDD | TWK | | | | |
| 80% | JDD | TWKCP | | | | |
| 80% | JDD | JIS | | | | |
| 80% | JDD | BJIS | | | | |
| 80% | S/OPN | CON | | | | |
| 80% | S/OPN | RAND | | | | |
| 80% | S/OPN | TWK | | | | |
| 80% | S/OPN | TWKCP | | | | |
| 80% | S/OPN | JIS | | | | |
| 80% | S/OPN | BJIS | | | | |
| 80% | IR | CON | | | | |
| 80% | IR | RAND | | | | |
| 80% | IR | TWK | | | | |
| 80% | IR | TWKCP | | | | |
| 80% | IR | JIS | | | | |
| 80% | IR | BJIS | | | | |
| 80% | LF | CON | | | | |
| 80% | LF | RAND | | | | |
| 80% | LF | TWK | | | | |
| 80% | LF | TWKCP | | | | |
| 80% | LF | JIS | | | | |
| 80% | LF | BJIS | | | | |

| ระดับการใช้งาน ของระบบ | กฎการจ่าย งาน | กฎการกำหนด เวลาส่งมอบ | \bar{F} | \bar{T} | $\%N_T$ | MAL |
|---------------------------|------------------|--------------------------|-----------|-----------|---------|-----|
| 90% | JDD | CON | | | | |
| 90% | JDD | RAND | | | | |
| 90% | JDD | TWK | | | | |
| 90% | JDD | TWKCP | | | | |
| 90% | JDD | JIS | | | | |
| 90% | JDD | BJIS | | | | |
| 90% | S/OPN | CON | | | | |
| 90% | S/OPN | RAND | | | | |
| 90% | S/OPN | TWK | | | | |
| 90% | S/OPN | TWKCP | | | | |
| 90% | S/OPN | JIS | | | | |
| 90% | S/OPN | BJIS | | | | |
| 90% | IR | CON | | | | |
| 90% | IR | RAND | | | | |
| 90% | IR | TWK | | | | |
| 90% | IR | TWKCP | | | | |
| 90% | IR | JIS | | | | |
| 90% | IR | BJIS | | | | |
| 90% | LF | CON | | | | |
| 90% | LF | RAND | | | | |
| 90% | LF | TWK | | | | |
| 90% | LF | TWKCP | | | | |
| 90% | LF | JIS | | | | |
| 90% | LF | BJIS | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|-----|-------|--|--|--|--|
| ระบบไม่สมดุล | JDD | CON | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | JDD | RAND | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | JDD | TWK | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | JDD | TWKCP | | | | |

| | | | | | | |
|--------------|-------|-------|--|--|--|--|
| ระบบไม่สมดุล | JDD | JIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | JDD | BJIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | CON | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | RAND | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | TWK | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | TWKCP | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | JIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | S/OPN | BJIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | CON | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | RAND | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | TWK | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | TWKCP | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | JIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | IR | BJIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | CON | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | RAND | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | TWK | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | TWKCP | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | JIS | | | | |
| ระบบไม่สมดุล | LF | BJIS | | | | |

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นายปัทสน์ สุริยธนาภาส เกิดเมื่อวันที่ 25 พฤศจิกายน พ.ศ. 2524 ที่จังหวัดนครราชสีมา สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิต (เกียรตินิยมอันดับสอง) จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี ในปีการศึกษา 2545 หลังจากนั้น ได้ศึกษาต่อในหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย