บทที่ 6

การผ่อนผันข้อจำกัดและการวิเคราะห์ความไว

6.1 บทนำ

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่พิจารณานี้มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต และช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ในบทนี้จะเป็นการพิจารณาในกรณีที่ข้อจำกัดด้านใดด้านหนึ่งถูกผ่อนผัน และในกรณีที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้ง 2 ด้าน เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของข้อจำกัดที่มีในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลกระทบของค่าความกระชั้นในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน โดยได้ทำการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนค่าความกระชั้นในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน รายละเอียดในบทที่ 6 นี้ได้แบ่งเป็นประเด็นต่าง ๆ ได้แก่ การผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา การผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ การผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและช่องใส่เครื่องมือ และการวิเคราะห์ความไวของค่าความกระชั้นของเวลาส่งมอบ

6.2 แนวคิดในการทดลอง

ในบทที่ 5 ได้กล่าวถึงการทดลองในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดในด้านเวลาในการผลิต และช่องใส่เครื่องมือ แต่ลักษณะระบบผลิตแบบยืดหยุ่นนั้นมีความหลากหลายมาก บางระบบอาจเป็นระบบที่มีอุปกรณ์ขนส่งเครื่องมืออัตโนมัติ ซึ่งสามารถเปลี่ยนเครื่องมือได้ระหว่างกะการทำงานทำให้ไม่มีข้อจำกัดในด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร หรือบางระบบสามารถทำการผลิตได้ตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาในการผลิต ซึ่งในบทที่ 6 นี้จะได้ทำการศึกษาผลกระทบของข้อจำกัดที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ โดยแบ่งกรณีศึกษาออกเป็น 3 กรณี คือ

- การผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา
- การผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ
- การผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาและช่องใส่เครื่องมือ

การศึกษาผลกระทบของข้อจำกัดของระบบที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบ ได้ทำการทดลองภายใต้สภาวะที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับของปัจจัยต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

6.2.1 วิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน

- กำหนดตามภาระงานทั้งหมด (Total Work, TWK)
- กำหนดตามจำนวนการดำเนินงาน (Number Of Operation, NOP)
- กำหนดให้มีค่าคงที่ (Constant, CON)
- กำหนดแบบสุ่ม (Random, RDM)

6.2.2 การจัดลำดับความสำคัญของชิ้นงาน

พิจารณาปัจจัย 2 ปัจจัยในการจัดลำดับความสำคัญของชิ้นงานก่อนที่จะทำการโหลดงานให้เครื่องจักร ได้แก

- ความสำคัญของ Essential Processing Time (ETR Priority) มี 2 ระดับ
  - High Level ให้ความสำคัญกับงานที่มีค่า Essential Processing Time ที่มาก
  - Low Level ให้ความสำคัญกับงานที่มีค่า Essential Processing Time ที่น้อย
- ความสำคัญของ Optional Processing Time (OTP Priority) มี 2 ระดับ
  - High Level ให้ความสำคัญกับงานที่มีค่า Optional Processing Time ที่มาก
  - Low Level ให้ความสำคัญกับงานที่มีค่า Optional Processing Time ที่น้อย

6.2.3 ฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงาน

- ฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001)
- ฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุง

6.2.4 กฎที่ใช้ในการจัดสรรงานซ้ำ

- FIFO ให้ความสำคัญกับงานที่ถูกโหลดให้กับเครื่องจักรก่อน
- SPT ให้ความสำคัญกับงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยที่สุด
- EDD ให้ความสำคัญกับงานที่มีกำหนดเวลาส่งมอบงานที่กระชั้นที่สุด

6.2.5 กฎที่ใช้ในการจัดตารางงาน

- SPT ให้ความสำคัญกับงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยที่สุด
- EDD ให้ความสำคัญกับงานที่มีกำหนดเวลาส่งมอบงานที่กระชั้นที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

- MWKR ให้ความสำคัญกับงานที่มีภาระงานเหลือมากที่สุด
- LWKR ให้ความสำคัญกับงานที่มีภาระงานเหลือน้อยที่สุด

นอกจากที่จะมีการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของข้อจำกัดของระบบแล้ว งานวิจัยนี้ยังได้มีการศึกษาผลกระทบของความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานที่มีต่อประสิทธิภาพของระบบอีกด้วย ซึ่งเป็นการศึกษาว่าหากระบบมีความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนไป จะทำให้กฎการจ่ายงานที่ดีที่สุดเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ โดยจะอธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 6.6

6.3 การผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

ปัญหาอย่างหนึ่งของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น คือ การที่มีบางกะที่ไม่ได้มีการใช้แรงงานคนซึ่งจะทำให้ไม่สามารถโหลดหรือปลดชิ้นงาน เปลี่ยนตัวจับยึดชิ้นงาน หรือเปลี่ยนเครื่องมือภายในกะนั้น ๆ ได้ (Grieco et al., 2001) แต่ในกรณีที่ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีการใช้อุปกรณ์อัตโนมัติในกิจกรรมต่าง ๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว ทำให้เป็นระบบที่สามารถทำการผลิตได้ 24 ชั่วโมง ทำให้ปัญหาในด้านข้อจำกัดของเวลาผลิตหมดไป แต่เป็นระบบที่มีข้อจำกัดด้านจำนวนช่องใส่เครื่องมือที่จำกัด ดังนั้นจึงได้มีการวิเคราะห์ในกรณีที่ระบบผลิตสามารถผลิตได้ 24 ชั่วโมง เพื่อศึกษาว่าหากไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาแล้ว ระดับของแต่ละปัจจัยที่นำมาพิจารณาระดับใดที่จะทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด ปัจจัยต่าง ๆ ที่นำมาพิจารณานี้ ได้แก่ วิธีการในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน การจัดลำดับความสำคัญของงานก่อนที่จะโหลดงานให้เครื่องจักร ฮิวริสติกที่นำมาใช้ในการโหลดงาน กฎที่ใช้ในการจัดสรรงานซ้ำ และกฎการจ่ายงาน ซึ่งผลที่ได้จากการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาที่มีในการผลิต โดยพิจารณาแยกตามตัววัดประสิทธิภาพของระบบ มีรายละเอียดดังนี้

6.3.1 พิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

ผลการทดลองในกรณีที่ระบบไม่ข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต และพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งแสดงในรูปที่ 6.2 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.2 พบว่า ปัจจัยหลักมีผลต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ เนื่องจาก การจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาในการผลิตของเครื่องจักรมีไม่เพียงพอต่อภาระงานที่ต้องทำการผลิต แต่ระบบที่พิจารณานี้เป็นระบบที่ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้น จึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำเกิดขึ้น กฎในการจัดสรรงานซ้ำจึงไม่มีผลกระทบต่อระบบ

พิจารณาปัจจัยด้านวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่าวิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ TWK มีผลทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำที่สุด เนื่องจาก ในการจัดลำดับความสำคัญของงานก่อนโหลดงานนั้นมีการตัดสินใจจากงานที่มีกำหนดเวลา

ส่งมอบที่กระชั้นที่สุดจะมีโอกาสที่ถูกเลือกมาผลิตก่อน ซึ่งการกำหนดส่งมอบงานแบบ TWK นั้น จะกำหนดให้ชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยมีกำหนดเวลาส่งมอบที่กระชั้นที่สุด จึงทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำที่สุดด้วย ในทางตรงกันข้าม การกำหนดเวลาส่งมอบแบบสุ่มทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบสูงที่สุด เนื่องจากเป็นการกำหนดเวลาส่งมอบที่ไม่ได้คำนึงถึงเวลาในการผลิต ดังนั้น ชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยอาจจะเป็นชิ้นงานที่มีเวลาส่งมอบที่นานที่สุด ทำให้ชิ้นงานนั้นมีโอกาสถูกผลิตน้อย จึงต้องรอให้ชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตมากกว่าผลิตเสร็จจึงจะสามารถถูกผลิตได้ เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบจึงมีระยะเวลานาน

พิจารณาปัจจัยในด้าน ETR Priority พบว่างานที่มีค่า Essential Processing Time มากนั้นจะมีโอกาสในการถูกเลือกผลิตก่อน เนื่องจาก ระบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา และการผลิต Essential Operation นั้นเป็นการดำเนินงานที่ไม่สามารถเลือกเครื่องจักรอื่นมาผลิตได้ การที่เลือกงานที่มี Essential Processing Time มาทำก่อนนั้นจะทำให้เครื่องจักรที่ผลิต Essential Operation เหลือเวลาสำหรับผลิต Optional Operation ของงานอื่น ๆ ได้มาก นั่นคือ งานที่เหลือสามารถมีเส้นทางในการผลิตได้หลากหลายมากขึ้น โอกาสที่เส้นทางในการผลิตที่ทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยจึงมีมากขึ้นตามไปด้วย

พิจารณาปัจจัยด้าน OTR Priority พบว่างานที่มีค่า Optional Processing Time น้อย มีโอกาสในการถูกเลือกโหลดให้กับเครื่องจักรก่อน เนื่องจาก Optional Operation เป็นการดำเนินงานที่มีเครื่องจักรให้เลือกผลิตหลายตัว จะทำให้เครื่องจักรเหลือเวลาสำหรับผลิตการดำเนินงานอื่น ๆ ได้มาก ซึ่งการดำเนินงานอื่น ๆ ที่เป็น Optional Operation ยังสามารถเลือกผลิตจากเครื่องจักรตัวอื่นได้ จึงทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบนั้นมีค่าน้อย จากการพิจารณาค่า F-Ratio และกราฟในรูปที่ 6.2 จะเห็นว่าปัจจัยด้าน OTR Priority นั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมากที่สุด

พิจารณาปัจจัยด้านฮิวริสติกในการโหลดงาน พบว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงทำให้ค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยกว่าการใช้ฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) เนื่องจาก ฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงนี้ได้มีการปรับปรุงประสิทธิภาพในการเลือกเส้นทางการผลิต และคำนึงถึงภาระงานทั้งหมดของเครื่องจักรทั้งที่เป็น Essential Operation และ Optional Operation

พิจารณาปัจจัยด้านกฎการจ่ายงาน พบว่า กฎ SPT เป็นกฎที่ทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด เนื่องจาก โดยทั่วไปแล้วกฎ SPT ที่ใช้ในระบบที่ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลานั้นเป็นกฎที่ดีที่สุดสำหรับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ (Baker, 1943)

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for TransFlo, using Adjusted SS for Tests
```

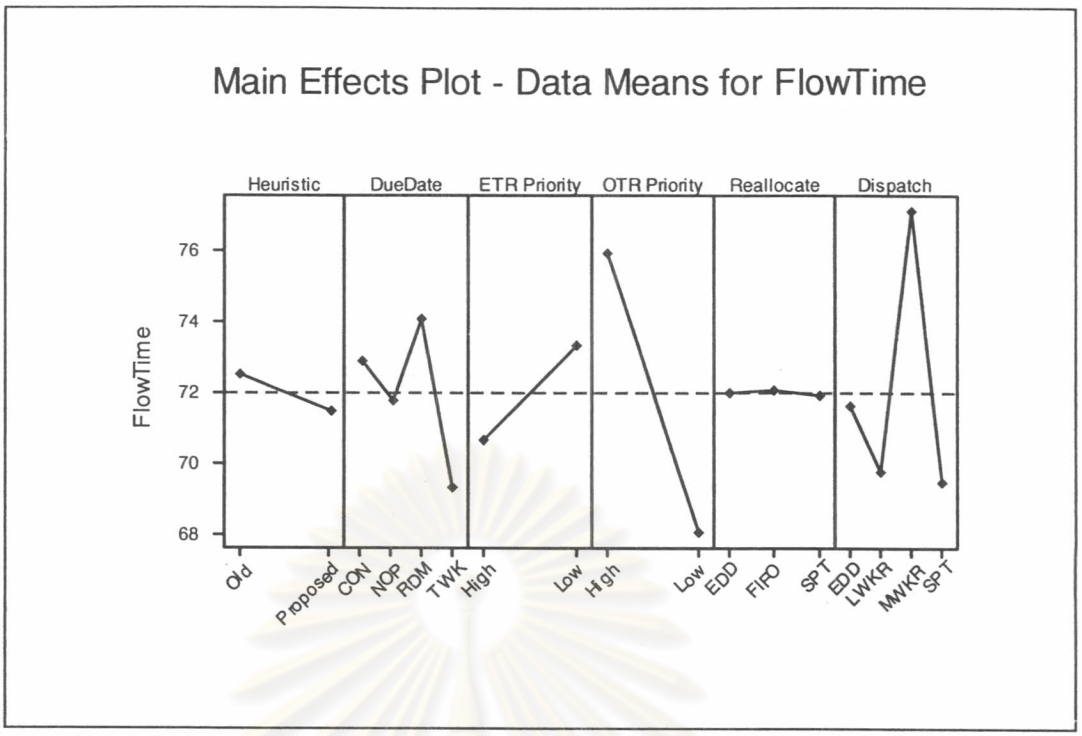
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	9043289	9043289	1004810	1.1E+04	0.000
Heuristi	1	5049	5049	5049	56.09	0.000
DueDate	3	60153	60153	20051	222.75	0.000
ETR Prio	1	33456	33456	33456	371.67	0.000
OTR Prio	1	294059	294059	294059	3266.73	0.000
Realloca	2	1085	1085	122	1.02	0.112
Dispatch	3	181465	181465	60488	671.97	0.000
Heuristi*DueDate	3	2745	2745	915	10.16	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	311	311	311	3.45	0.063
Heuristi*OTR Prio	1	4133	4133	4133	45.91	0.000
Heuristi*Realloca	2	1135	1135	567	6.30	0.092
Heuristi*Dispatch	3	13	13	4	0.05	0.986
DueDate*ETR Prio	3	425	425	142	1.57	0.193
DueDate*OTR Prio	3	20194	20194	6731	74.78	0.000
DueDate*Realloca	6	896	896	149	1.66	0.127
DueDate*Dispatch	9	14935	14935	1659	18.43	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	1047	1047	1047	11.63	0.001
ETR Prio*Realloca	2	647	647	323	1.29	0.128
ETR Prio*Dispatch	3	125	125	42	0.46	0.708
OTR Prio*Realloca	2	339	339	170	1.89	0.152
OTR Prio*Dispatch	3	1450	1450	483	5.37	0.001
Realloca*Dispatch	6	81	81	13	0.15	0.989
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	3520	3520	1173	13.03	0.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	8088	8088	2696	29.95	0.000
Heuristi*DueDate*Realloca	6	1287	1287	215	2.38	0.027
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	288	288	32	0.36	0.956
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	2253	2253	2253	25.03	0.000
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	1800	1800	900	10.00	0.000
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	129	129	43	0.48	0.698
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	62	62	31	0.34	0.709
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	854	854	285	3.16	0.023
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	51	51	9	0.10	0.997
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	3382	3382	1127	12.52	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	288	288	48	0.53	0.784
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	380	380	42	0.47	0.896
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	103	103	17	0.19	0.979
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	903	903	100	1.11	0.348
DueDate*Realloca*Dispatch	18	134	134	7	0.08	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	171	171	85	0.95	0.387

รูปที่ 6.1 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา เมื่อพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	9	9	3	0.03	0.991
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	15	15	3	0.03	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	0	0	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	3875	3875	1292	14.35	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	797	797	133	1.48	0.182
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	198	198	22	0.24	0.988
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	291	291	48	0.54	0.780
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	410	410	46	0.51	0.872
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	94	94	5	0.06	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	351	351	176	1.95	0.142
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	49	49	16	0.18	0.909
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	8	8	1	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	18	18	3	0.03	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	115	115	19	0.21	0.973
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	294	294	33	0.36	0.953
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	11	11	1	0.01	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	17	17	1	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	0	0	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Pric *OTR Prio*Realloca	6	206	206	34	0.38	0.891
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	122	122	14	0.15	0.998
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	14	14	1	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	24	24	1	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	4	4	1	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	4	4	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	15	15	1	0.01	1.000
Error	18808	1692936	1692936	90		
Total	19200	11390597				

รูปที่ 6.1 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา



รูปที่ 6.2 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

6.3.2 พิจารณาด้านเวลาสาย

ผลการทดลองในกรณีที่ระบบไม่ข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต และพิจารณาด้านเวลาสายของชิ้นงาน เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งแสดงในรูปที่ 6.3 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.4 พบว่า ปัจจัยหลักมีผลต่อเวลาสายของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้นปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ เนื่องจากการจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาในการผลิตของเครื่องจักรมีไม่เพียงพอต่อภาระงานที่ต้องทำการผลิต แต่ระบบที่พิจารณานี้เป็นระบบที่ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้น จึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำเกิดขึ้น กฎในการจัดสรรงานซ้ำจึงไม่มีผลกระทบต่อระบบ

พิจารณาปัจจัยหลักที่มีผลต่อเวลาสายของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าปัจจัยในด้านวิธีการในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ETR Priority OTR Priority ฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงานให้เครื่องจักร นั้นให้ผลเช่นเดียวกันกับการพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ แต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาสายของชิ้นงานมากที่สุดนั้น คือ ปัจจัยในด้านวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน และเมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงาน พบว่ากฎที่ทำให้เวลาสายของงานน้อยที่สุดนั้น คือ กฎ EDD เนื่องจาก เป็นการเลือกชิ้นงานที่มีกำหนดส่งมอบงานที่กระชั้นที่สุดมาทำก่อน

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for Lateness, using Adjusted SS for Tests
```

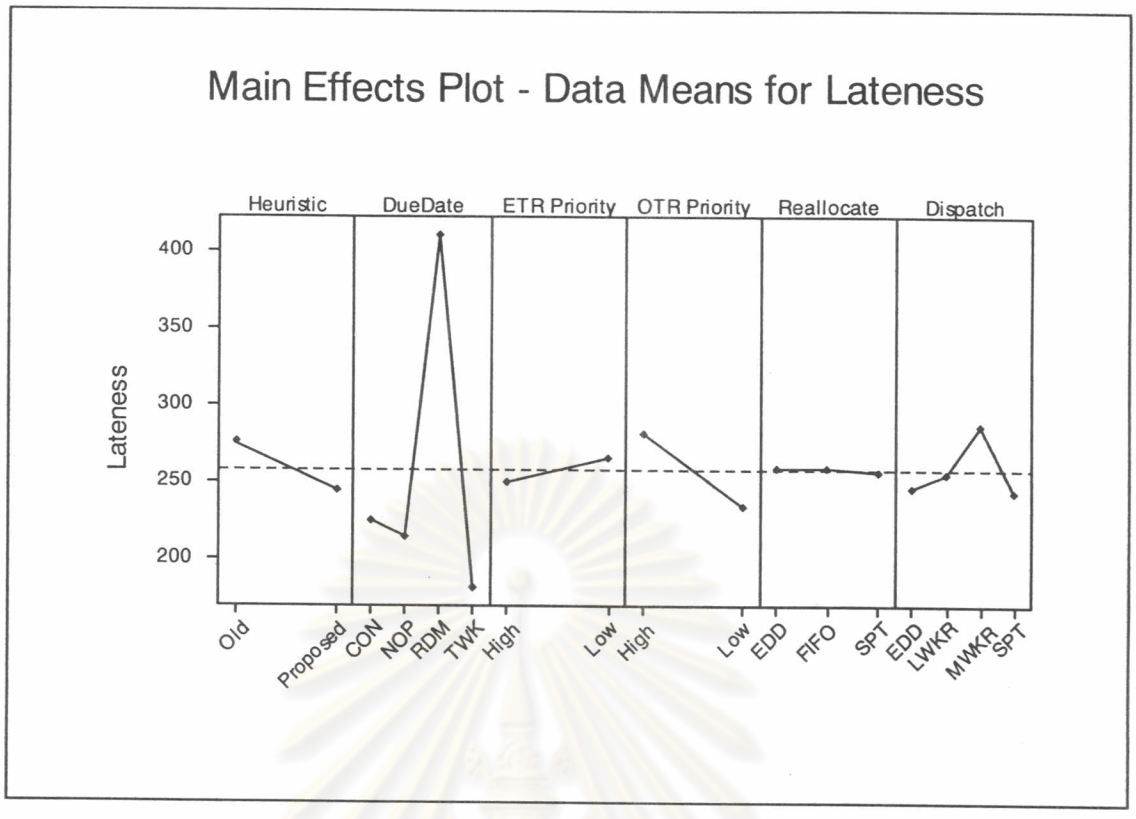
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	113679749	113679749	12631083	2951.86	0.000
Heuristi	1	226706	226706	226706	52.98	0.000
DueDate	3	154631866	154631866	51543955	1.2E+04	0.000
ETR Prio	1	1150402	1150402	1150402	268.85	0.000
OTR Prio	1	10291643	10291643	10291643	2405.13	0.000
Realloca	2	35700	35700	17850	1.27	0.105
Dispatch	3	5826821	5826821	1942274	453.91	0.000
Heuristi*DueDate	3	89049	89049	29683	6.94	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	29424	29424	29424	6.88	0.009
Heuristi*OTR Prio	1	107636	107636	107636	25.15	0.000
Heuristi*Realloca	2	35564	35564	17782	1.16	0.096
Heuristi*Dispatch	3	1241	1241	414	0.10	0.962
DueDate*ETR Prio	3	21129	21129	7043	1.65	0.176
DueDate*OTR Prio	3	836136	836136	278712	65.13	0.000
DueDate*Realloca	6	28950	28950	4825	1.13	0.343
DueDate*Dispatch	9	455322	455322	50591	11.82	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	28694	28694	28694	6.71	0.010
ETR Prio*Realloca	2	21974	21974	10987	2.57	0.077
ETR Prio*Dispatch	3	3229	3229	1076	0.25	0.860
OTR Prio*Realloca	2	12250	12250	6125	1.43	0.239
OTR Prio*Dispatch	3	30416	30416	10139	2.37	0.069
Realloca*Dispatch	6	2658	2658	443	0.10	0.996
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	126067	126067	42022	9.82	0.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	268710	268710	89570	20.93	0.000
Heuristi*DueDate*Realloca	6	40929	40929	6822	1.59	0.144
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	9718	9718	1080	0.25	0.986
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	111569	111569	111569	26.07	0.000
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	58546	58546	29273	6.84	0.001
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	2863	2863	954	0.22	0.880
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	2422	2422	1211	0.28	0.753
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	27303	27303	9101	2.13	0.095
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	1649	1649	275	0.06	0.999
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	131477	131477	43826	10.24	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	9120	9120	1520	0.36	0.907
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	14118	14118	1569	0.37	0.951
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	3800	3800	633	0.15	0.989
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	24601	24601	2733	0.64	0.765
DueDate*Realloca*Dispatch	18	4552	4552	253	0.06	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	6302	6302	3151	0.74	0.479

รูปที่ 6.3 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	246	246	82	0.02	0.996
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	520	520	87	0.02	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	21	21	3	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	135357	135357	45119	10.54	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	24704	24704	4117	0.96	0.449
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	5953	5953	661	0.15	0.998
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	10293	10293	1715	0.40	0.879
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	13257	13257	1473	0.34	0.960
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	3264	3264	181	0.04	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	12523	12523	6261	1.46	0.232
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	1083	1083	361	0.08	0.969
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	214	214	36	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	567	567	95	0.02	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	4219	4219	703	0.16	0.986
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	10132	10132	1126	0.26	0.984
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	347	347	19	0.00	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	573	573	32	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	18	18	3	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	7354	7354	1226	0.29	0.944
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	2848	2848	316	0.07	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	501	501	28	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	803	803	45	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	139	139	23	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	131	131	7	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	503	503	28	0.01	1.000
Error	18808	80475711	80475711	4279		
Total	19200	369101583				

รูปที่ 6.3 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา



รูปที่ 6.4 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

6.3.3 พิจารณาด้านเวลาล่าช้า

ผลการทดลองในกรณีที่ระบบไม่ข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต และพิจารณาด้านเวลาล่าช้าของชิ้นงาน เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งแสดงในรูปที่ 6.5 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.6 พบว่า ปัจจัยหลักมีผลต่อเวลาที่ล่าช้าของชิ้นงานมีนัยสำคัญ ยกเว้นปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ เนื่องจาก การจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาในการผลิตของเครื่องจักรมีไม่เพียงพอต่อภาระงานที่ต้องทำการผลิต แต่ระบบที่พิจารณานี้เป็นระบบที่ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้น จึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำเกิดขึ้น กฎในการจัดสรรงานซ้ำจึงไม่มีผลกระทบต่อระบบ

พิจารณาปัจจัยหลักที่มีผลต่อเวลาล่าช้าของงานอย่างมีนัยสำคัญ พบว่าปัจจัยในด้านวิธีการในการกำหนดเวลาส่งมอบงาน ETR Priority OTR Priority ฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงานให้เครื่องจักร และกฎในการจ่ายงานนั้นให้ผลเช่นเดียวกันกับการพิจารณาด้านเวลาสายของชิ้นงาน แต่ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาสายของชิ้นงานมากที่สุดนั้น คือ ปัจจัยในด้านวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน และเมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงาน พบว่ากฎที่ทำให้เวลาสายของงานน้อยที่สุดนั้น คือ กฎ EDD และ SPT

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for Tardines, using Adjusted SS for Tests
```

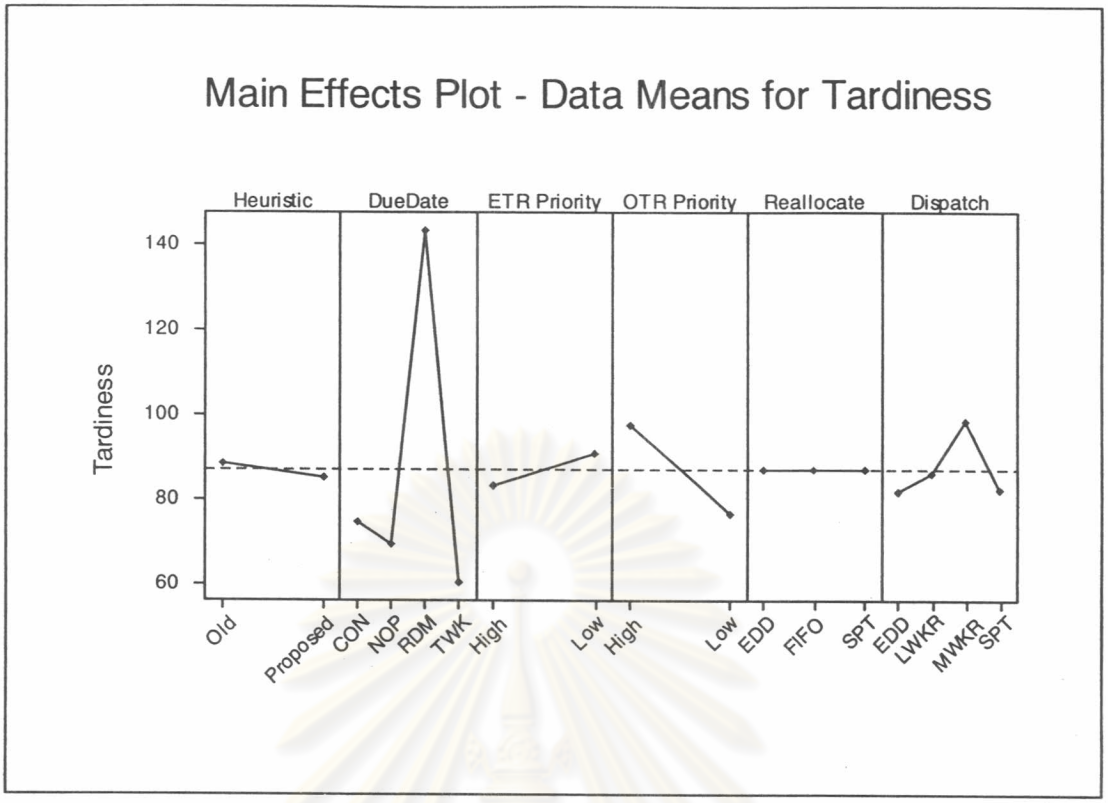
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	33957198	33957198	3773022	5106.62	0.000
Heuristi	1	53604	53604	53604	72.55	0.000
DueDate	3	20841151	20841151	6947050	9402.52	0.000
ETR Prio	1	295039	295039	295039	399.32	0.000
OTR Prio	1	2123867	2123867	2123867	2874.56	0.000
Realloca	2	8737	8737	1411	1.91	0.113
Dispatch	3	867018	867018	289006	391.16	0.000
Heuristi*DueDate	3	24131	24131	8044	10.89	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	918	918	918	1.24	0.265
Heuristi*OTR Prio	1	25283	25283	25283	34.22	0.000
Heuristi*Realloca	2	6712	6712	3356	4.54	0.081
Heuristi*Dispatch	3	1037	1037	346	0.47	0.705
DueDate*ETR Prio	3	14748	14748	4916	6.65	0.000
DueDate*OTR Prio	3	230762	230762	76921	104.11	0.000
DueDate*Realloca	6	9730	9730	1622	2.19	0.070
DueDate*Dispatch	9	85782	85782	9531	12.90	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	9909	9909	9909	13.41	0.000
ETR Prio*Realloca	2	2448	2448	1224	1.66	0.191
ETR Prio*Dispatch	3	1655	1655	552	0.75	0.524
OTR Prio*Realloca	2	3990	3990	1995	2.70	0.067
OTR Prio*Dispatch	3	10866	10866	3622	4.90	0.002
Realloca*Dispatch	6	459	459	76	0.10	0.996
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	16807	16807	5602	7.58	0.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	57570	57570	19190	25.97	0.000
Heuristi*DueDate*Realloca	6	7005	7005	1167	1.58	0.148
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	1871	1871	208	0.28	0.980
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	8897	8897	8897	12.04	0.001
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	11113	11113	5556	7.52	0.001
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	1534	1534	511	0.69	0.557
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	300	300	150	0.20	0.817
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	4064	4064	1355	1.83	0.139
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	383	383	64	0.09	0.998
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	21446	21446	7149	9.68	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	1862	1862	310	0.42	0.866
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	1838	1838	204	0.28	0.981
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	2786	2786	464	0.63	0.708
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	6655	6655	739	1.00	0.437
DueDate*Realloca*Dispatch	18	819	819	45	0.06	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	1329	1329	665	0.90	0.407

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	208	208	69	0.09	0.964
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	64	64	11	0.01	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	15	15	2	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	34202	34202	11401	15.43	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	4618	4618	770	1.04	0.396
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	1240	1240	138	0.19	0.996
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	1865	1865	311	0.42	0.866
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	2344	2344	260	0.35	0.957
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	378	378	21	0.03	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	1476	1476	738	1.00	0.368
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	474	474	158	0.21	0.887
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	39	39	6	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	95	95	16	0.02	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	992	992	165	0.22	0.969
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	1459	1459	162	0.22	0.992
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	55	55	3	0.00	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	79	79	4	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	13	13	2	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	688	688	115	0.16	0.988
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	1239	1239	138	0.19	0.996
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	90	90	5	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	167	167	9	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	41	41	7	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	41	41	2	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	138	138	8	0.01	1.000
Error	18808	13895545	13895545	739		
Total	19200	72668882				

รูปที่ 6.5 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา



รูปที่ 6.6 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

6.3.4 พิจารณาสภาวะที่ดีที่สุด

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดในด้านเวลาในการผลิต โดยทำการใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน ผลจากการเปรียบเทียบสามารถระบุสภาวะที่ดีที่สุดได้ดังแสดงในตารางที่ 6.1 ถึง 6.3

ตารางที่ 6.1 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	SPT
2	Proposed	TWK	High	Low	SPT	SPT
3	Proposed	TWK	High	Low	EDD	SPT

ตารางที่ 6.2 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาสาย ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	SPT
2	Proposed	TWK	High	Low	SPT	SPT
3	Proposed	TWK	High	Low	EDD	SPT
4	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	EDD
5	Proposed	TWK	High	Low	SPT	EDD
6	Proposed	TWK	High	Low	EDD	EDD

ตารางที่ 6.3 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาล่าช้า ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	SPT
2	Proposed	TWK	High	Low	SPT	SPT
3	Proposed	TWK	High	Low	EDD	SPT
4	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	EDD
5	Proposed	TWK	High	Low	SPT	EDD
6	Proposed	TWK	High	Low	EDD	EDD

6.4 การผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีนโยบายในการบริหารเครื่องมือแบบ Flexible Tool Management หรือ Hybrid Tool Management ดังที่ได้อธิบายรายละเอียดไว้ในหัวข้อที่ 3.2 นั้น เป็นระบบที่มีการเปลี่ยนเครื่องมือระหว่างที่ทำการผลิต โดยที่ระบบจะประกอบด้วยอุปกรณ์ขนส่งเครื่องมืออัตโนมัติ ทำให้ปัญหาในด้านจำนวนช่องใส่เครื่องมือที่มีจำนวนจำกัดนั้นหมดไป ดังนั้น ในหัวข้อนี้จะเป็นการพิจารณาผลที่เกิดขึ้นจากการผ่อนผันข้อจำกัดในด้านช่องใส่เครื่องมือของระบบ โดยที่ยังคงมีข้อจำกัดในด้านเวลาในการผลิตอยู่ เพื่อศึกษาว่าระดับของปัจจัยใดที่ทำให้ประสิทธิภาพของระบบดีที่สุด โดยทำการพิจารณาประสิทธิภาพของระบบ คือ เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน

6.4.1 พิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

ผลการทดลองในกรณีที่ระบบไม่ข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ และพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อวิเคราะห์ความแปรปรวนซึ่งแสดงในรูปที่ 6.8 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.7 พบว่า ปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผล

ต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบอย่างมีนัยสำคัญ และผลที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะคล้ายกับผลการทดลองของระบบที่มีข้อจำกัดทั้งในด้านเวลาในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร แสดงให้เห็นว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือส่งผลกระทบต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ น้อยกว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต

พิจารณาปัจจัยด้านวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบแบ TWK นั้นยังคงเป็นวิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบงานที่ดีที่สุดสำหรับเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และเนื่องจากระบบมีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิตจึงทำให้เวลาที่เลือกงานเพื่อจะโหลดให้เครื่องจักรนั้น จำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเวลาที่เหลืออยู่ด้วย ซึ่งการให้ความสำคัญกับงานที่จะนำมาโหลดจึงให้ความสำคัญกับงานที่มี ETR Priority อยู่ในระดับต่ำ และงานที่มี OTR Priority อยู่ในระดับต่ำเช่นกัน เพื่อที่บนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะได้เหลือเวลาในการผลิตงานอื่น ๆ ได้มาก สำหรับปัจจัยด้านฮิวริสติกในการโหลดงานนั้นพบว่า ฮิวติกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) ในระบบที่มีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิตนั้นพบว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำจะมีผลต่อระบบอย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งเมื่อพิจารณารูปที่ 6.8 และค่า F-Ratio จากรูปที่ 6.7 แล้วจะพบว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำนั้นเป็นกฎที่ส่งผลกระทบต่อค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมากที่สุด โดยที่กฎ SPT เป็นกฎที่ดีที่สุด และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานในการจัดตารางงาน พบว่า กฎที่ดีที่สุดที่ทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุดนั้น คือกฎ MWKR เนื่องจากระบบที่พิจารณานี้มีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต ดังนั้น การเลือกงานที่มีค่าภาระงานที่เหลือมากที่สุดมาผลิตก่อน จะทำให้โอกาสที่ชิ้นงานจะถูกตัดออกเนื่องจากไม่สามารถผลิตในกะการทำงานนั้นได้มีน้อยลง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for TransFlo, using Adjusted SS for Tests
```

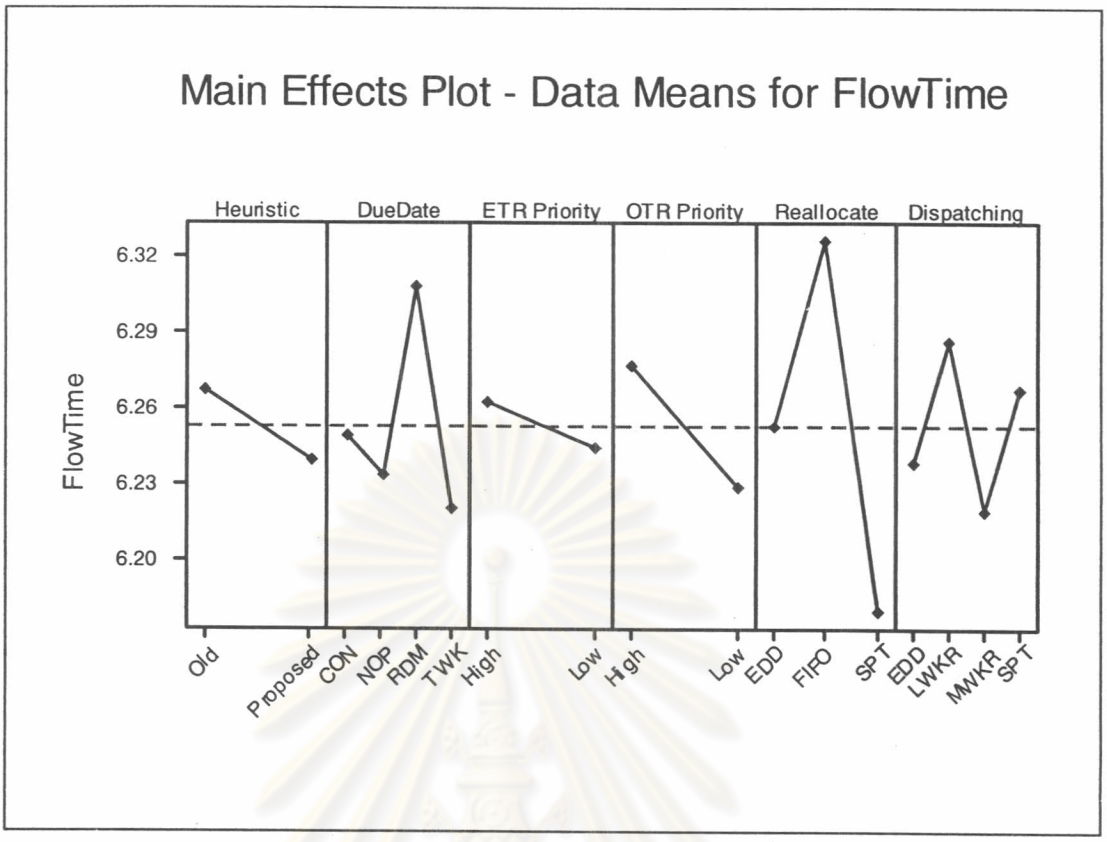
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	4041.864	4041.864	449.096	1.7E+04	0.000
Heuristi	1	3.636	3.636	3.636	136.03	0.000
DueDate	3	21.162	21.162	7.054	263.93	0.000
ETR Prio	1	1.580	1.580	1.580	59.10	0.000
OTR Prio	1	11.161	11.161	11.161	417.59	0.000
Realloca	2	67.992	67.992	33.996	1272.00	0.000
Dispatch	3	12.896	12.896	4.299	160.84	0.000
Heuristi*DueDate	3	0.741	0.741	0.247	9.24	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	0.089	0.089	0.089	3.35	0.067
Heuristi*OTR Prio	1	0.000	0.000	0.000	0.01	0.911
Heuristi*Realloca	2	0.076	0.076	0.038	1.42	0.243
Heuristi*Dispatch	3	1.004	1.004	0.335	12.52	0.000
DueDate*ETR Prio	3	0.115	0.115	0.038	1.43	0.232
DueDate*OTR Prio	3	5.031	5.031	1.677	62.74	0.000
DueDate*Realloca	6	16.227	16.227	2.704	101.19	0.000
DueDate*Dispatch	9	8.976	8.976	0.997	37.32	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	0.453	0.453	0.453	16.94	0.000
ETR Prio*Realloca	2	1.079	1.079	0.539	20.18	0.000
ETR Prio*Dispatch	3	0.045	0.045	0.015	0.57	0.637
OTR Prio*Realloca	2	22.147	22.147	11.074	414.33	0.000
OTR Prio*Dispatch	3	0.083	0.083	0.028	1.03	0.377
Realloca*Dispatch	6	0.921	0.921	0.153	5.74	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	0.325	0.325	0.108	4.06	0.007
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	0.246	0.246	0.082	3.07	0.027
Heuristi*DueDate*Realloca	6	0.841	0.841	0.140	5.24	0.000
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	0.386	0.386	0.043	1.60	0.107
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	0.005	0.005	0.005	0.20	0.659
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	0.302	0.302	0.151	5.65	0.004
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	0.104	0.104	0.035	1.30	0.274
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	0.130	0.130	0.065	2.43	0.088
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	0.031	0.031	0.010	0.38	0.764
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	0.129	0.129	0.022	0.81	0.565
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	0.650	0.650	0.217	8.10	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	0.826	0.826	0.138	5.15	0.000
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	0.075	0.075	0.008	0.31	0.971
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	2.851	2.851	0.475	17.78	0.000
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	0.116	0.116	0.013	0.48	0.889
DueDate*Realloca*Dispatch	18	1.936	1.936	0.108	4.02	0.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	1.109	1.109	0.555	20.75	0.000

รูปที่ 6.7 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	0.035	0.035	0.012	0.44	0.725
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	0.040	0.040	0.007	0.25	0.961
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	0.238	0.238	0.040	1.48	0.179
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	0.137	0.137	0.046	1.70	0.164
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	0.858	0.858	0.143	5.35	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	0.074	0.074	0.008	0.31	0.972
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	0.127	0.127	0.021	0.79	0.575
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	0.053	0.053	0.006	0.22	0.992
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	0.159	0.159	0.009	0.33	0.996
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	0.032	0.032	0.016	0.60	0.550
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	0.017	0.017	0.006	0.22	0.885
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	0.083	0.083	0.014	0.52	0.793
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	0.073	0.073	0.012	0.46	0.842
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	0.554	0.554	0.092	3.45	0.002
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	0.027	0.027	0.003	0.11	0.999
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	0.128	0.128	0.007	0.27	0.999
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	0.080	0.080	0.004	0.17	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	0.087	0.087	0.014	0.54	0.776
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	0.391	0.391	0.065	2.44	0.023
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	0.026	0.026	0.003	0.11	0.999
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	0.061	0.061	0.003	0.13	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	0.075	0.075	0.004	0.16	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	0.044	0.044	0.007	0.27	0.949
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	0.065	0.065	0.004	0.14	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	0.049	0.049	0.003	0.10	1.000
Error	18808	502.646	502.646	0.027		
Total	19200	4733.497				

รูปที่ 6.7 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านซ่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.8 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.4.2 พิจารณาด้านเวลาสาย

ผลการทดลองระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ และพิจารณาตัววัดประสิทธิภาพในด้านเวลาสายของชิ้นงาน ทำการวิเคราะห์ความแปรปรวนดังแสดงในรูปที่ 6.9 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.10 พบว่าปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาสายของชิ้นงานและผลที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะคล้ายกับผลการทดลองของระบบที่มีข้อจำกัดทั้งในด้านเวลาในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร แสดงให้เห็นว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือส่งผลกระทบต่อเวลาสายน้อยกว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต

พิจารณาปัจจัยด้านวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบแบบ TWK นั้นยังคงเป็นวิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบงานที่ดีที่สุดสำหรับเวลาสายของชิ้นงาน และจากค่า F-Ratio ในรูปที่ 6.9 และกราฟในรูปที่ 6.10 จะเห็นว่าปัจจัยในด้านวิธีกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาสายของชิ้นงานมากที่สุด และเนื่องจากระบบมีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิตจึงทำให้เวลาที่เลือกงานเพื่อจะโหลดให้เครื่องจักรนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเวลาที่เหลืออยู่ด้วย ซึ่งการให้ความสำคัญ

กับงานที่จะนำมาโหลดจึงให้ความสำคัญกับงานที่มี ETR Priority อยู่ในระดับต่ำ และงานที่มี OTR Priority อยู่ในระดับต่ำเช่นกัน เพื่อที่บนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะได้เหลือเวลาในการผลิตงานอื่น ๆ ได้มาก และการเลือกชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยจะทำให้ในกะการทำงานแรกของการโหลดงานมีโอกาสที่จะผลิตชิ้นงานได้มากส่งผลให้โอกาสที่งานสายจะมีน้อย สำหรับปัจจัยด้านฮิวริสติกในการโหลดงานนั้นพบว่า ฮิวติกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้เวลาสายน้อยกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) พิจารณาปัจจัยด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำพบว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำกฎ SPT เป็นกฎที่ดีที่สุดของเวลาสายของชิ้นงาน แต่จะเห็นว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำระหว่างกฎ SPT และ กฎ EDD ส่งผลให้เกิดความแตกต่างด้านเวลาสายของชิ้นงาน น้อยกว่าความแตกต่างด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานในการจัดตารางงาน พบว่า กฎที่ดีที่สุดที่ทำให้เวลาสายน้อยที่สุดนั้น คือกฎ EDD เนื่องจากเป็นกฎที่มีการให้ความสำคัญกับงานที่มีกำหนดเวลาส่งมอบงานที่กระชั้นที่สุดเป็นงานที่ถูกผลิตก่อน เวลาสายของงานในระบบจึงมีเวลาสายน้อยที่สุด

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for TransLat, using Adjusted SS for Tests
```

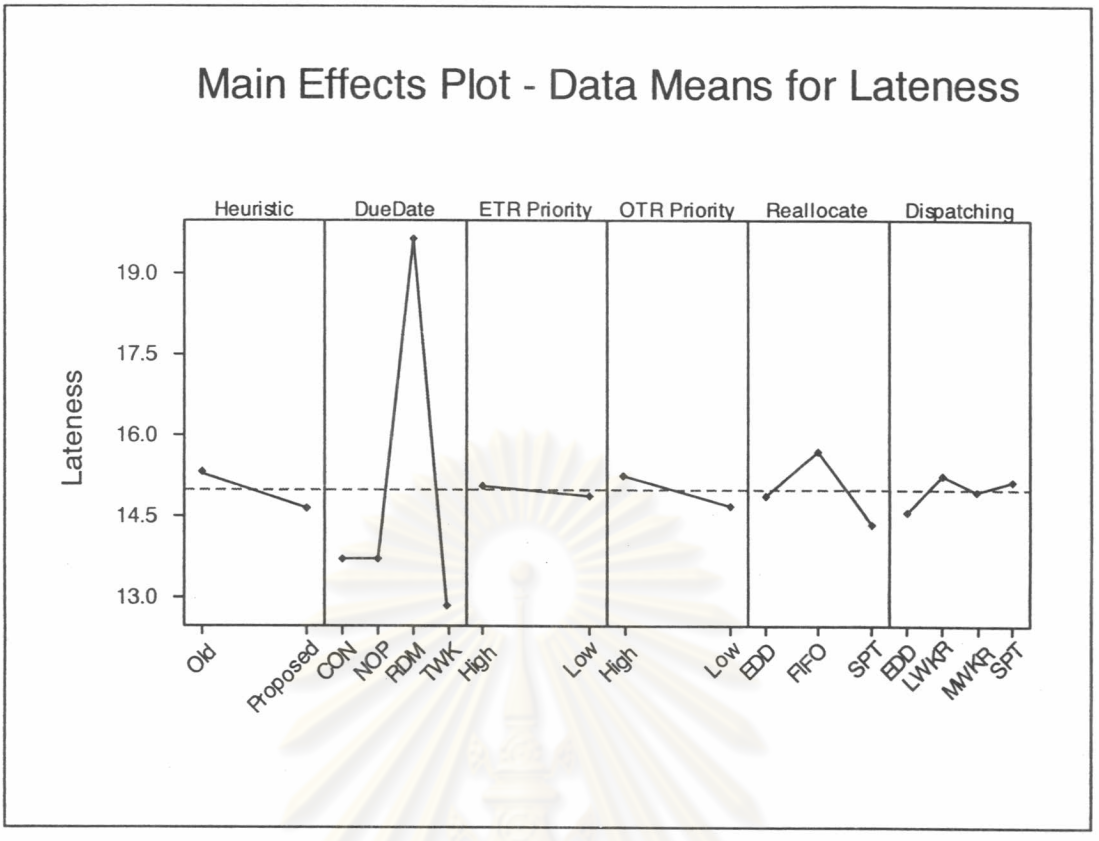
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	140606.6	140606.6	15623.0	3665.92	0.000
Heuristi	1	253.1	253.1	253.1	59.39	0.000
DueDate	3	142106.6	142106.6	47368.9	1.1E+04	0.000
ETR Prio	1	221.1	221.1	221.1	51.89	0.000
OTR Prio	1	1518.2	1518.2	1518.2	356.25	0.000
Realloca	2	6016.0	6016.0	3008.0	705.83	0.000
Dispatch	3	1284.1	1284.1	428.0	100.44	0.000
Heuristi*DueDate	3	173.3	173.3	57.8	13.56	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	11.1	11.1	11.1	2.61	0.106
Heuristi*OTR Prio	1	0.4	0.4	0.4	0.09	0.758
Heuristi*Realloca	2	20.7	20.7	10.4	2.43	0.088
Heuristi*Dispatch	3	68.8	68.8	22.9	5.38	0.001
DueDate*ETR Prio	3	33.0	33.0	11.0	2.58	0.052
DueDate*OTR Prio	3	558.5	558.5	186.2	43.68	0.000
DueDate*Realloca	6	1294.9	1294.9	215.8	50.64	0.000
DueDate*Dispatch	9	1101.2	1101.2	122.4	28.71	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	103.1	103.1	103.1	24.19	0.000
ETR Prio*Realloca	2	134.0	134.0	67.0	15.72	0.000
ETR Prio*Dispatch	3	2.7	2.7	0.9	0.21	0.886
OTR Prio*Realloca	2	2645.0	2645.0	1322.5	310.32	0.000
OTR Prio*Dispatch	3	11.5	11.5	3.8	0.90	0.440
Realloca*Dispatch	6	156.5	156.5	26.1	6.12	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	43.4	43.4	14.5	3.40	0.017
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	22.8	22.8	7.6	1.78	0.148
Heuristi*DueDate*Realloca	6	122.9	122.9	20.5	4.81	0.000
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	44.6	44.6	5.0	1.16	0.314
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	5.1	5.1	5.1	1.19	0.274
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	38.0	38.0	19.0	4.46	0.012
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	6.0	6.0	2.0	0.47	0.701
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	13.4	13.4	6.7	1.57	0.209
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	4.3	4.3	1.4	0.34	0.798
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	16.0	16.0	2.7	0.63	0.709
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	108.3	108.3	36.1	8.47	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	59.4	59.4	9.9	2.32	0.030
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	7.5	7.5	0.8	0.19	0.995
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	424.0	424.0	70.7	16.58	0.000
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	18.0	18.0	2.0	0.47	0.896
DueDate*Realloca*Dispatch	18	241.0	241.0	13.4	3.14	0.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	179.6	179.6	89.8	21.07	0.000

รูปที่ 6.9 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสายเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	4.1	4.1	1.4	0.32	0.812
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	6.2	6.2	1.0	0.24	0.962
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	35.6	35.6	5.9	1.39	0.214
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	11.9	11.9	4.0	0.93	0.427
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	99.4	99.4	16.6	3.89	0.001
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	8.5	8.5	0.9	0.22	0.992
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	13.6	13.6	2.3	0.53	0.786
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	9.2	9.2	1.0	0.24	0.989
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	31.4	31.4	1.7	0.41	0.987
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	12.3	12.3	6.2	1.45	0.235
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	1.9	1.9	0.6	0.15	0.929
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	12.2	12.2	2.0	0.48	0.826
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	12.4	12.4	2.1	0.49	0.819
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	155.4	155.4	25.9	6.08	0.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	7.1	7.1	0.8	0.18	0.996
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	23.3	23.3	1.3	0.30	0.998
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	14.4	14.4	0.8	0.19	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	13.7	13.7	2.3	0.53	0.783
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	47.0	47.0	7.8	1.84	0.087
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	4.8	4.8	0.5	0.13	0.999
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	9.7	9.7	0.5	0.13	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	13.0	13.0	0.7	0.17	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	5.5	5.5	0.9	0.21	0.973
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	8.4	8.4	0.5	0.11	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	9.1	9.1	0.5	0.12	1.000
Error	18808	80149.3	80149.3	4.3		
Total	19200	380394.1				

รูปที่ 6.9 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสายเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.10 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.4.3 พิจารณาด้านเวลาล่าช้า

ผลการทดลองระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ โดยพิจารณาเวลาล่าช้าของชิ้นงานนั้น ได้นำผลการทดลองมาวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 6.11 และพิจารณาผลกระทบของปัจจัยหลักดังแสดงในรูปที่ 6.12 ปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญต่อเวลาล่าช้าของชิ้นงานและผลที่เกิดขึ้นนั้นมีลักษณะคล้ายกับผลการทดลองของระบบที่มีข้อจำกัดทั้งในด้านเวลาในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร แสดงให้เห็นว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือส่งผลกระทบต่อเวลาสายน้อยกว่าการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต

พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักดังแสดงในรูปที่ 6.12 จะพบว่าการกำหนดเวลาส่งมอบแบบ TWK นั้นยังคงเป็นวิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบงานที่ดีที่สุดสำหรับเวลาล่าช้าของชิ้นงาน และจากค่า F-Ratio ในรูปที่ 6.11 และกราฟในรูปที่ 6.12 จะเห็นว่าปัจจัยในด้านวิธีกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อเวลาสายของชิ้นงานมากที่สุด ทำให้เห็นว่าเมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ ตัววัดประสิทธิภาพที่เกี่ยวข้องกับเวลาส่งมอบงาน ทั้งเวลาสายและเวลาล่าช้าของชิ้นงาน

ได้รับผลกระทบจากวิธีการกำหนดเวลาส่งมอบงานมากกว่าผลกระทบจากปัจจัยอื่น ๆ และเนื่องจากระบบมีข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิตจึงทำให้เวลาที่เลือกงานเพื่อจะโหลดให้เครื่องจักรนั้นจำเป็นที่จะต้องคำนึงถึงเวลาที่เหลืออยู่ด้วย ซึ่งการให้ความสำคัญกับงานที่จะนำมาโหลดจึงให้ความสำคัญกับงานที่มี ETR Priority อยู่ในระดับต่ำ และงานที่มี OTR Priority อยู่ในระดับต่ำเช่นกัน เพื่อที่บนเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะได้เหลือเวลาในการผลิตงานอื่น ๆ ได้มาก และการเลือกชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตน้อยจะทำให้ในกะการทำงานแรกของการโหลดงานมีโอกาสที่จะผลิตชิ้นงานได้มากส่งผลให้โอกาสที่งานล่าช้าจะมีน้อย สำหรับปัจจัยด้านฮิวริสติกในการโหลดงานนั้นพบว่า ฮิวดิกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้เวลาล่าช้าน้อยกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) พิจารณาปัจจัยด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำพบว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำกฎ SPT เป็นกฎที่ดีที่สุดของเวลาล่าช้าของชิ้นงาน แต่จะเห็นว่ากฎในการจัดสรรงานซ้ำระหว่างกฎ SPT และ กฎ EDD ส่งผลให้เกิดความแตกต่างด้านเวลาล่าช้าของชิ้นงาน น้อยกว่าความแตกต่างด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ แต่มีลักษณะใกล้เคียงกับการพิจารณาในด้านเวลาสายของชิ้นงาน และเมื่อพิจารณาปัจจัยด้านกฎการจ่ายงานในการจัดตารางงาน พบว่า กฎที่ดีที่สุดที่ทำให้เวลาสายน้อยที่สุดนั้น คือกฎ EDD เนื่องจากเป็นกฎที่มีการให้ความสำคัญกับงานที่มีกำหนดเวลาส่งมอบงานที่กระชั้นที่สุดเป็นงานที่ถูกผลิตก่อน และความแตกต่างของเวลาล่าช้าระหว่างการใช้กฎ EDD และกฎ MWKR นั้นมีความแตกต่างกันมากกว่าการพิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for TransTar, using Adjusted SS for Tests
```

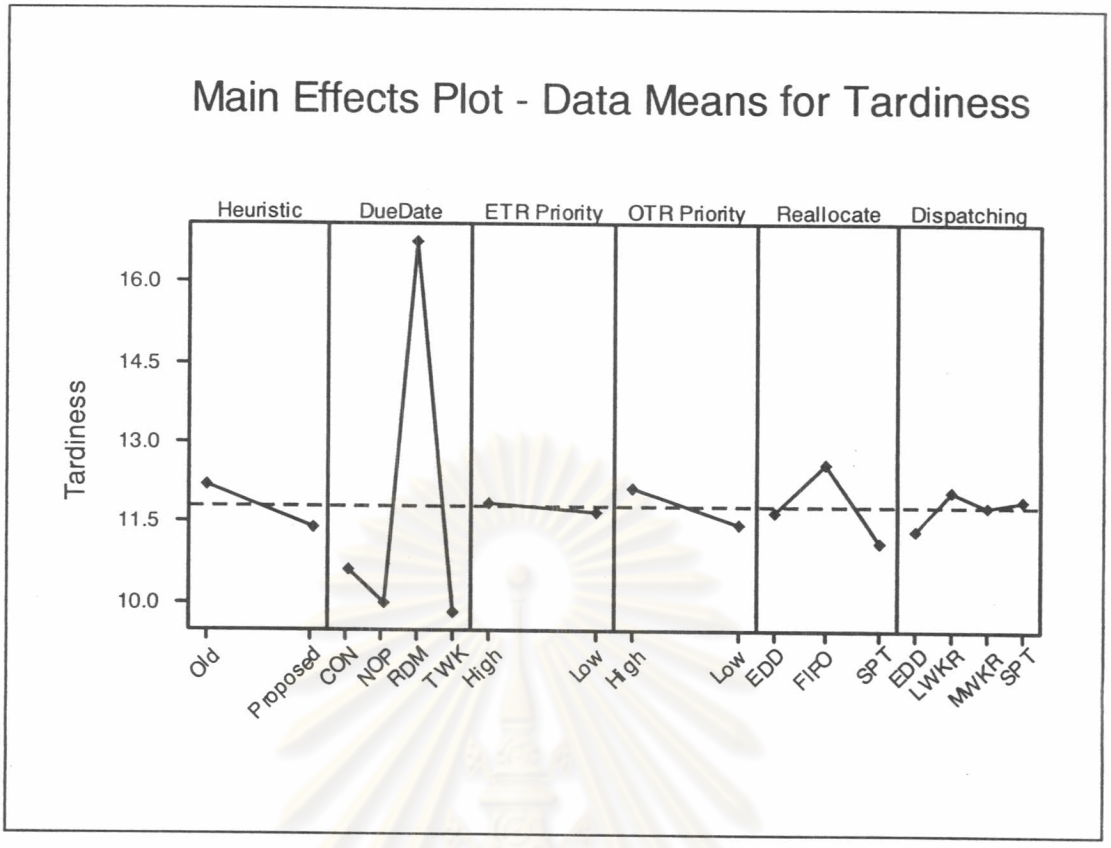
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	222074.1	222074.1	24674.9	6017.01	0.000
Heuristi	1	440.8	440.8	440.8	107.50	0.000
DueDate	3	158323.2	158323 2	52774.4	1.3E+04	0.000
ETR Prio	1	147.3	147.3	147.3	35.92	0.000
OTR Prio	1	2320.8	2320.8	2320.8	565.93	0.000
Realloca	2	7250.5	7250.5	3625.2	884.02	0.000
Dispatch	3	1327.5	1327.5	442.5	107.90	0.000
Heuristi*DueDate	3	143.0	143.0	47.7	11.62	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	34.0	34.0	34.0	8.30	0.004
Heuristi*OTR Prio	1	1.7	1.7	1.7	0.41	0.524
Heuristi*Realloca	2	1.7	1.7	0.9	0.21	0.808
Heuristi*Dispatch	3	151.7	151.7	50.6	12.33	0.000
DueDate*ETR Prio	3	7.8	7.8	2.6	0.64	0.591
DueDate*OTR Prio	3	1114.6	1114.6	371.5	90.60	0.000
DueDate*Realloca	6	2090.2	2090.2	348.4	84.95	0.000
DueDate*Dispatch	9	1064.6	1064.6	118.3	28.84	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	30.3	30.3	30.3	7.39	0.007
ETR Prio*Realloca	2	147.2	147.2	73.6	17.95	0.000
ETR Prio*Dispatch	3	10.1	10.1	3.4	0.82	0.480
OTR Prio*Realloca	2	3941.3	3941.3	1970.6	480.54	0.000
OTR Prio*Dispatch	3	9.6	9.6	3.2	0.78	0.507
Realloca*Dispatch	6	170.5	170.5	28.4	6.93	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	68.9	68.9	23.0	5.60	0.001
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	34.8	34.8	11.6	2.83	0.037
Heuristi*DueDate*Realloca	6	68.1	68.1	11.4	2.77	0.011
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	77.8	77.8	8.6	2.11	0.026
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	3.9	3.9	3.9	0.96	0.328
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	42.6	42.6	21.3	5.20	0.006
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	14.9	14.9	5.0	1.21	0.304
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	18.7	18.7	9.4	2.28	0.102
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	3.3	3.3	1.1	0.26	0.851
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	19.5	19.5	3.2	0.79	0.576
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	53.2	53.2	17.7	4.32	0.005
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	123.7	123.7	20.6	5.03	0.000
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	13.7	13.7	1.5	0.37	0.949
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	980.4	980.4	163.4	39.85	0.000
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	22.2	22.2	2.5	0.60	0.796
DueDate*Realloca*Dispatch	18	284.4	284.4	15.8	3.85	0.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	114.3	114.3	57.1	13.94	0.000

รูปที่ 6.11 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	2.0	2.0	0.7	0.16	0.924
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	8.4	8.4	1.4	0.34	0.915
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	25.0	25.0	4.2	1.02	0.412
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	15.6	15.6	5.2	1.27	0.282
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	121.0	121.0	20.2	4.92	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	11.6	11.6	1.3	0.31	0.971
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	13.2	13.2	2.2	0.54	0.781
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	10.2	10.2	1.1	0.28	0.981
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	27.9	27.9	1.5	0.38	0.992
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	9.1	9.1	4.5	1.11	0.331
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	3.7	3.7	1.2	0.30	0.824
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	10.9	10.9	1.8	0.44	0.850
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	15.4	15.4	2.6	0.63	0.710
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	72.5	72.5	12.1	2.95	0.007
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	4.2	4.2	0.5	0.11	0.999
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	27.2	27.2	1.5	0.37	0.993
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	12.3	12.3	0.7	0.17	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	15.9	15.9	2.7	0.65	0.693
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	65.3	65.3	10.9	2.65	0.014
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	5.1	5.1	0.6	0.14	0.999
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	14.3	14.3	0.8	0.19	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	13.9	13.9	0.8	0.19	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	7.0	7.0	1.2	0.28	0.945
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	10.6	10.6	0.6	0.14	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	12.1	12.1	0.7	0.16	1.000
Error	18808	77124.8	77124.8	4.1		
Total	19200	480406.3				

รูปที่ 6.11(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.12 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.4.4 พิจารณาสภาวะที่ดีที่สุดของระบบ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดในด้านช่องใส่เครื่องมือ โดยทำการใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน ผลจากการเปรียบเทียบสามารถระบุสภาวะที่ดีที่สุดได้ดังแสดงในตารางที่ 6.4 ถึง 6.6

ตารางที่ 6.4 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	MWKR
2	Proposed	NOP	Low	Low	SPT	MWKR

ตารางที่ 6.5 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาสาย ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	EDD
2	Proposed	TWK	High	Low	SPT	EDD

ตารางที่ 6.6 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาล่าช้า ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	EDD
2	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	EDD
3	Proposed	NOP	High	Low	SPT	EDD
4	Proposed	NOP	High	Low	SPT	EDD

6.5 การผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและช่องใส่เครื่องมือ

ดังที่ได้กล่าวมาแล้วในหัวข้อที่ 6.3 และ 3.4 จะเห็นว่าลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาในการผลิต จะส่งผลกระทบต่อกฎ และระดับของปัจจัยที่นำมาใช้ในระบบเพื่อที่จะได้ค่าประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุด ในหัวข้อนี้จะได้วิเคราะห์ระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งทางด้านเวลาที่มีในการผลิต และด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ซึ่งเป็นระบบที่มีทั้งการใช้อุปกรณ์อัตโนมัติในการโหลดหรือปลดชิ้นงาน การเปลี่ยนตัวจับยึดชิ้นงาน ทำให้ระบบสามารถเป็นระบบที่ผลิตได้ 24 ชั่วโมง ถึงแม้ว่าจะมีกะการทำงานที่ไม่ได้ใช้คน และเป็นระบบที่มีการใช้อุปกรณ์ขนส่งเครื่องมืออัตโนมัติที่สามารถเปลี่ยนเครื่องมือในช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักรระหว่างที่ทำการผลิตได้ และลักษณะของระบบที่พิจารณาอยู่นั้นมีสมมติฐานว่าจำนวนเครื่องมือสำรอง และทรัพยากรอื่น ๆ เช่น พาเล็ต ตัวจับยึดชิ้นงาน AGV นั้นมีจำนวนมากเพียงพอ ซึ่งการศึกษาระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาในการผลิตและด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักรนั้นได้ทำการศึกษาประสิทธิภาพของระบบ 3 ตัวคือ เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน

6.5.1 พิจารณาด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ

ผลการทดลองในการศึกษาระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาที่มีในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเราทำการศึกษาระบบที่ไม่มีข้อจำกัด ซึ่งการพิจารณาเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบนั้นพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 6.13 และการวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหลัก ดัง

แสดงในรูปที่ 6.14 พบว่าปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผลต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น ปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ และปัจจัยในด้าน ETR Priority เมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านกฎการจัดสรรงานซ้ำ พบว่า การจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาที่มีในการผลิตไม่เพียงพอที่จะผลิตภาระงานทั้งหมดที่ถูกโหลดให้กับเครื่องจักรได้ แต่ระบบที่ทำการพิจารณานี้ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้นจึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำ ส่งผลให้กฎในการจัดสรรงานซ้ำไม่มีผลกระทบต่อระบบ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้าน ETR Priority พบว่า ระบบที่พิจารณาไม่มีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเผื่อเวลาและช่องใส่เครื่องมือสำหรับ Essential Operation เพราะ Essential Operation นั้นไม่สามารถเลือกเครื่องจักรในการผลิตได้

พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักด้านวิธีกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่า วิธีกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ TWK ยังคงทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำที่สุด แต่ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนักกับวิธีแบบ NOP พิจารณาด้านการจัดลำดับความสำคัญของงานพบว่า Essential Priority ไม่มีผลต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปัจจัยด้าน OTR Priority นั้นยังคงมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยงานที่มีค่า Optional Processing Time น้อยจะเป็นงานที่มีลำดับในการโหลดงานลำดับแรก ๆ เนื่องจาก Optional Operation เป็นงานที่มีเครื่องจักรให้เลือกผลิต ดังนั้นในการเลือกงานที่มี Optional Operation น้อยเพื่อโหลดให้กับเครื่องจักรจะทำให้เครื่องจักรนั้นเหลือเวลาสำหรับการเป็นทางเลือกของ Optional Operation ของงานที่เหลือได้มาก ส่งผลให้งานอื่น ๆ มีโอกาสที่จะเลือกงานที่มีเวลาในการผลิตได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมีค่าน้อย สำหรับปัจจัยในด้านฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงาน จะเห็นว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้ระบบมีค่าเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบต่ำกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) และกฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบน้อยที่สุด คือ กฎ SPTและเมื่อพิจารณาค่า F-Ratio จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 6.13 และพิจารณาจากผลกระทบของปัจจัยหลักในรูปที่ 6.14 จะเห็นว่าปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงานนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบมากที่สุด

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for MeanFlow, using Adjusted SS for Tests
```

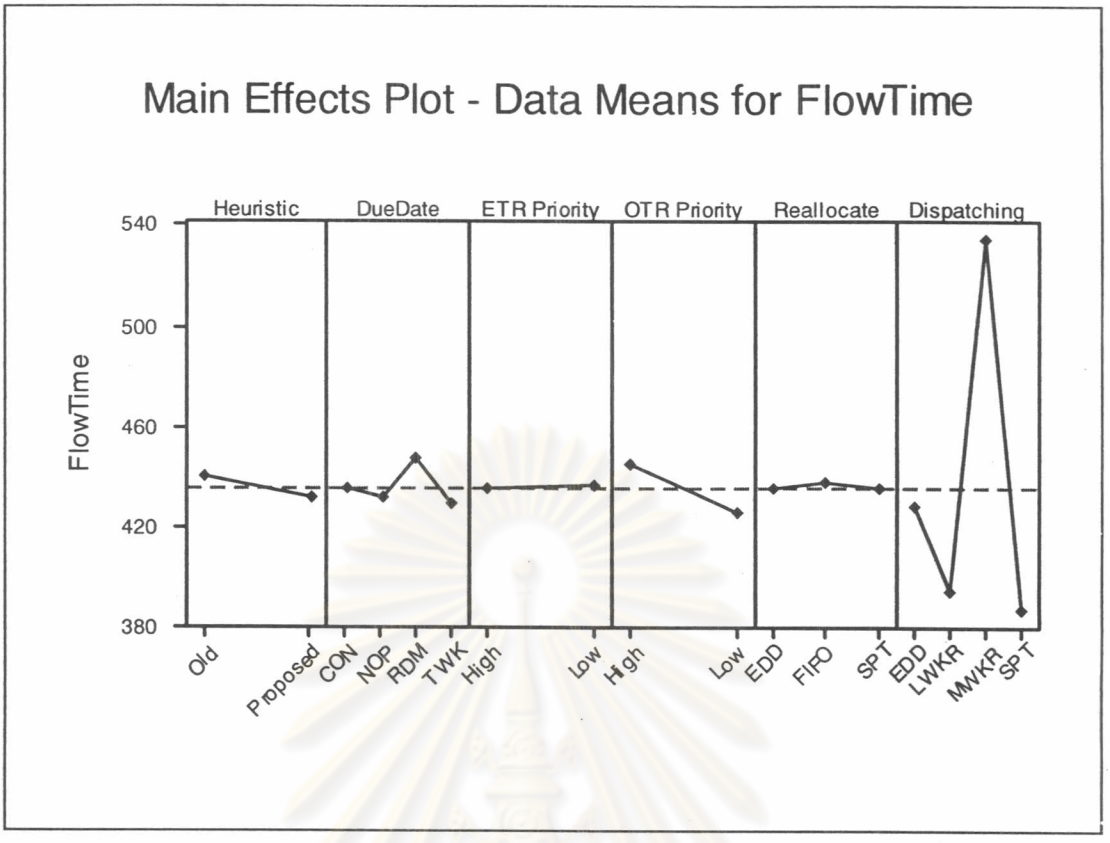
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	318899567	318899567	35433285	5461.23	0.000
Heuristi	1	315770	315770	315770	48.67	0.000
DueDate	3	1018695	1018695	339565	52.34	0.000
ETR Prio	1	10546	10546	10546	1.63	0.202
OTR Prio	1	1767895	1767895	1767895	272.48	0.000
Realloca	2	27598	27598	13799	2.13	0.119
Dispatch	3	66501612	66501612	22167204	3416.57	0.000
Heuristi*DueDate	3	209012	209012	69671	10.74	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	304437	304437	304437	46.92	0.000
Heuristi*OTR Prio	1	1038693	1038693	1038693	160.09	0.000
Heuristi*Realloca	2	25721	25721	12860	1.98	0.138
Heuristi*Dispatch	3	409605	409605	136535	21.04	0.000
DueDate*ETR Prio	3	167979	167979	55993	8.63	0.000
DueDate*OTR Prio	3	306586	306586	102195	15.75	0.000
DueDate*Realloca	6	2266	2266	378	0.06	0.999
DueDate*Dispatch	9	3340622	3340622	371180	57.21	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	1853	1853	1853	0.29	0.593
ETR Prio*Realloca	2	20245	20245	10123	1.56	0.210
ETR Prio*Dispatch	3	83466	83466	27822	4.29	0.005
OTR Prio*Realloca	2	257	257	129	0.02	0.980
OTR Prio*Dispatch	3	15137	15137	5046	0.78	0.506
Realloca*Dispatch	6	2404	2404	401	0.06	0.999
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	54078	54078	18026	2.78	0.040
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	41611	41611	13870	2.14	0.093
Heuristi*DueDate*Realloca	6	2615	2615	436	0.07	0.999
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	228545	228545	25394	3.91	0.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	6558	6558	6558	1.01	0.315
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	18626	18626	9313	1.44	0.238
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	14954	14954	4985	0.77	0.512
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	70	70	35	0.01	0.995
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	766	766	255	0.04	0.990
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	3128	3128	521	0.08	0.998
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	1049488	1049488	349829	53.92	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	1190	1190	198	0.03	1.000
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	16510	16510	1834	0.28	0.980
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	831	831	138	0.02	1.000
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	166807	166807	18534	2.86	0.002
DueDate*Realloca*Dispatch	18	2282	2282	127	0.02	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	35	35	18	0.00	0.997

รูปที่ 6.13 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลา และด้านช่องใส่เครื่องมือ

General Linear Model: FlowTime versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	6242	6242	2081	0.32	0.810
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	303	303	50	0.01	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	377	377	63	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	544740	544740	181580	27.99	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	1050	1050	175	0.03	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	17146	17146	1905	0.29	0.977
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	1128	1128	188	0.03	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	88592	88592	9844	1.52	0.135
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	2040	2040	113	0.02	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	185	185	93	0.01	0.986
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	5494	5494	1831	0.28	0.838
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	364	364	61	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	444	444	74	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	2257	2257	376	0.06	0.999
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	55462	55462	6162	0.95	0.480
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	555	555	31	0.00	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	949	949	53	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	163	163	27	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	1735	1735	289	0.04	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	38076	38076	4231	0.65	0.753
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	372	372	21	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	604	604	34	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	24	24	4	0.00	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	342	342	19	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	251	251	14	0.00	1.000
Error	18808	122022581	122022581	6488		
Total	19200	518869533				

รูปที่ 6.13 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลา และด้านช่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.14 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.5.2 พิจารณาด้านเวลาสาย

ผลการทดลองในการศึกษาระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาที่มีในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเราทำการศึกษาระบบที่ไม่มีข้อจำกัด ซึ่งการพิจารณาเวลาสายของชิ้นงานนั้นพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 6.15 และการวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.16 พบว่าปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผลต่อเวลาสายของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น ปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ และปัจจัยในด้าน ETR Priority เมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านกฎการจัดสรรงานซ้ำ พบว่า การจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาที่มีในการผลิตไม่เพียงพอที่จะผลิตภาระงานทั้งหมดที่ถูกโหลดให้กับเครื่องจักรได้ แต่ระบบที่ทำการพิจารณานี้ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้นจึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำ ส่งผลให้กฎในการจัดสรรงานซ้ำไม่มีผลกระทบต่อระบบ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้าน ETR Priority พบว่า ระบบที่พิจารณาไม่มีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเผื่อเวลาและช่องใส่เครื่องมือสำหรับ Essential Operation เพราะ Essential Operation นั้นไม่สามารถเลือกเครื่องจักรในการผลิตได้

พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักด้านวิธีกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่า วิธีกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ NOP ทำให้เวลาสายของชิ้นงานต่ำที่สุด แต่ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนักกับวิธีแบบ TWK และเมื่อพิจารณาค่า F-Ratio จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 6.15 และพิจารณาจากผลกระทบของปัจจัยหลักในรูปที่ 6.16 จะเห็นว่าปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงานนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาที่สายของชิ้นงานมากที่สุด พิจารณาด้านการจัดลำดับความสำคัญของงานพบว่า Essential Priority ไม่มีผลต่อเวลาที่สายของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปัจจัยด้าน OTR Priority นั้นยังคงมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยงานที่มีค่า Optional Processing Time น้อยจะเป็นงานที่มีลำดับในการโหลดงานลำดับแรก ๆ เนื่องจาก Optional Operation เป็นงานที่มีเครื่องจักรให้เลือกผลิต ดังนั้นในการเลือกงานที่มี Optional Operation น้อยเพื่อโหลดให้กับเครื่องจักรจะทำให้เครื่องจักรนั้นเหลือเวลาสำหรับการเป็นทางเลือกของ Optional Operation ของงานที่เหลือได้มาก ส่งผลให้งานอื่น ๆ มีโอกาสที่จะเลือกงานที่มีเวลาในการผลิตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อสามารถผลิตชิ้นงานได้มากโอกาสที่ชิ้นงานสายจะมีน้อยลง สำหรับปัจจัยในด้านฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงาน จะเห็นว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้ระบบมีค่าเวลาสายของชิ้นงานต่ำกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) และกฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาสายของชิ้นงานน้อยที่สุดคือ กฎ EDD และกฎ SPT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for Transfor, using Adjusted SS for Tests
```

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	3017403	3017403	335267	775.57	0.000
Heuristi	1	10456	10456	10456	24.19	0.000
DueDate	3	21633707	21633707	7211236	1.7E+04	0.000
ETR Prio	1	1061	1061	1061	2.45	0.117
OTR Prio	1	79198	79198	79198	183.21	0.000
Realloca	2	1478	1478	739	1.71	0.181
Dispatch	3	3490379	3490379	1163460	2691.42	0.000
Heuristi*DueDate	3	8644	8644	2881	6.67	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	11571	11571	11571	26.77	0.000
Heuristi*OTR Prio	1	48969	48969	48969	113.28	0.000
Heuristi*Realloca	2	1379	1379	690	1.60	0.203
Heuristi*Dispatch	3	18663	18663	6221	14.39	0.000
DueDate*ETR Prio	3	8549	8549	2850	6.59	0.000
DueDate*OTR Prio	3	16728	16728	5576	12.90	0.000
DueDate*Realloca	6	153	153	25	0.06	0.999
DueDate*Dispatch	9	225099	225099	25011	57.86	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	922	922	922	2.13	0.144
ETR Prio*Realloca	2	1083	1083	541	1.25	0.286
ETR Prio*Dispatch	3	3829	3829	1276	2.95	0.031
OTR Prio*Realloca	2	15	15	7	0.02	0.983
OTR Prio*Dispatch	3	857	857	286	0.66	0.576
Realloca*Dispatch	6	125	125	21	0.05	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	2270	2270	757	1.75	0.154
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	3015	3015	1005	2.32	0.073
Heuristi*DueDate*Realloca	6	176	176	29	0.07	0.999
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	9660	9660	1073	2.48	0.008
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	0	0	0	0.00	0.989
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	998	998	499	1.15	0.315
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	730	730	243	0.56	0.640
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	4	4	2	0.01	0.995
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	19	19	6	0.01	0.998
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	164	164	27	0.06	0.999
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	47378	47378	15793	36.53	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	75	75	12	0.03	1.000
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	1200	1200	133	0.31	0.972
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	49	49	8	0.02	1.000
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	8834	8834	982	2.27	0.015
DueDate*Realloca*Dispatch	18	124	124	7	0.02	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	3	3	1	0.00	0.997

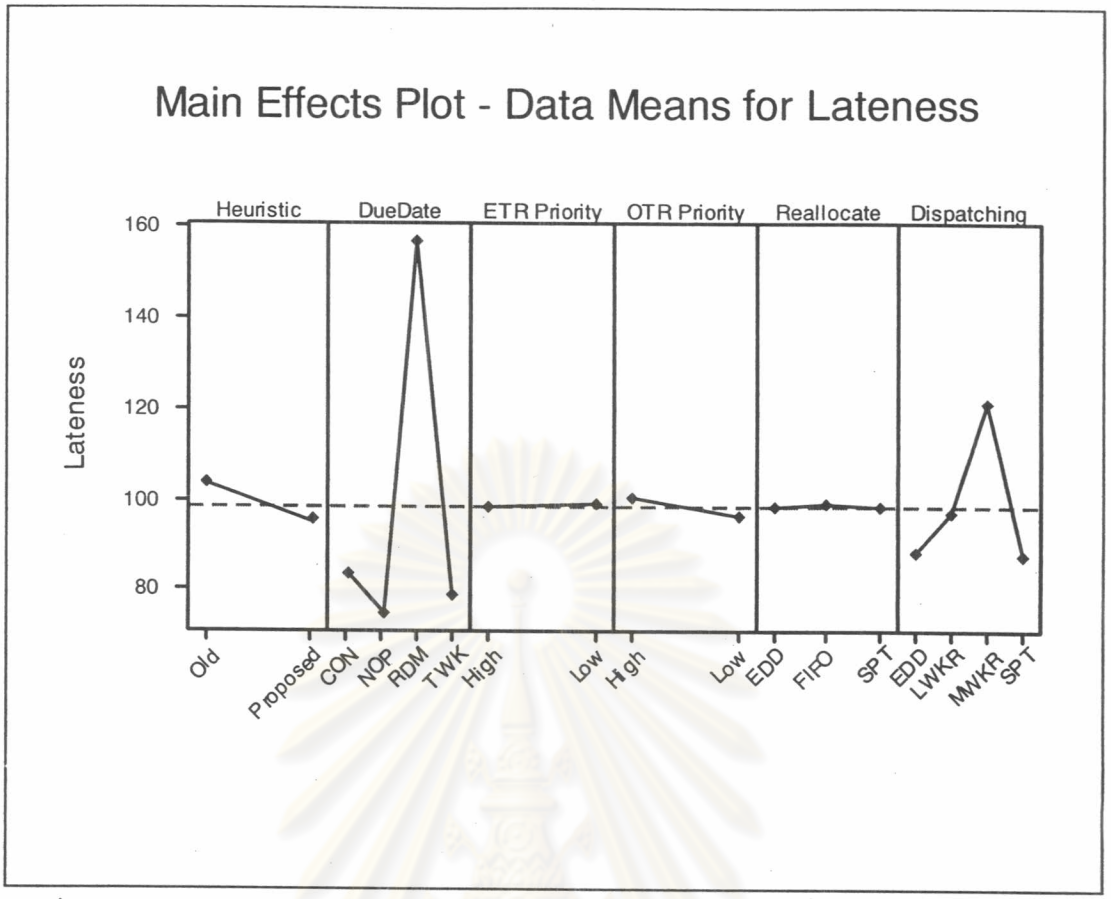
รูปที่ 6.15 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลา และด้านช่องใส่เครื่องมือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Lateness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	713	713	238	0.55	0.648
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	20	20	3	0.01	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	19	19	3	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	25220	25220	8407	19.45	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	69	69	12	0.03	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	876	876	97	0.23	0.991
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	66	66	11	0.03	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	5283	5283	587	1.36	0.201
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	108	108	6	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	11	11	6	0.01	0.987
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	582	582	194	0.45	0.718
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	24	24	4	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	24	24	4	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	131	131	22	0.05	0.999
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	3382	3382	376	0.87	0.552
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	28	28	2	0.00	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	52	52	3	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	8	8	1	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	101	101	17	0.04	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	1951	1951	217	0.50	0.875
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	18	18	1	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	34	34	2	0.00	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	1	1	0	0.00	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	18	18	1	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	11	11	1	0.00	1.000
Error	18808	8129984	8129984	432		
Total	19200	36823702				

รูปที่ 6.15 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.16 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาสาย เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.5.3 พิจารณาด้านเวลาล่าช้า

ผลการทดลองในการศึกษาระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาที่มีในการผลิตและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าเราทำการศึกษาระบบที่ไม่มีข้อจำกัด ซึ่งการพิจารณาเวลาล่าช้าของชิ้นงานนั้นพิจารณาจากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังแสดงในรูปที่ 6.16 และการวิเคราะห์ผลกระทบจากปัจจัยหลัก ดังแสดงในรูปที่ 6.17 พบว่าปัจจัยหลักทุกปัจจัยมีผลต่อเวลาล่าช้าของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ ยกเว้น ปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำ และปัจจัยในด้าน ETR Priority เมื่อพิจารณาปัจจัยในด้านกฎการจัดสรรงานซ้ำ พบว่า การจัดสรรงานซ้ำจะเกิดขึ้นในกรณีที่เวลาที่มีในการผลิตไม่เพียงพอที่จะผลิตภาระงานทั้งหมดที่ถูกโหลดให้กับเครื่องจักรได้ แต่ระบบที่ทำการพิจารณานี้ไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต ดังนั้นจึงไม่มีการจัดสรรงานซ้ำ ส่งผลให้กฎในการจัดสรรงานซ้ำไม่มีผลกระทบต่อระบบ เมื่อพิจารณาปัจจัยด้าน ETR Priority พบว่า ระบบที่พิจารณาไม่มีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ ดังนั้นจึงไม่จำเป็นที่จะต้องเผื่อเวลาและช่องใส่เครื่องมือสำหรับ Essential Operation เพราะ Essential Operation นั้นไม่สามารถเลือกเครื่องจักรในการผลิตได้

พิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักด้านวิธีกำหนดเวลาส่งมอบงาน พบว่า วิธีกำหนดเวลาส่งมอบงานแบบ TWK ทำให้เวลาล่าช้าของชิ้นงานต่ำที่สุด แต่ก็มีความแตกต่างกันไม่มากนักกับวิธีแบบ NOP และเมื่อพิจารณาค่า F-Ratio จากผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนในรูปที่ 6.17 และพิจารณาจากผลกระทบของปัจจัยหลักในรูปที่ 6.18 จะเห็นว่าปัจจัยในด้านกฎการจ่ายงานนั้นเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อเวลาล่าช้าของชิ้นงานมากที่สุด พิจารณาด้านการจัดลำดับความสำคัญของงานพบว่า Essential Priority ไม่มีผลต่อเวลาล่าช้าของชิ้นงานอย่างมีนัยสำคัญ แต่ปัจจัยด้าน OTR Priority นั้นยังคงมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ โดยงานที่มีค่า Optional Processing Time น้อยจะเป็นงานที่มีลำดับในการโหลดงานลำดับแรก ๆ เนื่องจาก Optional Operation เป็นงานที่มีเครื่องจักรให้เลือกผลิต ดังนั้นในการเลือกงานที่มี Optional Operation น้อยเพื่อโหลดให้กับเครื่องจักรจะทำให้เครื่องจักรนั้นเหลือเวลาสำหรับการเป็นทางเลือกของ Optional Operation ของงานที่เหลือได้มาก ส่งผลให้งานอื่น ๆ มีโอกาสที่จะเลือกงานที่มีเวลาในการผลิตได้อย่างรวดเร็ว เมื่อสามารถผลิตชิ้นงานได้มากโอกาสที่ชิ้นงานล่าช้าจะมีน้อยลง สำหรับปัจจัยในด้านฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงาน จะเห็นว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงยังคงทำให้ระบบมีค่าเวลาล่าช้าของชิ้นงานต่ำกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) และกฎการจ่ายงานที่ทำให้เวลาสายของชิ้นงานน้อยที่สุดคือ กฎ EDD และกฎ SPT

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

```
Factor     Type Levels Values
Problem    fixed     10  1  2  3  4  5  6  7  8  9 10
Heuristi   fixed      2 Old      Proposed
DueDate    fixed      4 CON NOP RDM TWK
ETR Prio   fixed      2 High Low
OTR Prio   fixed      2 High Low
Realloca   fixed      3 EDD  FIFO SPT
Dispatch   fixed      4 EDD  LWKR MWKR SPT

Analysis of Variance for Transfor, using Adjusted SS for Tests
```

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Problem	9	217425	217425	24158	1188.55	0.000
Heuristi	1	2292	2292	2292	112.78	0.000
DueDate	3	861294	861294	287098	1.4E+04	0.000
ETR Prio	1	14	14	14	0.70	0.403
OTR Prio	1	4998	4998	4998	245.89	0.000
Realloca	2	136	136	68	2.34	0.096
Dispatch	3	182360	182360	60787	2990.61	0.000
Heuristi*DueDate	3	756	756	252	12.40	0.000
Heuristi*ETR Prio	1	675	675	675	33.23	0.000
Heuristi*OTR Prio	1	3456	3456	3456	170.01	0.000
Heuristi*Realloca	2	119	119	60	2.93	0.053
Heuristi*Dispatch	3	385	385	128	6.31	0.000
DueDate*ETR Prio	3	630	630	210	10.32	0.000
DueDate*OTR Prio	3	1395	1395	465	22.87	0.000
DueDate*Realloca	6	38	38	6	0.31	0.930
DueDate*Dispatch	9	22293	22293	2477	121.86	0.000
ETR Prio*OTR Prio	1	18	18	18	0.89	0.346
ETR Prio*Realloca	2	62	62	31	1.53	0.218
ETR Prio*Dispatch	3	193	193	64	3.17	0.023
OTR Prio*Realloca	2	12	12	6	0.30	0.740
OTR Prio*Dispatch	3	15	15	5	0.25	0.863
Realloca*Dispatch	6	3	3	1	0.03	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio	3	164	164	55	2.69	0.045
Heuristi*DueDate*OTR Prio	3	440	440	147	7.21	0.000
Heuristi*DueDate*Realloca	6	29	29	5	0.24	0.964
Heuristi*DueDate*Dispatch	9	581	581	65	3.18	0.001
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio	1	99	99	99	4.88	0.027
Heuristi*ETR Prio* Realloca	2	51	51	25	1.25	0.286
Heuristi*ETR Prio* Dispatch	3	12	12	4	0.20	0.897
Heuristi*OTR Prio* Realloca	2	12	12	6	0.30	0.743
Heuristi*OTR Prio* Dispatch	3	34	34	11	0.57	0.638
Heuristi*Realloca* Dispatch	6	5	5	1	0.04	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio	3	2139	2139	713	35.08	0.000
DueDate*ETR Prio*Realloca	6	12	12	2	0.10	0.997
DueDate*ETR Prio*Dispatch	9	70	70	8	0.38	0.945
DueDate*OTR Prio*Realloca	6	15	15	2	0.12	0.994
DueDate*OTR Prio*Dispatch	9	437	437	49	2.39	0.011
DueDate*Realloca*Dispatch	18	3	3	0	0.01	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca	2	1	1	0	0.01	0.987

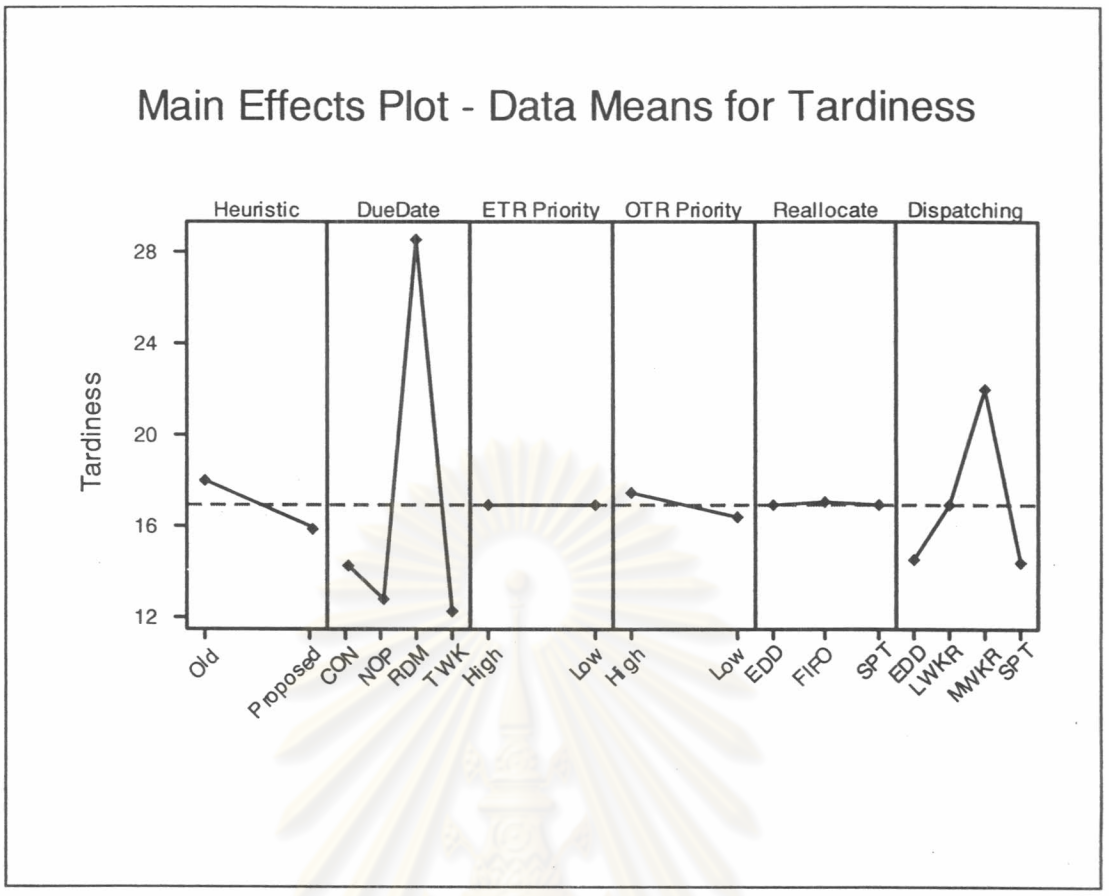
รูปที่ 6.17 ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลา และด้านช่องใส่เครื่องมือ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

General Linear Model: Tardiness versus Problem, Heuristic, ...

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
ETR Prio*OTR Prio* Dispatch	3	26	26	9	0.43	0.733
ETR Prio*Realloca* Dispatch	6	1	1	0	0.01	1.000
OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	1	1	0	0.01	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio	3	1546	1546	515	25.36	0.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca	6	9	9	2	0.08	0.998
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Dispatch	9	129	129	14	0.70	0.705
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca	6	17	17	3	0.14	0.991
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Dispatch	9	300	300	33	1.64	0.098
Heuristi*DueDate*Realloca *Dispatch	18	3	3	0	0.01	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca	2	1	1	0	0.01	0.986
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Dispatch	3	47	47	16	0.77	0.510
Heuristi*ETR Prio* Realloca*Dispatch	6	1	1	0	0.01	1.000
Heuristi*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	1	1	0	0.01	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca	6	2	2	0	0.02	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Dispatch	9	196	196	22	1.07	0.381
DueDate*ETR Prio*Realloca *Dispatch	18	1	1	0	0.00	1.000
DueDate*OTR Prio*Realloca *Dispatch	18	2	2	0	0.00	1.000
ETR Prio*OTR Prio* Realloca*Dispatch	6	0	0	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca	6	2	2	0	0.02	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Dispatch	9	128	128	14	0.70	0.710
Heuristi*DueDate*ETR Prio *Realloca*Dispatch	18	1	1	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	1	1	0	0.00	1.000
Heuristi*ETR Prio* OTR Prio*Realloca* Dispatch	6	0	0	0	0.00	1.000
DueDate*ETR Prio*OTR Prio *Realloca*Dispatch	18	1	1	0	0.00	1.000
Heuristi*DueDate*ETR Prio *OTR Prio*Realloca* Dispatch	18	0	0	0	0.00	1.000
Error	18808	382269	382269	20		
Total	19200	1687356				

รูปที่ 6.17(ต่อ) ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ



รูปที่ 6.18 กราฟแสดงการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักด้านเวลาล่าช้า เมื่อผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ

6.5.4 พิจารณาสภาวะที่ดีที่สุดของระบบ

หัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาสภาวะที่ดีที่สุดสำหรับระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต และช่องใส่เครื่องมือ โดยทำการใช้วิธี Duncan's Multiple Range Test เพื่อเปรียบเทียบว่าปัจจัยใดที่ดีที่สุด โดยทำการทดสอบที่ระดับนัยสำคัญ 5 เปอร์เซ็นต์ และพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน ผลจากการเปรียบเทียบสามารถระบุสภาวะที่ดีที่สุดได้ดังแสดงในตารางที่ 6.7 ถึง 6.9

ตารางที่ 6.7 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาและช่องใส่เครื่องมือ

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	Low	Low	FIFO	SPT
2	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	SPT
3	Proposed	TWK	Low	Low	EDD	SPT
4	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	SPT
5	Proposed	TWK	High	Low	SPT	SPT
6	Proposed	TWK	High	Low	EDD	SPT

ตารางที่ 6.8 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาสาย ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ

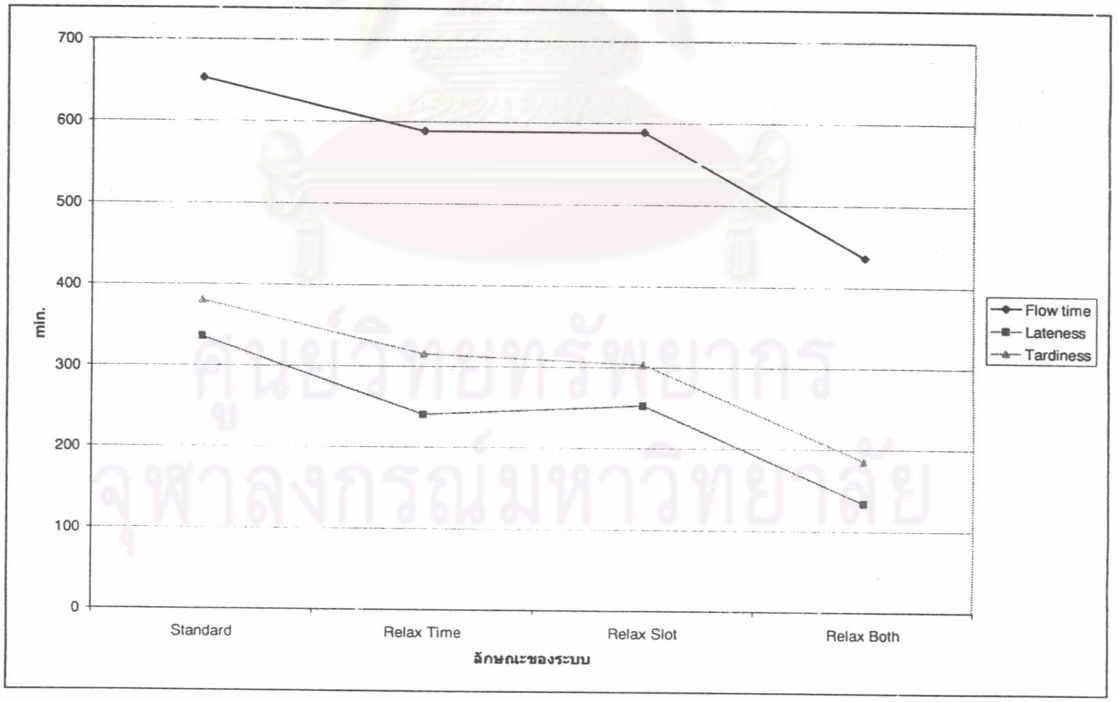
No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	NOP	Low	Low	FIFO	EDD
2	Proposed	NOP	Low	Low	SPT	EDD
3	Proposed	NOP	Low	Low	EDD	EDD
4	Proposed	NOP	High	Low	FIFO	EDD
5	Proposed	NOP	High	Low	SPT	EDD
6	Proposed	NOP	High	Low	EDD	EDD
7	Proposed	NOP	Low	Low	FIFO	SPT
8	Proposed	NOP	Low	Low	SPT	SPT
9	Proposed	NOP	Low	Low	EDD	SPT
10	Proposed	NOP	High	Low	FIFO	SPT
11	Proposed	NOP	High	Low	SPT	SPT
12	Proposed	NOP	High	Low	EDD	SPT

ตารางที่ 6.9 สภาวะที่ดีที่สุดด้านเวลาล่าช้า ของการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลา

No.	Heuristic	Due Date	ETR Priority	OTR Priority	Reallocate	Dispatching
1	Proposed	TWK	Low	Low	FIFO	EDD
2	Proposed	TWK	Low	Low	SPT	EDD
3	Proposed	TWK	Low	Low	EDD	EDD
4	Proposed	TWK	High	Low	FIFO	EDD
5	Proposed	TWK	High	Low	SPT	EDD
6	Proposed	TWK	High	Low	EDD	EDD

6.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบ

งานวิจัยนี้ได้ทำการศึกษาระบบที่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มีในการผลิต และด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ซึ่งได้แสดงผลของการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลองไว้ในบทที่ 5 นอกจากนี้ยังได้มีการศึกษาผลที่เกิดขึ้นหากมีการผ่อนผันข้อจำกัดของระบบ โดยได้ทำการทดลองผ่อนผันข้อจำกัดของระบบทีละด้าน และผ่อนผันข้อจำกัดทั้งหมดของระบบ ซึ่งในหัวข้อนี้จะทำการเปรียบเทียบว่าระบบที่มีข้อจำกัดที่แตกต่างกันนั้น จะทำให้เวลาที่ชิ้นงานอยู่ในระบบ เวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงานนั้น มีความแตกต่างกันอย่างไร ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบตัววัดประสิทธิภาพของระบบทั้ง 3 ตัวนี้ได้แสดงในรูปที่ 6.19 ซึ่งจากกราฟจะเห็นว่าระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้ง 2 ด้านนั้นเป็นระบบที่มีค่าประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุด เนื่องจาก ระบบที่ไม่มีข้อจำกัดนั้นมีทรัพยากรต่าง ๆ เพียงพอที่จะทำการผลิตชิ้นงาน ดังนั้น ในการเลือกเส้นทางการผลิต และการจัดตารางงาน จะทำการเลือกเส้นทางการผลิตที่ให้ค่าประสิทธิภาพของระบบที่ดีที่สุดได้ ซึ่งปัจจัยในด้าน ETR Priority และปัจจัยในด้านกฎในการจัดสรรงานซ้ำจะไม่ส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบ ในขณะเดียวกัน ระบบที่มีข้อจำกัดทั้งด้านเวลาและด้านช่องใส่เครื่องมือ จะให้ค่าประสิทธิภาพของระบบที่แย่ที่สุด เนื่องจาก ไม่สามารถเลือกเส้นทางการผลิตที่ดีที่สุดได้ หากเส้นทางการผลิตนั้นทำให้เวลาหรือช่องใส่เครื่องมือไม่เพียงพอ



รูปที่ 6.19 กราฟเปรียบเทียบประสิทธิภาพของระบบที่ลักษณะข้อจำกัดที่แตกต่างกัน

6.7 การวิเคราะห์ความไวของค่าความกระชั้นของเวลาส่งมอบ

จากการพิจารณาการผ่อนผันข้อจำกัดของระบบ ผลของการทดลองเมื่อพิจารณาประสิทธิภาพของระบบในด้านเวลาสายของงาน และด้านเวลาล่าช้าของระบบพบว่าผลกระทบของปัจจัยในด้านวิธีในการกำหนดเวลาส่งมอบงานนั้นเป็นปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อระบบมากที่สุด ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการพิจารณาผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงาน ว่าเมื่อค่าความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนแปลงไปจะส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบที่เกี่ยวข้องกับกำหนดส่งมอบงานอย่างไรบ้าง โดยจะพิจารณาจากลักษณะของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดทั้งทางด้านเวลาที่มีในการผลิต และข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร เนื่องจาก ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่ในทางปฏิบัตินั้นมีจำนวนน้อยที่มีความพร้อมด้านอุปกรณ์อัตโนมัติที่จะทำให้ระบบไม่มีข้อจำกัดได้ (Grieco et al, 2001)

จากผลการทดลองทั้งที่มีข้อจำกัด และระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัด พบว่าระดับของปัจจัยต่าง ๆ ที่ทำให้ได้ผลของการวัดประสิทธิภาพในด้านของเวลาล่าช้าของชิ้นงานต่ำที่สุด คือ

- การกำหนดวิธีส่งมอบงานแบบ TWK
- การจัดลำดับความสำคัญของงานในด้าน ETR Priority ที่ระดับต่ำ
- การจัดลำดับความสำคัญของงานในด้าน OTR Priority ที่ระดับต่ำ
- การใช้กฎการจัดสรรงานซ้ำแบบ SPT

การทดลองในสภาวะของระบบในหัวข้อที่ผ่านมานั้น มีการกำหนดเวลาส่งมอบงานจากค่าความกระชั้นที่ทำให้ค่าเวลาสายของชิ้นงานเป็น 20 เปอร์เซ็นต์ ดังนั้นในหัวข้อนี้จะทำการวิเคราะห์ว่าเมื่อความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนแปลงไป โดยจะทำการทดลองที่มีความกระชั้นของงานที่ทำให้ค่าเวลาสายของชิ้นงานเป็น 10 20 30 40 และ 50 เปอร์เซ็นต์ เพื่อทำการศึกษาว่าเมื่อความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนแปลงไปแล้ว ฮิวริสติกที่ใช้ในการโหลดงาน และกฎการจ่ายงาน ที่ดีที่สุดในด้านเวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงาน จะมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ อย่างไร

6.7.1 กฎการจ่ายงานแบบ EDD และเปลี่ยนฮิวริสติกในการโหลดงาน

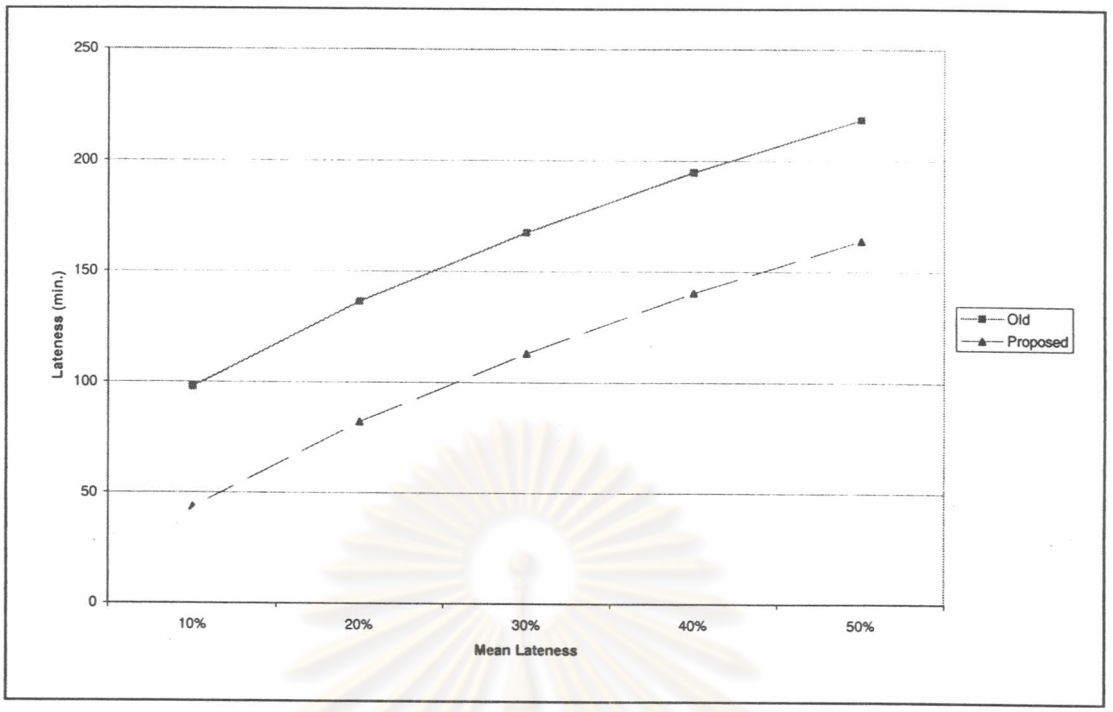
ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงค่าความกระชั้นของงาน ที่มีต่อฮิวริสในการโหลดงาน โดยใช้กฎการจ่ายงานแบบ EDD เพื่อศึกษาตัววัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาสายของงาน และเวลาล่าช้าของงาน โดยพิจารณาระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดทั้งทางด้านเวลาในการผลิต และข้อจำกัดในด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 6.10 และจากกราฟในรูปที่ 6.20 และ 6.21 พบว่า ถึงแม้ว่าค่าความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานจะเปลี่ยนแปลงไป แต่ฮิวริสติกที่

ได้รับการปรับปรุง ยังคงทำให้ค่าเวลาสาย และค่าเวลาล่าช้าของชิ้นงานต่ำกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) เสมอ เนื่องจากกราฟมีลักษณะขนานกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความชันของกราฟแล้ว จะเห็นว่าเมื่อค่าความกระชั้นของงานเพิ่มมากขึ้น (กำหนดเวลาส่งมอบงานเร็วขึ้น) อัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาสายของงานมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลง เพราะเวลาสายเป็นการพิจารณาว่าเมื่อชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดส่งมอบงานจะมีค่าเวลาสายเป็นลบ ในทางปฏิบัติหมายถึง ถ้าผลิตชิ้นงานได้เสร็จก่อนกำหนดผู้ผลิตจะได้ประโยชน์จากการส่งมอบงานก่อน แต่เมื่อค่าความกระชั้นมากขึ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดจะมีจำนวนน้อย ทำให้อัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาสายของชิ้นงานน้อยลงเรื่อย ๆ แต่ในความเป็นจริงแล้วการผลิตเสร็จก่อนกำหนดเวลาส่งมอบงานนอกจากที่จะไม่ได้ประโยชน์ในด้านค่าใช้จ่ายแล้ว อาจทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการเก็บรักษาเพิ่มขึ้นอีกด้วย ดังนั้นจึงมีการพิจารณาตัววัดประสิทธิภาพด้านเวลาล่าช้าของชิ้นงานที่พิจารณาเฉพาะงานที่เสร็จหลังกำหนดเวลาส่งมอบงานเท่านั้น ซึ่งจะเห็นว่าอัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาล่าช้าของชิ้นงานนั้นมีค่าคงที่

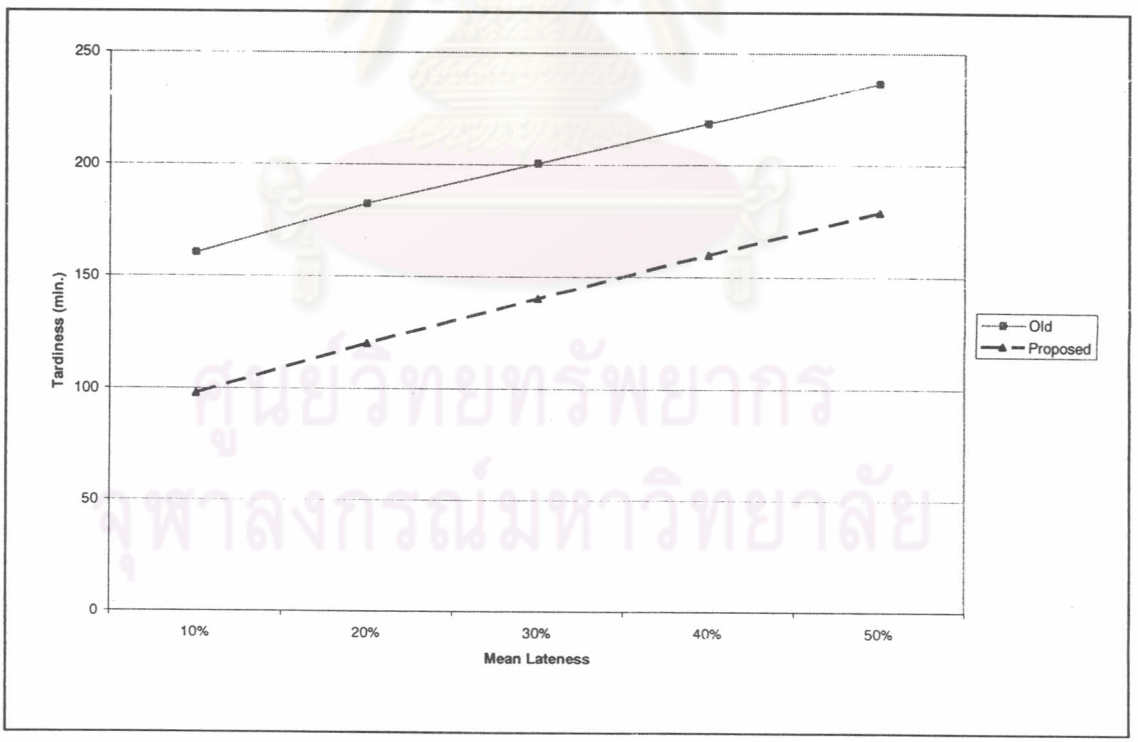
ในรูปที่ 6.22 แสดงความแตกต่างระหว่างค่าเวลาสายและเวลาล่าช้าของชิ้นงาน จะมีความแตกต่างกันน้อยลงเรื่อย ๆ และมีอัตราของความแตกต่างที่น้อยลงเช่นกัน สังเกตได้จากยิ่งความกระชั้นของงานเพิ่มมากขึ้น ค่าความแตกต่างของเวลาสายและเวลาล่าช้าจะลดลง และมีความชันของกราฟลดลง เนื่องจาก กำหนดส่งมอบงานที่มีความกระชั้นมาก ผู้ผลิตไม่สามารถผลิตงานได้ทันกำหนดจึงทำให้งานที่เสร็จก่อนกำหนดมีน้อยลง ค่าเวลาสายและเวลาล่าช้าจึงมีค่าใกล้เคียงกัน และในรูปที่ 6.21 นี้จะเห็นว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงนี้จะมีค่าความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าของงานน้อยกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) นั่นแสดงให้เห็นว่า ฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงนี้โหลดงานให้กับเครื่องจักรได้ใกล้เคียงกับเวลาส่งมอบ งานที่เสร็จก่อนกำหนดส่งมอบงานนั้นไม่ได้เสร็จก่อนเป็นระยะเวลานาน และงานที่เสร็จหลังกำหนดก็ไม่ได้เสร็จหลังกำหนดเป็นระยะเวลานานเช่นกัน

ตารางที่ 6.10 แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงฮิวริสติกในการโหลดงาน

Tightness from Mean Lateness (%)	Lateness (min)		Tardiness (min)	
	Old	Proposed	Old	Proposed
10%	98.0	43.63	160.36	97.98
20%	136.5	82.19	182.50	120.30
30%	167.5	113.10	200.60	140.40
40%	194.8	140.40	218.60	160.00
50%	218.4	164.00	236.60	178.80

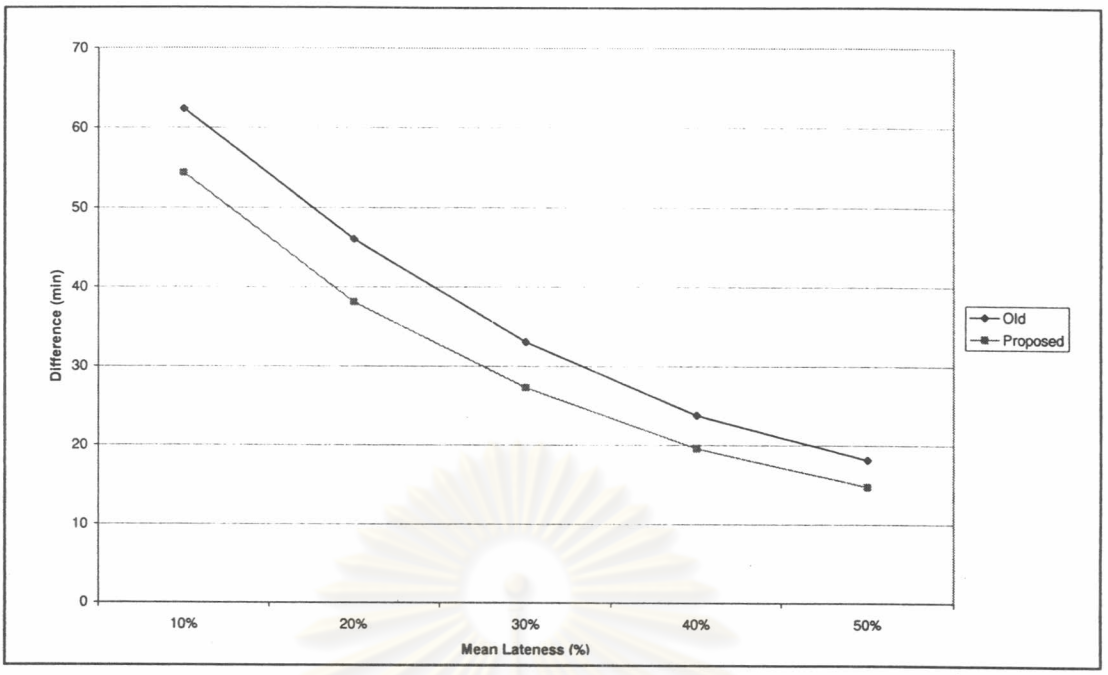


รูปที่ 6.20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสายของชิ้นงาน กับความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานที่เปลี่ยนแปลงไปที่ส่งผลต่อฮิวริสติกในการโหลดงาน



รูปที่ 6.21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้าของชิ้นงาน กับความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานที่เปลี่ยนแปลงไป ที่ส่งผลต่อฮิวริสติกในการโหลดงาน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.22 กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าของชิ้นงาน เมื่อความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนแปลงไป ที่ส่งผลต่อฮิวริสติกในการโหลดงาน

6.7.2 ใช้ฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุง และเปลี่ยนกฎการจ่ายงาน

ผลการทดลองที่ได้จากการวิเคราะห์ความไวของการเปลี่ยนแปลงค่าความกระชั้นของงาน ที่มีต่อกฎการจ่ายงาน โดยใช้ฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงโหลดงานให้กับเครื่องจักร เพื่อศึกษาตัววัดประสิทธิภาพของระบบด้านเวลาสายของงาน และเวลาล่าช้าของงาน โดยพิจารณาระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีข้อจำกัดทั้งทางด้านเวลาในการผลิต และข้อจำกัดในด้านช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ซึ่งผลการทดลองได้แสดงในตารางที่ 6.11 และจากกราฟในรูปที่ 6.23 และ 6.24 พบว่า ถึงแม้ว่าค่าความกระชั้นของกำหนดเวลาส่งมอบงานจะเปลี่ยนแปลงไป แต่การใช้กฎการจ่ายงาน EDD ยังคงทำให้ค่าเวลาสาย และค่าเวลาล่าช้าของชิ้นงานต่ำกฎการจ่ายงานอื่น ๆ เสมอ เนื่องจากกราฟมีลักษณะขนานกัน แต่เมื่อพิจารณาค่าความชันของกราฟแล้ว จะเห็นว่าเมื่อค่าความกระชั้นของงานเพิ่มมากขึ้น (กำหนดเวลาส่งมอบงานเร็วขึ้น) อัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาสายของงานมีอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลง และอัตราการเปลี่ยนแปลงเวลาล่าช้าของชิ้นงานนั้นมีค่าคงที่

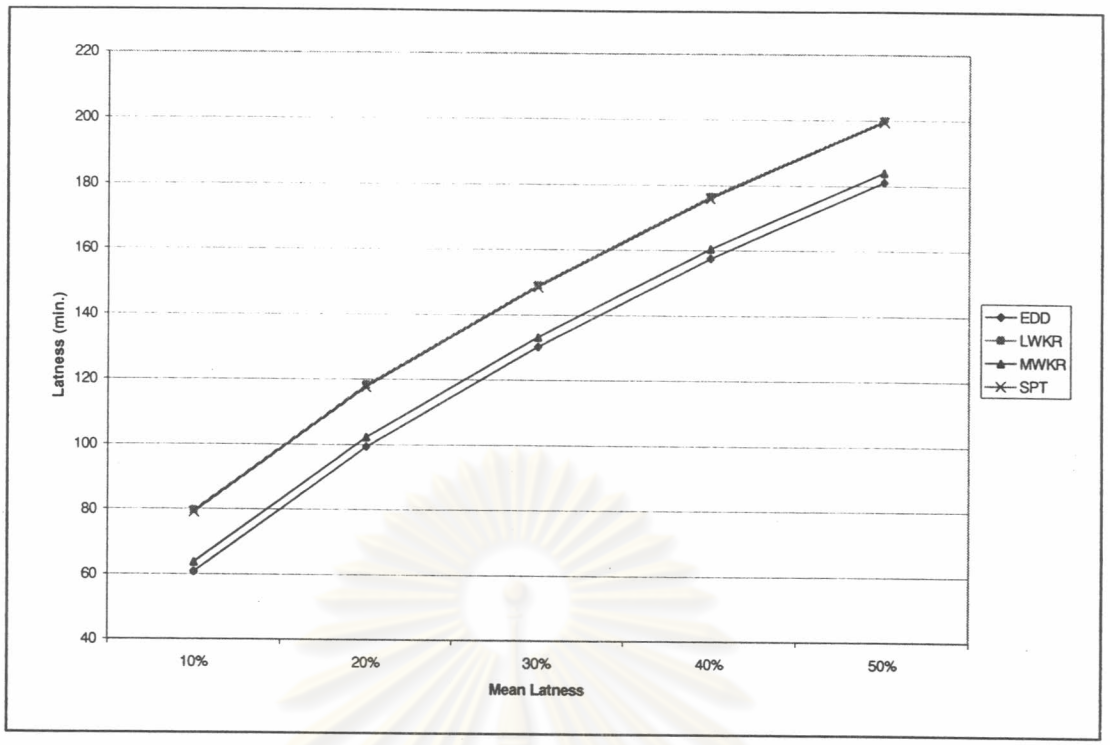
พิจารณารูปที่ 6.25 จะเห็นว่าเวลาสายของชิ้นงานที่เกิดจากกฎการจ่ายงาน SPT และ LWKR นั้นแทบจะไม่มีความแตกต่างกัน สังเกตได้จากเส้นกราฟที่ทับกันอยู่ และเวลาสายของชิ้นงานที่เกิดจากกฎการจ่ายงาน EDD และ MWKR นั้นมีความแตกต่างกันน้อย เมื่อเปรียบเทียบกับกราฟในรูปที่ 6.24 จะเห็นว่าการใช้กฎการจ่ายงาน

EDD และ MWKR ทำให้เวลาล่าช้าของชิ้นงานแตกต่างกันมาก แสดงให้เห็นว่ากฎการจ่ายงานแบบ MWKR นั้นเป็นกฎที่ทำให้งานที่เสร็จเร็วกว่ากำหนดนั้นเสร็จก่อนกำหนดเป็นระยะเวลาที่นานกว่ากฎการจ่ายงานแบบ EDD และงานที่เสร็จช้ากว่ากำหนดก็เสร็จหลังกำหนดเป็นระยะที่นานกว่ากฎการจ่ายงานแบบ EDD เช่นกัน เมื่อพิจารณารูปที่ 6.24 ที่แสดงให้เห็นถึงความแตกต่างระหว่างเวลาสายของชิ้นงาน และเวลาล่าช้าของชิ้นงานพบว่า ที่ความกระชั้น 10% นั้นกฎ LWKR เป็นกฎที่มีความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าน้อยที่สุด แต่เมื่อความกระชั้นตั้งแต่ 20% ขึ้นไปนั้นกฎ EDD เป็นกฎที่มีความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าน้อยที่สุด ในขณะที่กฎ MWKR นั้นเป็นกฎที่มีความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้ามากที่สุด ซึ่งเป็นการพิสูจน์ว่าการใช้กฎ MWKR นั้นจะทำให้งานที่เสร็จก่อนกำหนดนั้นผลิตเสร็จก่อนเป็นระยะเวลานาน และความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าจะมีความแตกต่างลดลงเมื่อความกระชั้นของกำหนดส่งมอบงานเพิ่มขึ้น เนื่องจาก กำหนดส่งมอบงานที่มีความกระชั้นมาก ๆ จะทำให้งานเกือบทุกชิ้นเสร็จช้ากว่ากำหนดส่งมอบงาน

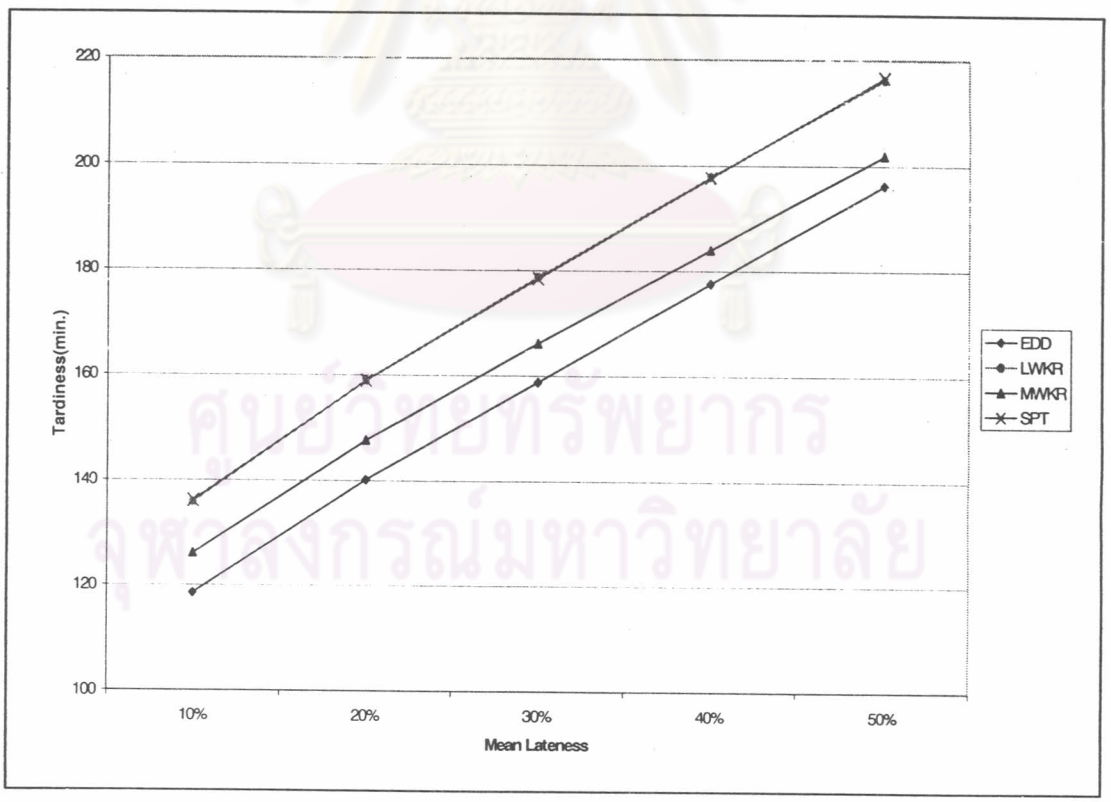
ตารางที่ 6.11 แสดงผลประสิทธิภาพเมื่อเปลี่ยนแปลงกฎการจ่ายงาน

Tightness from Mean Lateness (%)	Lateness (min)				Tardiness (min)			
	EDD	LWKR	MWKR	SPTT	EDD	LWKR	MWKR	SPT
10%	60.73	79.92	93.70	79.11	118.6	135.82	126.11	136.13
20%	99.26	118.25	102.24	117.65	140.1	159.00	147.60	158.90
30%	130.20	149.20	133.20	148.6	158.8	178.70	166.10	178.40
40%	157.50	176.50	160.50	175.9	177.6	197.80	184.00	197.70
50%	181.10	200.1	184.10	199.5	196.2	216.20	201.90	216.60

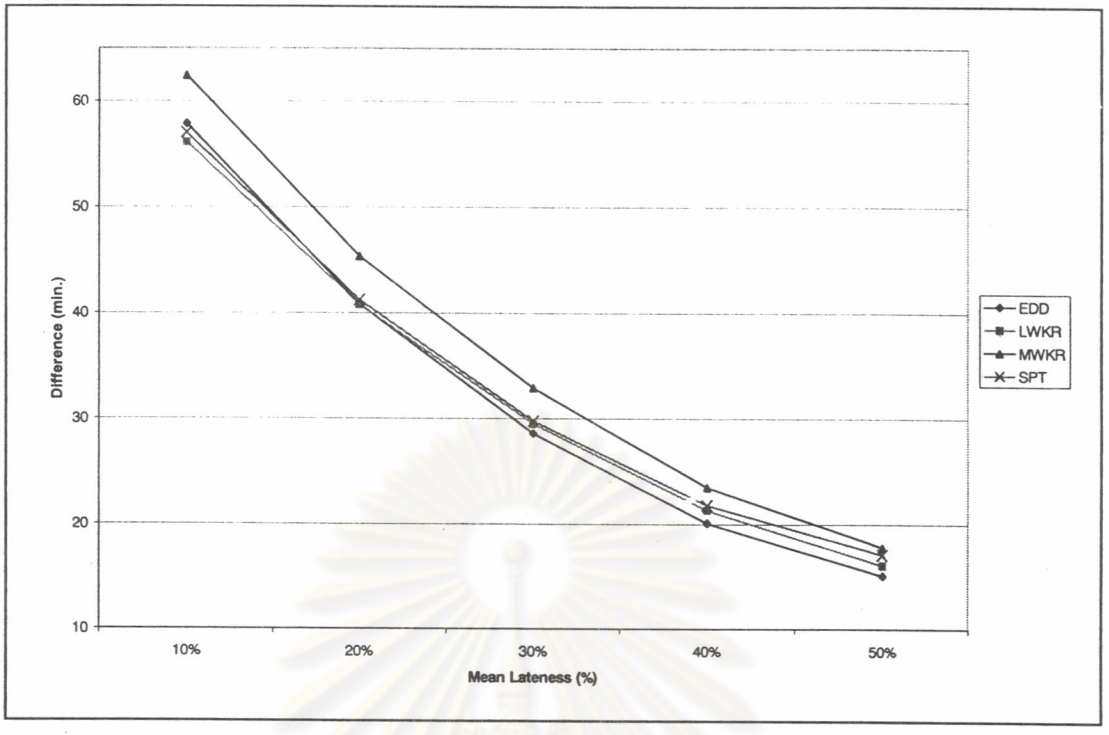
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 6.23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาสายของชิ้นงาน กับความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานที่เปลี่ยนแปลงไปที่ส่งผลต่อกฎการจ่ายงาน



รูปที่ 6.24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเวลาล่าช้าของชิ้นงาน กับความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานที่เปลี่ยนแปลงไปที่ส่งผลต่อกฎการจ่ายงาน



รูปที่ 6.25 กราฟแสดงความแตกต่างระหว่างเวลาสายและเวลาล่าช้าของชิ้นงาน เมื่อความกระชั้นของเวลาส่งมอบงานเปลี่ยนแปลงไป ที่ส่งผลต่อกฎการจ่ายงาน

6.8 บทสรุป

ในบทที่ 5 เราได้ทำการทดลองเพื่อหาสภาวะที่เหมาะสมต่อประสิทธิภาพของระบบที่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่มี และช่องใส่เครื่องมือ ซึ่งในบทที่ 6 นี้ได้ทำการศึกษาว่าหากระบบที่พิจารณามีการเปลี่ยนแปลงด้านข้อจำกัดจะส่งผลให้สภาวะที่ดีที่สุดนั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปหรือไม่ โดยได้ทำการทดลองเพิ่มกับระบบทั้งหมด 3 ระบบ คือ ระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดด้านเวลาที่มี ระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดด้านช่องใส่เครื่องมือ และระบบที่มีการผ่อนผันข้อจำกัดทั้งด้านเวลาที่มีและช่องใส่เครื่องมือของเครื่องจักร ผลจากการทดลองพบว่า มีบางปัจจัยที่สภาวะที่ดีที่สุดนั้นแตกต่างจากระบบที่มีข้อจำกัดทั้ง 2 ข้อจำกัด ซึ่งได้แก่ ปัจจัยในด้านการใช้กฎในการจัดสรรงานซ้ำ เนื่องจาก ระบบที่ผ่อนผันข้อจำกัดในด้านเวลาในการผลิตนั้นไม่มีการจัดสรรงานซ้ำ ดังนั้นกฎในการจัดสรรงานซ้ำจึงไม่มีผลอย่างมีนัยสำคัญต่อประสิทธิภาพของระบบ นอกจากนี้ ระดับของปัจจัยที่ให้ค่าประสิทธิภาพของระบบดีที่สุดในทุก ๆ สภาวะการผ่อนผันข้อจำกัดของระบบ คือ ปัจจัยด้านฮิวริสติกในการโหลดงาน จะเห็นว่าฮิวริสติกที่ได้รับการปรับปรุงนั้นให้ค่าประสิทธิภาพของระบบดีกว่าฮิวริสติกของ Vidyarthi and Tiwari (2001) เสมอ ไม่ว่าระบบจะมีลักษณะข้อจำกัดแบบใดก็ตามจากลักษณะข้อจำกัดที่พิจารณา 4 ลักษณะ และกฎการจ่ายงานที่ดีที่สุดในแง่ของเวลาสาย และเวลาล่าช้า คือ กฎ EDD ซึ่งจะเห็นว่า กฎ EDD นั้นเป็นกฎที่สามารถนำไปใช้ในอุตสาหกรรมได้ง่าย เนื่องจาก ข้อมูลด้านกำหนดส่งมอบงานนั้น