บทที่ 7
ผลการทดลองและการวิเคราะห์ผลการทดลอง

จากบทที่ 5 และ 6 ซึ่งได้แสดงการจำลองแบบปัญหาและออกแบบการทดลอง เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ ในบทนี้จะได้แสดงผลของปัจจัยหลักอันได้แก่ ความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ และ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน ตลอดจนปัจจัยร่วม (Interaction) ว่ามีผลต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆหรือไม่และอย่างไร อีกทั้งยังต้องการทดสอบแบบเจาะลึกกับปัจจัยเกี่ยวกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเท่านั้น

สำหรับปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ ซึ่งกำหนดให้มี 2 ระดับคือความซับซ้อนในระบบต่ำและความซับซ้อนในระบบสูง โดยที่ความแตกต่างในระดับความซับซ้อนของระบบสามารถระบุได้ด้วยจำนวนเครื่องจักร และจำนวนขั้นตอนการทำงานที่แตกต่างกัน โดยที่ระบบที่มีความซับซ้อนต่ำมีจำนวนเครื่องจักรในระบบ 4 เครื่องและชิ้นงานมีจำนวนขั้นตอนการทำงานเป็นการกระจายแบบยูนิฟอร์มช่วงจาก 2 ถึง 3 และระบบที่มีความซับซ้อนสูงมีจำนวนเครื่องจักรในระบบ 6 เครื่องและชิ้นงานมีจำนวนขั้นตอนการทำงานเป็นการกระจายแบบยูนิฟอร์มช่วงจาก 4 ถึง 6

สำหรับปัจจัยหลักโหลดงานในระบบ ซึ่งกำหนดให้มี 2 ระดับเช่นกันคือโหลดงานในระบบน้อยและโหลดงานในระบบมาก โดยการกำหนดโหลดงานในระบบสามารถทำได้โดยกำหนดจำนวนชิ้นงานในระบบที่ทำให้ระบบที่ความซับซ้อนต่ำและสูงที่ทำให้การใช้สอยของเครื่องจักรเป็น 70% สำหรับโหลดงานในระบบน้อย และ 87% สำหรับโหลดงานในระบบมาก

สำหรับปัจจัยหลักกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน กำหนดให้มี 7 ระดับคือ กฎแบบ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP WINQ NINQ SPT และ RAN

7.1 ผลของปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ และ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยร่วมต่อประสิทธิภาพของระบบในด้านต่างๆ

ผลของการทดลอง ได้ถูกวิเคราะห์ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of variance, ANOVA) ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ข และสามารถแสดงผลโดยย่อได้ดังในตารางที่ 7.1

ตารางที่ 7.1 ผลการวิเคราะห์ผลของปัจจัยด้วย ANOVA

ปัจจัย	F-Ratio				
	Mean flow time	Mean tardiness	Mean lateness	Proportion of tardy jobs	System utilization
ความซับซ้อนของระบบ	9527.602*	1553.385*	738.385*	1552.821*	0.405
โหลดงานในระบบ	5507.149*	369.263*	10.305*	275.036*	1033.527*
กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน	626.305*	437.664*	618.342*	1469.136*	823.715*
ความซับซ้อนของระบบ-โหลดงานในระบบ	766.734*	31.577*	15.612*	6.345*	4.572*
ความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน	139.938*	100.679*	136.355*	143.145*	2.655*
โหลดงานในระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน	23.487*	8.953*	21.749*	50.327*	4.062*
ความซับซ้อนของระบบ-โหลดงานในระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน	7.227*	4.244*	5.979*	56.821*	3.019*

(หมายเหตุ: * คือปัจจัยนั้นส่งผลต่อประสิทธิภาพของระบบอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5%)

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

จากตารางที่ 7.1 สามารถวิเคราะห์ผลของปัจจัยต่อประสิทธิภาพของระบบด้านต่างๆได้ดังต่อไปนี้

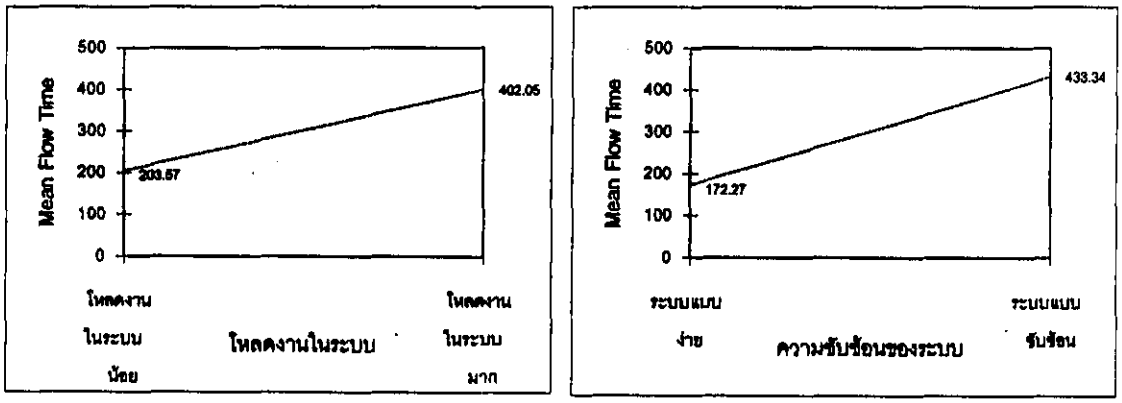
7.1.1 Mean flow time, Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs

จาก F-Ratio ซึ่งเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อประสิทธิภาพของระบบมากน้อยเพียงใดสามารถสรุปได้ว่า

- สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean flow time ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Mean flow time ของระบบโดยสามารถเรียงลำดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean flow time มากที่สุด 3 ลำดับคือความซับซ้อนของระบบ รองลงไปคือ ปัจจัยโหลดงานในระบบ และปัจจัยร่วมของความซับซ้อนของระบบ-โหลดงานในระบบ ตามลำดับ
- สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean tardiness ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness ของระบบโดยสามารถเรียงลำดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness มากที่สุด 3 ลำดับคือความซับซ้อนของระบบ รองลงไปคือ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยโหลดงานในระบบ ตามลำดับ
- สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Proportion of tardy jobs ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัยส่งผลกระทบต่อ Proportion of tardy jobs ของระบบโดยสามารถเรียงลำดับของปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Proportion of tardy jobs มากที่สุด 3 ลำดับความซับซ้อนของระบบ รองลงไปคือ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยโหลดงานในระบบ ตามลำดับ

7.1.1.1 ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ

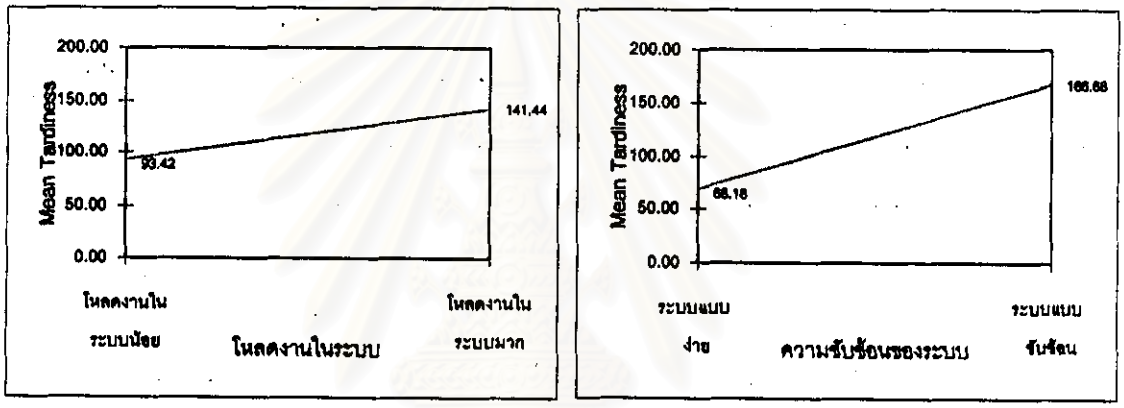
ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบต่อ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs สามารถแสดงได้ด้วยกราฟค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของระบบทั้งสามดังในรูปที่ 7.1 ถึง 7.3 ซึ่งค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของระบบจะคิดจากประสิทธิภาพของระบบเฉลี่ยจากทุกกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน ที่ทุกสภาวะความซับซ้อนของระบบ และโหลดงานในระบบค่าหนึ่งๆ (น้อยและมาก) ซึ่งข้อมูลดิบของผลการทดลอง ได้แสดงไว้ในภาคผนวก ข



ก) ข)

รูปที่ 7.1 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time

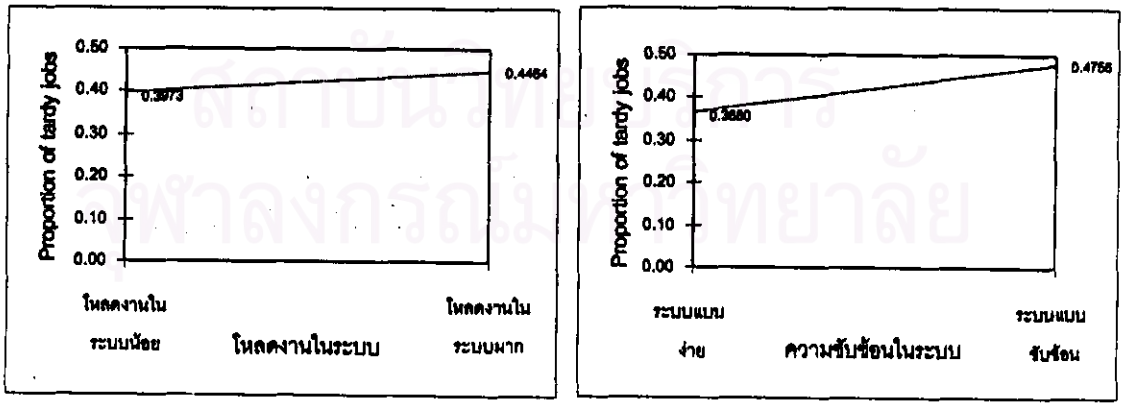
ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบ ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบ



ก) ข)

รูปที่ 7.2 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบ ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบ



ก) ข)

รูปที่ 7.3 ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบ ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบ

จากรูปที่ 7.1 ถึง 7.3 ก) และ ข) จะเห็นว่าเมื่อความซับซ้อนในระบบสูงขึ้นหรือ โหลดงานในระบบมากขึ้น Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs มากขึ้น สามารถวิเคราะห์ได้ว่าเมื่อความซับซ้อนของระบบมากขึ้น นั่นหมายความว่าจำนวนเครื่องจักรในระบบมากขึ้นและจำนวนขั้นตอนการทำงานของชิ้นงานแต่ละชิ้นมากขึ้น ดังนั้นชิ้นงานจึงมีโอกาสจะอยู่ในระบบนานขึ้น และเมื่อโหลดของงานในระบบมากขึ้น ระบบย่อมมีความหนาแน่นขึ้น ทำให้ชิ้นงานที่รอคอยอยู่ในแถวคอยของเครื่องจักรแต่ละเครื่องมากขึ้น นั่นหมายความว่าชิ้นงานที่เข้ามาใหม่จะต้องเสียเวลารอคอยนานขึ้น และนอกจากนี้การที่มีชิ้นงานรอคอยอยู่ในแถวคอยของเครื่องจักรมากขึ้น อาจทำให้แถวคอยของเครื่องจักรเต็ม ชิ้นงานที่เข้ามายังเครื่องจักรบางครั้งไม่สามารถรออยู่ในแถวคอยได้จึงต้องส่งไปที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางเพื่อรอคอยเครื่องจักรที่เหมาะสมว่างต่อไป สาเหตุเหล่านี้ทำให้ชิ้นงานจำต้องอยู่ในระบบนานขึ้น จนอาจทำให้เกินกำหนดส่งชิ้นงาน ดังนั้น Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs จึงมากขึ้นไปด้วย

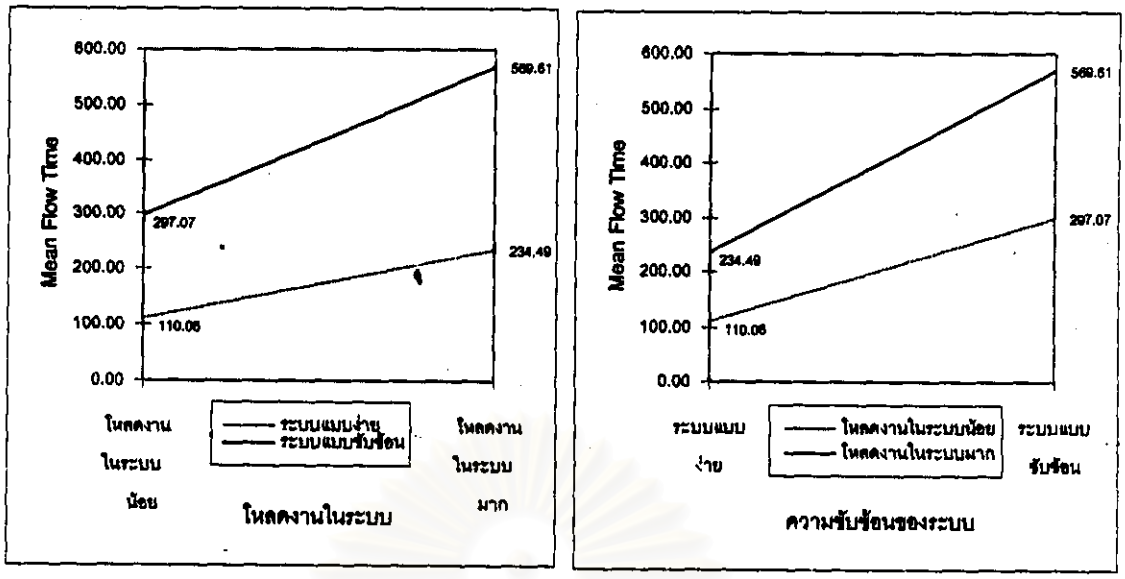
เส้นกราฟในรูป 7.1ก) มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟในรูป 7.1ข) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบส่งผลต่อ Mean flow time น้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากตารางที่ 7.1ว่าผลของปัจจัยโหลดงานในระบบให้ค่า F-Ratio ในด้าน Mean flow time เท่ากับ 5507.149 ซึ่งน้อยกว่าผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบซึ่งให้ F-Ratio เท่ากับ 9527.602

เส้นกราฟในรูป 7.2ก) มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟในรูป 7.2ข) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบส่งผลต่อ Mean tardiness น้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากตารางที่ 7.1 ว่าผลของปัจจัยโหลดงานในระบบให้ค่า F-Ratio ในด้าน Mean tardiness เท่ากับ 369.263 ซึ่งน้อยกว่าผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบซึ่งให้ F-Ratio เท่ากับ 1553.385

เส้นกราฟในรูป 7.3ก) มีความชันน้อยกว่าเส้นกราฟในรูป 7.3ข) แสดงว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบส่งผลต่อ Proportion of tardy jobs น้อยกว่าการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนระบบ ซึ่งสอดคล้องกับผลที่ได้จากตารางที่ 7.1 ว่าผลของปัจจัยโหลดงานในระบบให้ค่า F-Ratio ในด้าน Proportion of tardy jobs เท่ากับ 275.036 ซึ่งมากกว่าผลของปัจจัยของความซับซ้อนของระบบซึ่งให้ F-Ratio เท่ากับ 1552.821

7.1.1.2 ผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ

ผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบที่มีต่อประสิทธิภาพของ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs สามารถแสดงได้ดังในรูปที่ 7.4-7.6

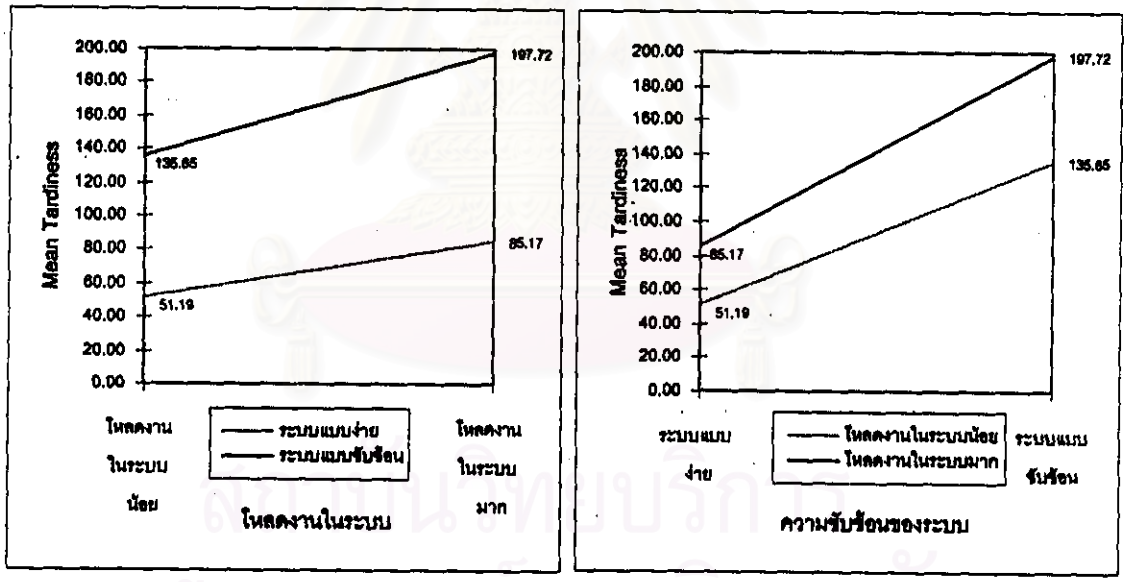


ก) ข)

รูปที่ 7.4 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบที่ความซับซ้อนของระบบต่ำและสูง

ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

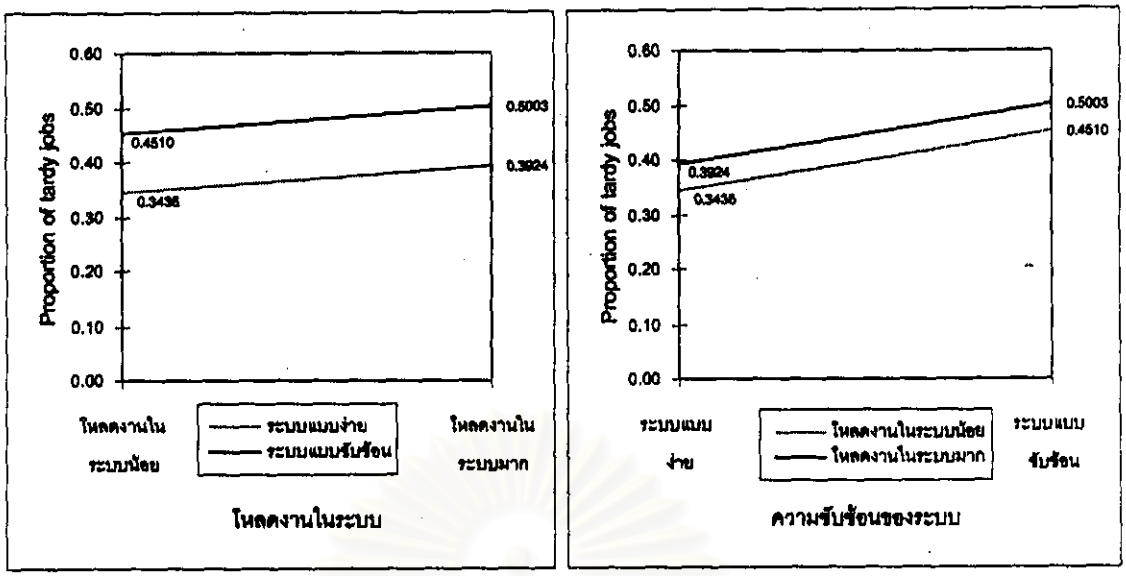


ก) ข)

รูปที่ 7.5 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบที่ความซับซ้อนของระบบต่ำและสูง

ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก



ก) ข)

รูปที่ 7.6 ค่าเฉลี่ยของ Proportion of tardy jobs

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบที่ความซับซ้อนของระบบต่ำและสูง

ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

จากรูปที่ 7.4 ก) และ ข) จะเห็นว่าปัจจัยร่วมของความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบมีความสำคัญค่อนข้างมากเนื่องจากความชันของกราฟค่อนข้างมากและเส้นกราฟทั้งคู่ไม่ขนานกันทั้งในรูป 7.4 ก) และ ข) ซึ่งเมื่อพิจารณาตารางที่ 7.1 พบว่าปัจจัยร่วมของความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบที่ส่งผลต่อ Mean flow time ให้ค่า F-Ratio เท่ากับ 766.734 ซึ่งค่อนข้างมาก

จากรูปที่ 7.4 ก) จะเห็นว่า Mean flow time ของระบบที่มีความซับซ้อนในระบบสูงมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดงานของระบบมากกว่าระบบที่มีความซับซ้อนในระบบต่ำ ซึ่งจะสังเกตได้จากความชันเส้นระบบแบบซับซ้อนมากกว่าความชันเส้นกราฟระบบแบบง่าย ในทำนองเดียวกัน จากรูปที่ 7.4 ข) จะเห็นว่า Mean flow time ของระบบที่มีโหลดงานในระบบมากมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลง Mean flow time เมื่อความซับซ้อนของระบบเปลี่ยนไปมากกว่าระบบที่มีโหลดงานน้อยซึ่งจะสังเกตได้จากความชันเส้นกราฟโหลดงานในระบบมากมีความชันมากกว่าเส้นกราฟโหลดงานในระบบน้อย ข้อสรุปจากรูปดังกล่าวข้างต้นสามารถให้เหตุผลได้ว่าเนื่องจากในระบบที่มีความซับซ้อนสูงปริมาณชิ้นงานที่ทำให้เกิดโหลดของงานเท่ากับระบบที่มีความซับซ้อนต่ำจะมากกว่า ในทำนองเดียวกันระบบที่มีโหลดงานในระบบมากย่อมมีปริมาณชิ้นงานมากกว่าระบบที่มีโหลดงานน้อยกว่าที่ความซับซ้อนของระบบเท่ากัน การเพิ่มความซับซ้อนของระบบหรือโหลดงานในระบบอย่างใดอย่างหนึ่งทำให้ความหนาแน่นของระบบมากขึ้น ดังนั้นการเพิ่มทั้งความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบก็ยิ่งทำให้ความหนาแน่นระบบเพิ่มขึ้นเป็นอย่างมาก ในทางตรง

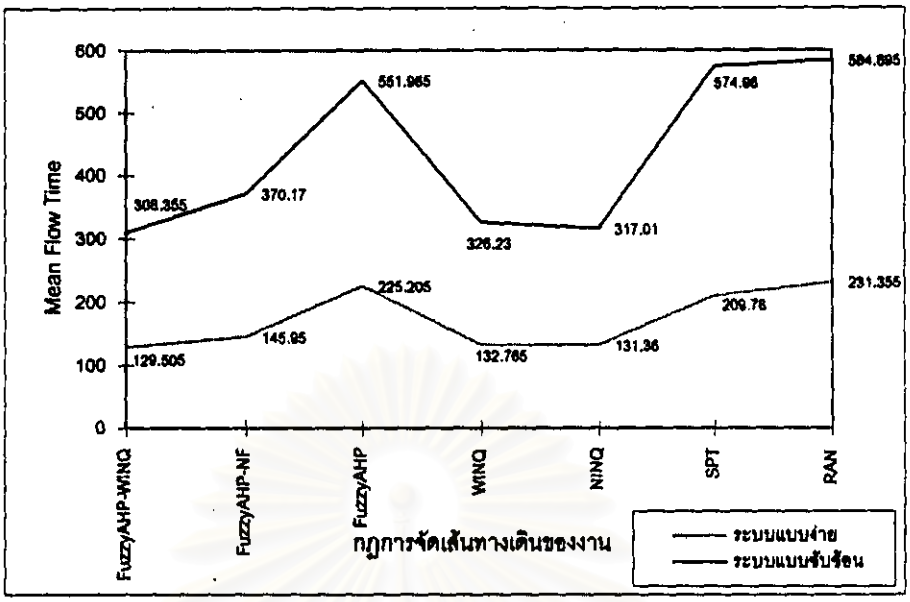
ข้ามกลับพบว่าปัจจัยร่วมของความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ค่อนข้างน้อยแม้ว่ากราฟคู่ ในรูป 7.4 ก) 7.4 ข) 7.5 ก) และ 7.5 ข) จะไม่ขนานกันก็จริง แต่ความแตกต่างของความชันของกราฟทั้งคู่ค่อนข้างน้อย ดังจะแสดงได้ดังในตารางที่ 7.1 ว่าปัจจัยร่วมความซับซ้อนในระบบ-โหลดงานในระบบให้ค่า F-Ratio ต่อ Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs เท่ากับ 31.577 และ 6.345 ตามลำดับ ซึ่งเป็นค่าค่อนข้างน้อยเมื่อเทียบกับปัจจัยอื่น

7.1.1.3 ผลของปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

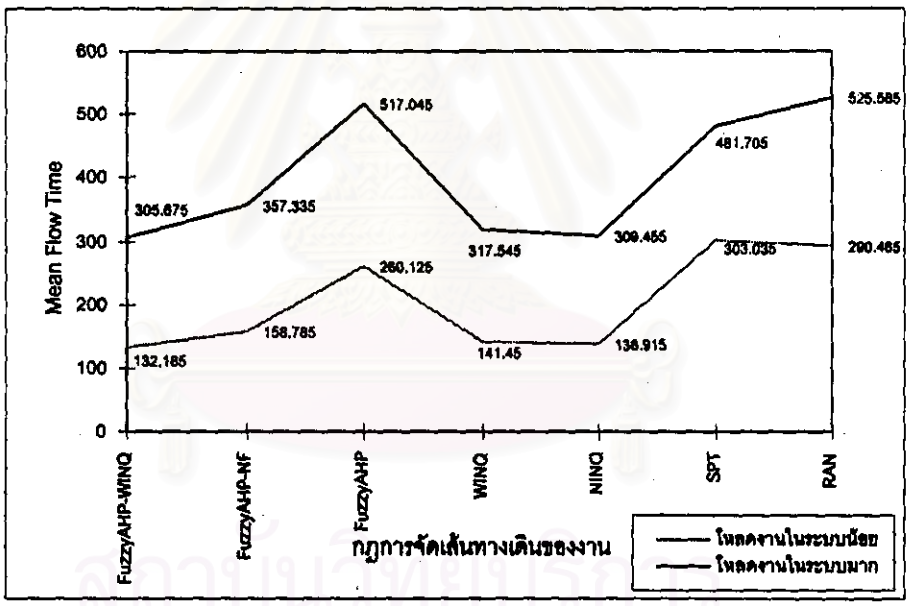
สำหรับผลของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆต่อประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs สามารถวิเคราะห์ได้จากตารางที่ 7.1 และรูปที่ 7.7 ถึง 7.9 ดังต่อไปนี้

จากตารางที่ 7.1 พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานส่งผลต่อต่อประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ค่อนข้างมาก โดยเฉพาะ Proportion of tardy jobs ซึ่งปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานให้ค่า F-Ratio ที่มากถึง 1469.136 ซึ่งโดยทั่วไปแล้วผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงานจะมีผลต่อ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy job มากกว่าปัจจัยร่วมโหลดงานในระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน ดังจะเห็นได้จากค่า F-Ratio ในตารางที่ 7.1 ว่าปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงานให้ค่า F-Ratio ของ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy job เป็น 139.938 100.679 และ 143.145 ตามลำดับ ในขณะที่ปัจจัยร่วมโหลดงานในระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงานให้ค่า F-Ratio 23.487 8.953 และ 50.327 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก)

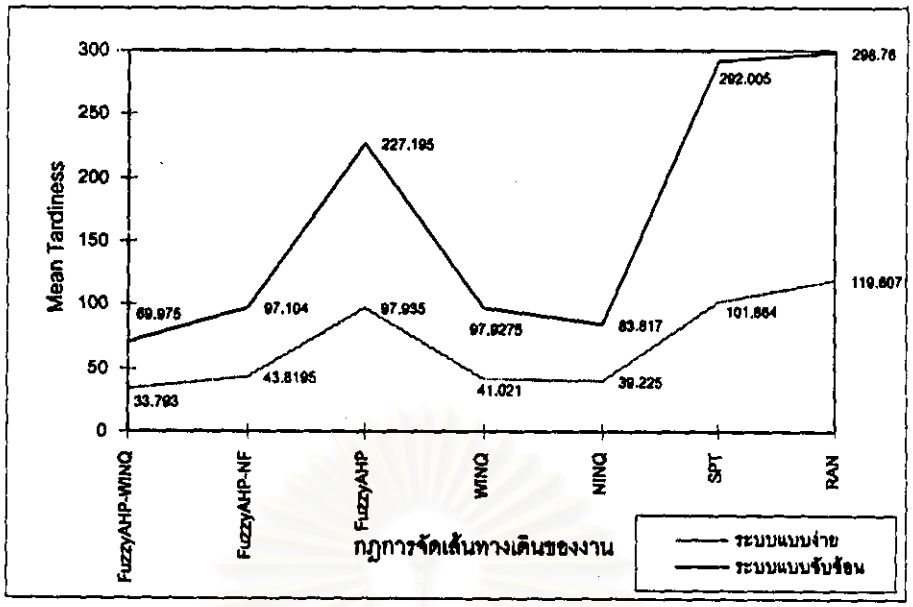


ข)

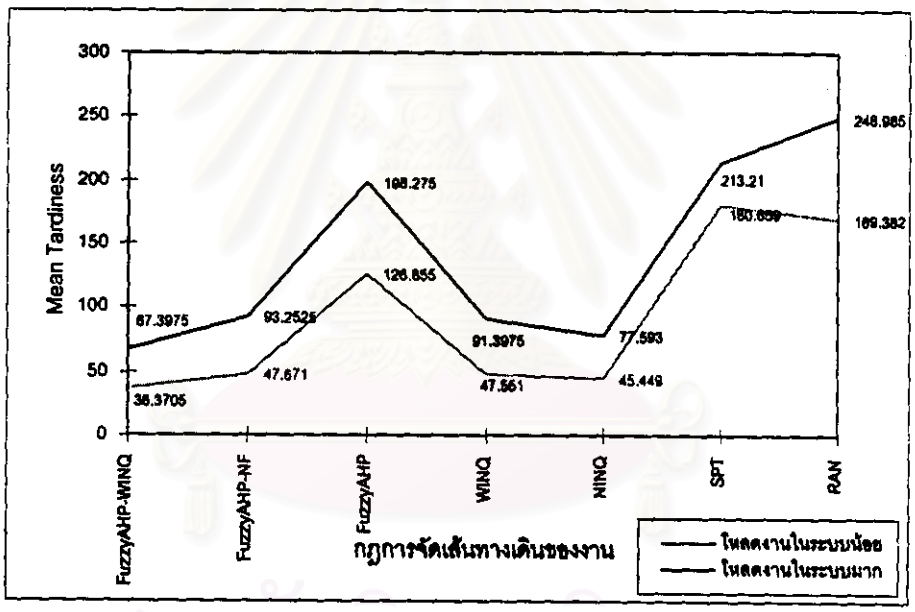
รูปที่ 7.7 ค่าเฉลี่ยของ Mean flow time

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก



ก)

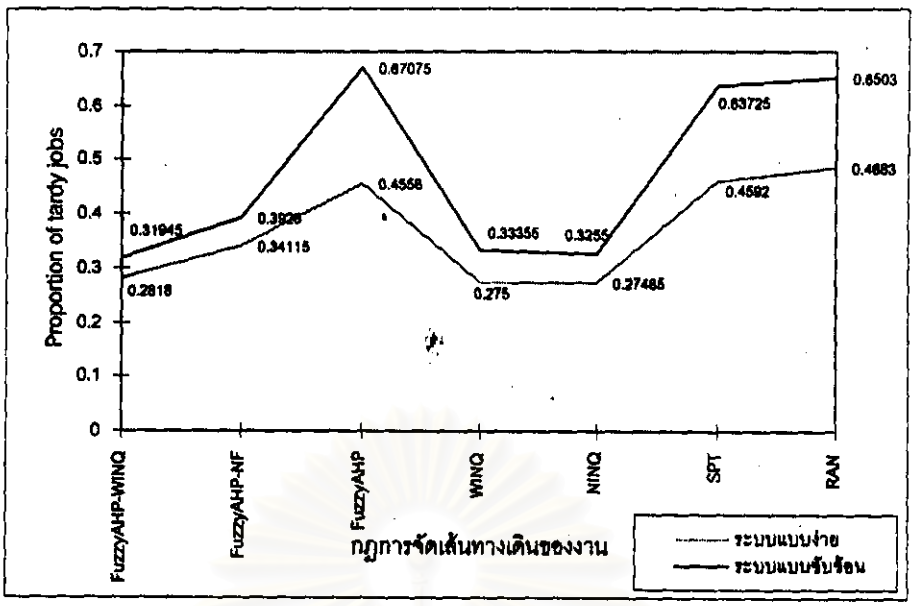


ข)

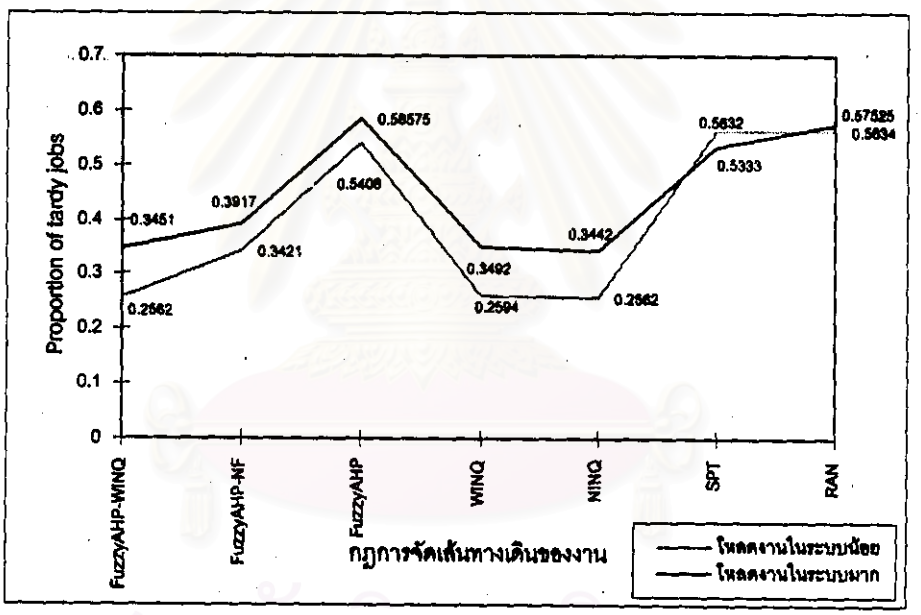
รูปที่ 7.8 ค่าเฉลี่ยของ Mean tardiness

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก



ก)



ข)

รูปที่ 7.9 **ค่าเฉลี่ยของ** Proportion of tardy jobs

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

ดังนั้นจะเห็นว่าเส้นกราฟคู่ในรูป 7.7 ก) 7.8 ก) และ 7.9 ก) ซึ่งแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนในระบบจะห่างกันมากกว่าเส้นกราฟคู่ในรูป 7.7 ข) 7.8 ข) และ 7.9 ข) ซึ่งแสดงผลของการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบ แสดงว่าโดยทั่วไปกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

ส่วนมากจะให้ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบมากกว่าโหลดงานในระบบ

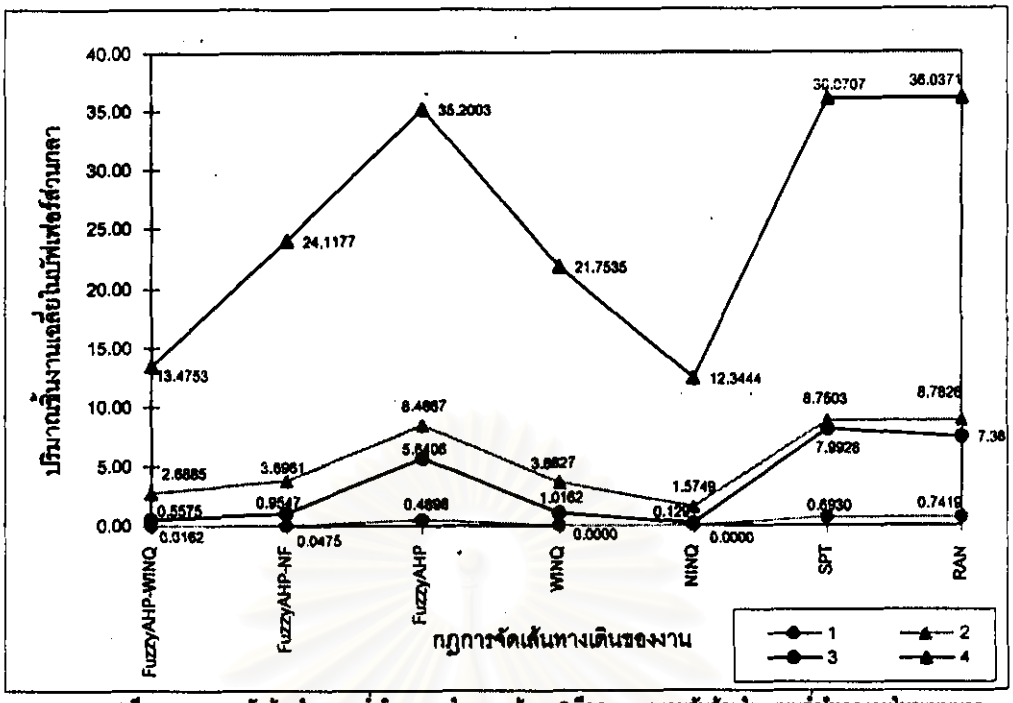
จาก รูปที่ 7.7 ถึง 7.9 สามารถแยกวิเคราะห์กฎการจัดเส้นทางเดินของงานออกเป็น 3 กลุ่ม ดังนี้คือ

- **กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ WINQ และ NINQ**

กฎการจัดเส้นทางเดินของงานทั้งสามนี้ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ดี ดังจะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพของระบบทั้งสามของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้จะดีกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่น และนอกจากนี้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้ยังสามารถตอบสนองต่อการเพิ่มขึ้นของความหนาแน่นในระบบได้ดีอีกด้วย ดังจะเห็นในรูป 7.7 ก) ข) ถึง 7.9 ก) ว่าเมื่อความซับซ้อนในระบบเพิ่มขึ้นหรือโหลดงานในระบบมากขึ้น กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้ให้ค่า Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ไม่เพิ่มขึ้นมากเท่ากับกฎอื่นๆ อย่างไรก็ตามกฎในกลุ่มนี้ให้ Proportion of tardy jobs ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบมากกว่ากฎอื่น

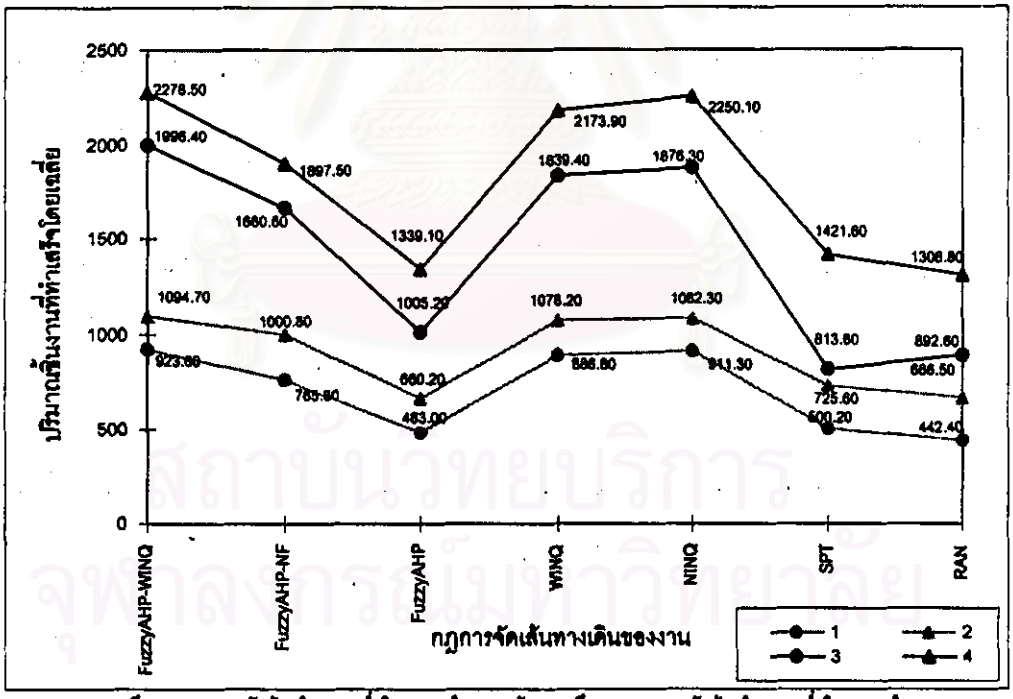
รูปที่ 7.10 จะแสดงให้เห็นถึงปริมาณชิ้นงานในบัฟเฟอร์ส่วนกลางเฉลี่ยที่สภาวะความซับซ้อนในระบบและปริมาณโหลดงานในระบบหนึ่งๆ จะเห็นว่าปริมาณชิ้นงานในบัฟเฟอร์ส่วนกลางโดยเฉลี่ยของกฎในกลุ่มนี้น้อยกว่ากฎอื่นๆที่สภาวะเดียวกัน ดังนั้นจึงเป็นสิ่งที่แสดงให้เห็นว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้มีประสิทธิภาพดี จำนวนชิ้นงานที่ต้องเดินทางไปที่บัฟเฟอร์ส่วนกลางน้อยกว่า จึงเป็นส่วนหนึ่งที่ทำให้ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs จึงน้อยกว่ากฎอื่น ดังนั้นจึงได้ปริมาณงานที่ทำเสร็จมากกว่ากฎอื่นในเวลาที่เท่ากันและสภาวะเดียวกัน ดังรูปที่ 7.11

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



หมายเหตุ : 1 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำโหลดงานในระบบน้อย 2 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำโหลดงานในระบบมาก
3 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบสูงโหลดงานในระบบน้อย 4 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบสูงโหลดงานในระบบมาก

รูปที่ 7.10 ปริมาณชิ้นงานเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ส่วนกลางที่สภาวะต่างๆ



หมายเหตุ : 1 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำโหลดงานในระบบน้อย 2 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบต่ำโหลดงานในระบบมาก
3 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบสูงโหลดงานในระบบน้อย 4 คือสภาวะความซับซ้อนในระบบสูงโหลดงานในระบบมาก

รูปที่ 7.11 ปริมาณชิ้นงานที่ทำเสร็จโดยเฉลี่ยที่สภาวะต่างๆ

จากรูปที่ 7.10 ที่สภาวะ 2 (ความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบมาก) 3 (ความซับซ้อนในระบบสูงและโหลดงานในระบบน้อย) และ 4 (ความซับซ้อนในระบบ

สูงและโหลดงานในระบบมาก) สามารถเรียงลำดับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ให้ปริมาณชิ้นงานเฉลี่ยในบัฟเฟอร์จากน้อยไปมากได้ดังนี้คือ NINQ FuzzyAHP-WINQ และ WINQ ในสภาวะที่ 1 (ความซับซ้อนในระบบต่ำและโหลดงานในระบบน้อย) กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ NINQ และ WINQ ให้ปริมาณชิ้นงานเฉลี่ยในบัฟเฟอร์เท่ากันและน้อยกว่า FuzzyAHP-WINQ

จากรูปที่ 7.11 ในทุกสภาวะของระบบพบว่า กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ปริมาณชิ้นงานที่ทำเสร็จโดยเฉลี่ยมากที่สุด รองลงไปคือกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ NINQ และ WINQ

- **กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP SPT และ RAN**

  กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้ให้ประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ที่ต่ำ และมีความไวในด้าน Mean flow time และ Mean tardiness ต่อการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบสูง ดังจะเห็นได้จากกราฟในรูป 7.7 ก) ข) และ 7.8 ก) ข) ว่าช่วงกว้างระหว่างเส้นกราฟความซับซ้อนของระบบต่ำกับสูง และโหลดงานในระบบน้อยกับมาก จะมากกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มอื่น แต่อย่างไรก็ตามพบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ SPT ให้ Mean flow time และ Mean tardiness ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบไม่มากนักเมื่อเทียบกับกฎในกลุ่มเดียวกัน (รูปที่ 7.7 ข) และ 7.8 ข))

  สำหรับประสิทธิภาพของระบบทางด้าน Proportion of tardy jobs พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้ให้ Proportion of tardy jobs ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบมาก ซึ่งตรงกันข้ามกับความไวต่อการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบซึ่งมีค่าน้อย และเนื่องจากกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มนี้ไม่ค่อยมีประสิทธิภาพนักจึงมีปริมาณงานเฉลี่ยในบัฟเฟอร์ส่วนกลางมาก (รูป 7.10) อันเป็นสาเหตุทำให้ชิ้นงานต้องใช้เวลาในระบบมากขึ้นและมีโอกาสล่าช้ามากขึ้นดังนั้นปริมาณงานที่ทำเสร็จโดยเฉลี่ยจึงน้อยกว่ากฎในกลุ่มอื่น (รูปที่ 7.11)

- **กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF**

  กฎการจัดเส้นทางเดินของงานกฎนี้ค่อนข้างจะให้ประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ปานกลางแต่ค่อนข้างดีเมื่อเทียบกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มที่สอง โดยเฉพาะ

ประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean tardiness (รูปที่ 7.8) จะเห็นว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF ให้ค่า Mean tardiness ที่ดีเกือบเท่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มแรก และนอกจากนี้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF ยังให้ Mean flow time Mean tardiness และ Proportion of tardy jobs ที่มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบค่อนข้างน้อย

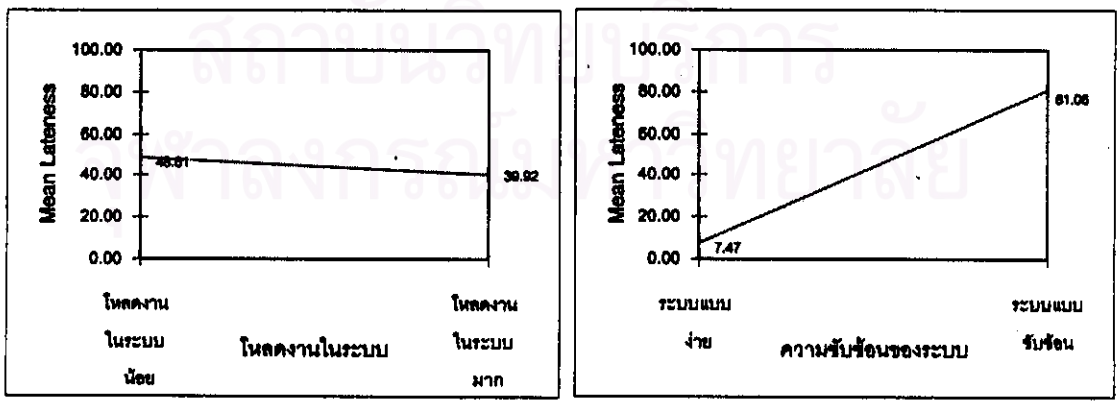
7.1.2 Mean lateness

จาก F-Ratio ในตารางที่ 7.1 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean lateness มากที่สุด 3 อันดับคือ ปัจจัยความซับซ้อนของระบบ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

7.1.2.1 ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ

ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ สามารถแสดงได้ด้วยกราฟค่าเฉลี่ยของ Mean lateness ดังในรูปที่ 7.12

จากรูปที่ 7.12 ก) จะเห็นว่า เมื่อโหลดงานในระบบมากขึ้น แต่ค่า Mean lateness กลับมีค่าลดลง แต่ในรูปที่ 7.12 ข) พบว่าเมื่อความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้น Mean lateness มีค่ามากขึ้น จากรูปที่ 7.12 ก) จะเห็นว่าเมื่อโหลดงานในระบบเปลี่ยนแปลงไป ค่า Mean lateness เปลี่ยนแปลงน้อย ซึ่งแสดงว่าการเปลี่ยนแปลงโหลดงานในระบบส่งผลต่อ Mean lateness น้อย ดังจะเห็นได้จากตารางที่ 7.1 ว่าค่า F-Ratio ของปัจจัยโหลดงานในระบบต่อค่า Mean lateness มีค่าเพียง 10.305 เท่านั้น



ก) ข)

รูปที่ 7.12 ค่าเฉลี่ยของ Mean lateness

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบ ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบ

จากรูปที่ 7.12 ข) จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบมีผลต่อการเปลี่ยนแปลง Mean lateness มากกว่า โดยสังเกตได้จากความชันของกราฟในรูป 7.12 ข) จะค่อนข้างมาก ซึ่งเมื่อพิจารณาค่า F-Ratio ในตารางที่ 7.1 พบว่าปัจจัยความซับซ้อนของระบบให้ค่า F-Ratio ต่อ Mean lateness เท่ากับ 738.385 ซึ่งค่อนข้างมาก

7.1.2.2 ผลของปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

เนื่องจากพฤติกรรมของกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเมื่อความซับซ้อนในระบบและโหลดงานในระบบเปลี่ยนไปส่งผลกระทบต่อ Mean lateness ของระบบต่างกัน ซึ่งสามารถอธิบายได้โดยพิจารณารูป 7.13 ก) และ ข)

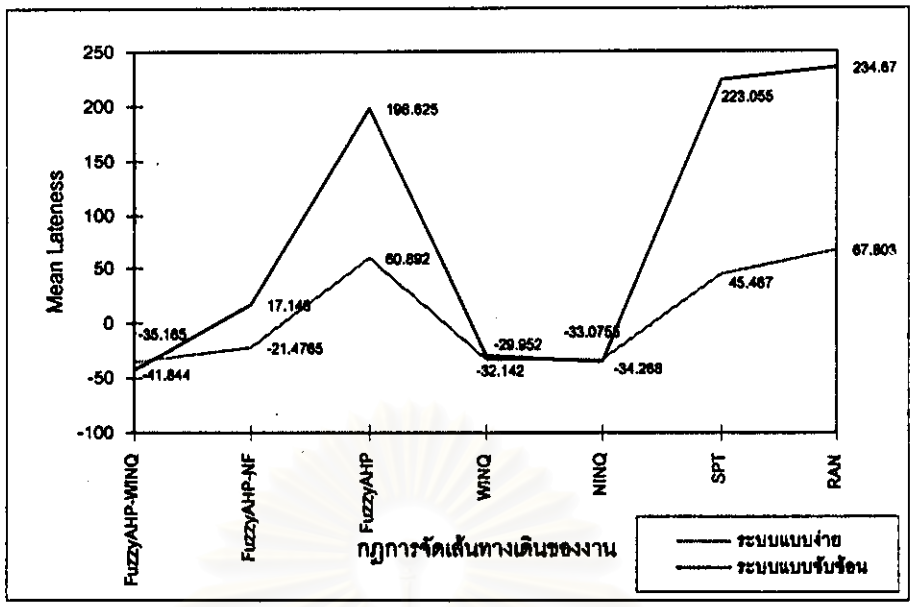
จากรูปที่ 7.13 ก) พบว่าเมื่อความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้น กฎในกลุ่มที่ 1 ได้แก่ FuzzyAHP-WINQ WINQ และ NINQ ให้ค่า Mean lateness ที่แทบไม่เปลี่ยนแปลง กฎการจัดเส้นทางในกลุ่มอื่นมี Mean lateness ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะกฎในกลุ่มที่ 2 ซึ่ง Mean lateness เพิ่มขึ้นมาก จากรูปที่ 7.13 ข) พบว่าเมื่อโหลดงานในระบบมากขึ้น กฎการจัดเส้นทางเดินในกลุ่มที่ 1 3 และ 2 บางตัว ซึ่งได้แก่ FuzzyAHP-WINQ WINQ NINQ FuzzyAHP-NF และ SPT ให้ค่า Mean lateness ที่น้อยลง กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มที่ 3 อันได้แก่ FuzzyAHP และ RAN ให้ค่า Mean lateness ที่มากขึ้น

Mean lateness ในที่นี้คือผลต่างของเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จช้ากว่ากำหนดและเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดแล้วหารด้วยจำนวนชิ้นงานทั้งหมด

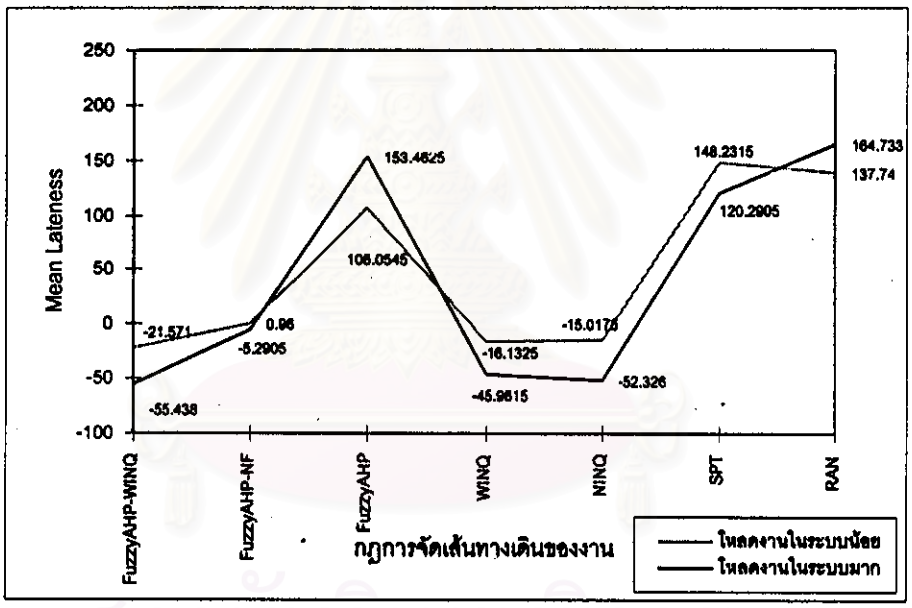
$$\text{Mean lateness} = \left(\sum_{i=1}^{m} \text{เวลาที่เสร็จหลังกำหนด} - \sum_{j=1}^{n} \text{เวลาที่เสร็จก่อนกำหนด}\right)/(m+n) \qquad 7.1)$$

เมื่อ m และ n คือจำนวนชิ้นงานที่เสร็จหลังและก่อนกำหนดตามลำดับ

Mean lateness ที่เป็นลบหมายความว่าเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดมากกว่าเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จช้ากว่ากำหนด ในทางตรงข้าม Mean lateness ที่เป็นบวกหมายความว่าเวลาทั้งหมดที่งานเสร็จก่อนกำหนดน้อยกว่าเวลาทั้งหมดที่งานเสร็จหลังกำหนด ก่อนที่จะพิจารณาถึง Mean lateness ควรพิจารณาถึงเวลาทั้งหมดที่งานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดดังในรูปที่ 7.14 จากรูปที่ 7.14 ก) จะเห็นว่าเมื่อโหลดงานในระบบมากขึ้น เวลาทั้งหมดที่งานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนก็มากขึ้นด้วย เมื่อความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้นดังในรูป 7.14 ข) ขึ้น เวลาทั้งหมดที่งานเสร็จก่อนกำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนก็มากขึ้นเช่นกัน



ก)

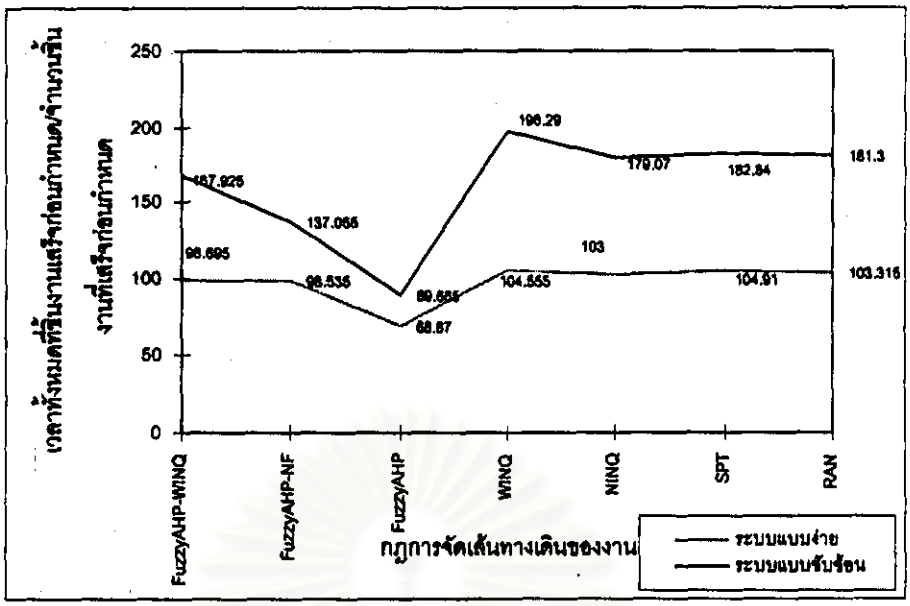


ข)

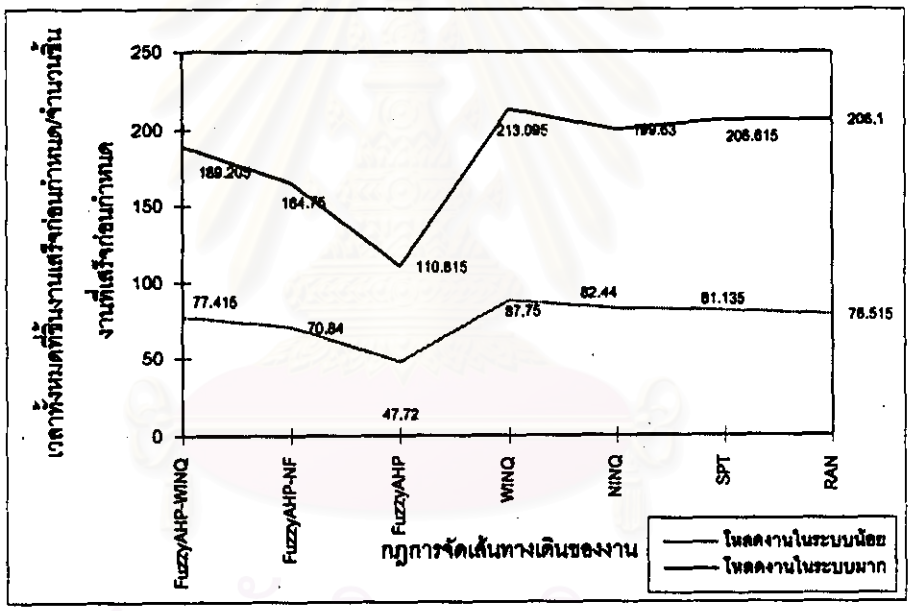
รูปที่ 7.13 ค่าเฉลี่ยของ Mean lateness

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก



ก)



ข)

รูปที่ 7.14 ค่าเฉลี่ยเวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนด/จำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนด

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

ในกรณีที่ Mean lateness ลดลงเมื่อโหลดงานในระบบเพิ่มขึ้น (ในกรณีของ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF WINQ NINQ และ SPT) แสดงว่าเมื่อโหลดงานในระบบเพิ่มขึ้นแม้ว่าเวลาทั้งหมดที่งานล่าช้าต่อจำนวนงานทั้งหมด (Mean tardiness) และปริมาณชิ้นงานที่ทำเสร็จจะเพิ่มขึ้น แต่ชิ้นงานที่เสร็จก่อนกำหนดเสร็จก่อนกำหนดนาน ดังนั้นเวลาทั้งหมดที่งานเสร็จก่อน

กำหนดต่อจำนวนชิ้นงานที่เสร็จก่อนจึงมากพอที่จะทำให้เวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดหารด้วย

จำนวนชิ้นงานทั้งหมดแล้วยังเพิ่มขึ้นมากกว่า Mean tardiness ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น Mean lateness จึงลดลง ในกรณีที่ Mean lateness เพิ่มขึ้นเมื่อความซับซ้อนของระบบเพิ่มขึ้น (ในกรณีของ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP SPT และ RAN) และเมื่อโหลดงานในระบบเพิ่มขึ้น (ในกรณีของ FuzzyAHP และ RAN) แสดงว่าเมื่อความซับซ้อนในระบบหรือโหลดงานของระบบเพิ่มขึ้น เวลาทั้งหมดที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดเพิ่มขึ้นไม่เพียงพอกับ Mean tardiness ที่เพิ่มขึ้น ดังนั้น Mean lateness จึงเพิ่มขึ้น

จากการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า กฎการจัดเส้นทางเดินในกลุ่มที่ 1 ให้ Mean lateness ที่ดีแม้ว่าความซับซ้อนในระบบจะมากขึ้นหรือโหลดงานในระบบจะเพิ่มขึ้น กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มที่ 2 ให้ค่า Mean lateness ที่ไม่น่าพอใจและมีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ กฎการจัดเส้นทางของงานในกลุ่มที่ 3 ให้ค่า Mean lateness ที่ค่อนข้างน่าพอใจ

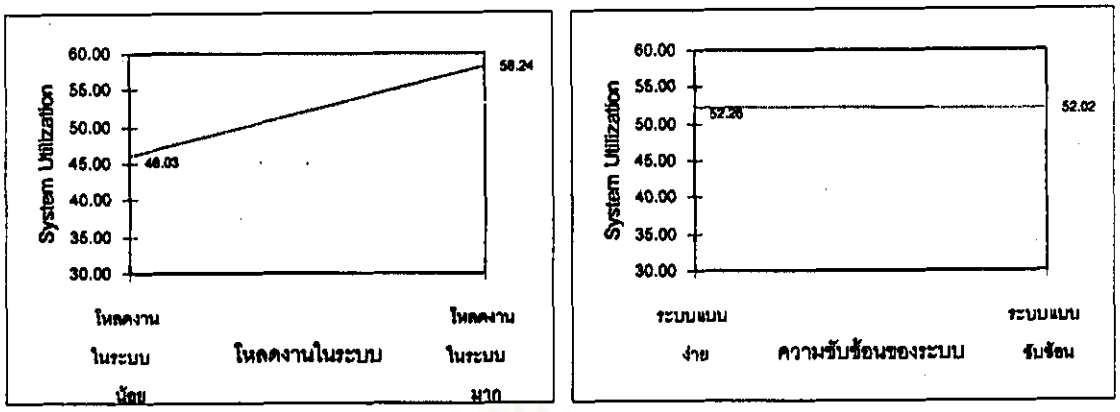
แต่อย่างไรก็ตาม Mean lateness เป็นตัววัดประสิทธิภาพของระบบที่คิดรวมเวลาที่ชิ้นงานเสร็จก่อนและหลังกำหนด Mean lateness ที่เป็นบวกไม่จำเป็นต้องหมายความว่ามีงานที่เสร็จล่าช้ามากกว่างานที่เสร็จก่อนกำหนดเสมอ Mean lateness ที่เป็นบวกเพียงแต่แสดงแนวโน้มว่ามีงานที่เสร็จล่าช้ามากกว่างานที่เสร็จก่อนกำหนดเท่านั้น อีกประการหนึ่งคือ Mean lateness อาจแสดงให้เห็นถึงเวลาที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนดซึ่งในงานวิจัยฉบับนี้ไม่ได้กำหนดประโยชน์ของเวลาที่ชิ้นงานเสร็จก่อนกำหนด ดังนั้นการวิเคราะห์ Mean lateness จึงมีความสำคัญรองจาก Mean tardiness

7.1.3 System utilization

จากตารางที่ 7.1 จะเห็นว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อ System utilization มากที่สุด 2 อันดับคือ ปัจจัยโหลดงานในระบบและปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

7.1.3.1 ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ

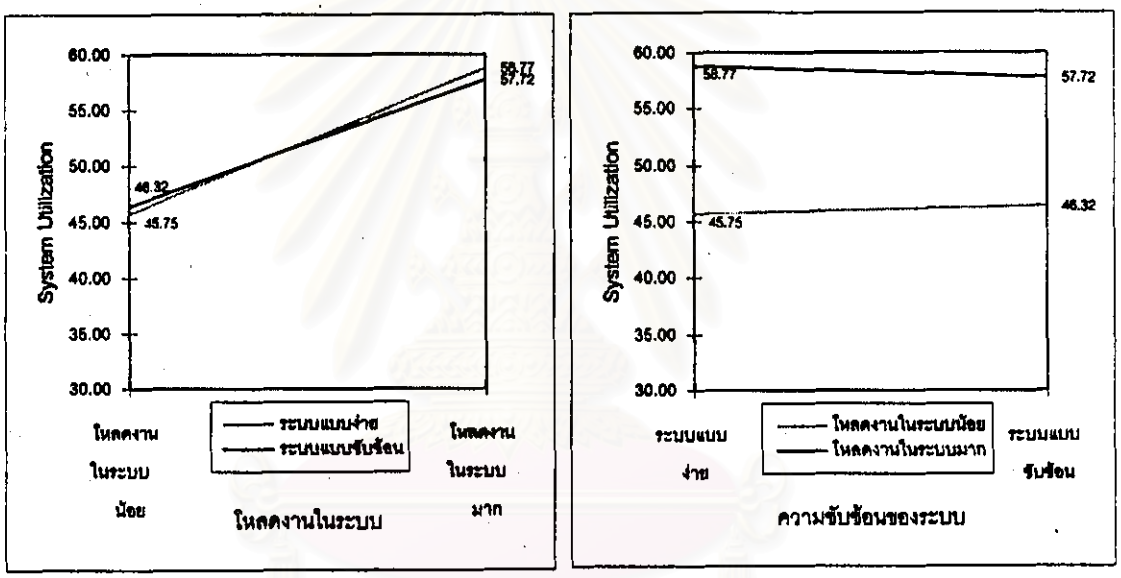
รูปที่ 7.15 ก) และ ข) แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยโหลดงานในระบบและความซับซ้อนของระบบที่มีผลต่อ System Utilization จากรูป 7.15 ก) จะเห็นว่าเมื่อโหลดงานในระบบเปลี่ยนไป System utilization เพิ่มขึ้นค่อนข้างมาก แสดงว่าปัจจัยโหลดงานในระบบมีผลต่อ System Utilization ค่อนข้างมาก ดังค่า F-Ratio ตามตารางที่ 7.1 เท่ากับ 1033.527



ก) ข)

รูปที่ 7.15 ค่าเฉลี่ยของ System Utilization

ก) ต่อการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบ ข) ต่อการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบ



ก) ข)

รูปที่ 7.16 ค่าเฉลี่ยของ System utilization

ก) ผลการเปลี่ยนแปลงของโหลดงานในระบบที่ความซับซ้อนของระบบต่ำและสูง

ข) ผลการเปลี่ยนแปลงของความซับซ้อนในระบบที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

ในทางตรงข้าม รูปที่ 7.15 ข) แสดงผลของการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบที่มีต่อ System utilization จะเห็นว่าความชันของกราฟน้อยมากแสดงว่าเมื่อความซับซ้อนของระบบเปลี่ยนไปไม่ส่งต่อ System utilization ซึ่งจากตารางที่ 7.1จะเห็นว่าการเปลี่ยนแปลงความซับซ้อนของระบบไม่ส่งผลต่อ System utilization อย่างมีนัยสำคัญ

7.1.3.2 ผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบ

รูปที่ 7.16 แสดงผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-โหลดงานในระบบ แม้ว่าเส้นกราฟคู่ในรูปที่ 7.16 ก) และ ข) จะไม่ขนานกันแต่ก็มีความแตกต่างของชันน้อย แสดงว่าผลของปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบไม่ส่งผลต่อ System utilization มากนัก จากรูปที่ 7.16 ก) เมื่อพิจารณาในมุมมองของระบบที่มีความซับซ้อนของระบบในระดับเดียวกันพบว่าระบบทั้งสองแบบจะมี System utilization เพิ่มขึ้นเมื่อโหลดงานในระบบเพิ่มขึ้น แต่อย่างไรก็ตามระบบที่มีความซับซ้อนมากสามารถเพิ่ม System utilization ได้น้อยกว่าระบบที่มีความซับซ้อนน้อยกว่าดังจะเห็นได้ว่าเส้นกราฟของระบบแบบซับซ้อนมีความชันน้อยกว่า จากรูปที่ 7.16 ข) เมื่อพิจารณาจากระบบที่มีโหลดงานในระบบในระดับเดียวกันพบว่าระบบที่มีโหลดงานในระบบน้อยเมื่อเพิ่มความซับซ้อนของระบบแล้ว System Utilization เพิ่มขึ้น แต่ระบบที่มีโหลดงานในระบบมากเมื่อเพิ่มความซับซ้อนของระบบแล้ว System Utilization ลดลง ตามที่ได้อธิบายแล้วว่าการเพิ่มโหลดงานในระบบ หรือ ความซับซ้อนในระบบ หรือ เพิ่มทั้งคู่เป็นการเพิ่มความหนาแน่นของระบบ ระบบที่มีความหนาแน่นของระบบน้อยเกินไปจะทำให้เครื่องจักรไม่ถูกใช้งานอย่างเต็มที่ดังนั้นเมื่อเพิ่มความหนาแน่นของระบบด้วยการเพิ่มโหลดงานในระบบ หรือ ความซับซ้อนในระบบ หรือ เพิ่มทั้งคู่ จะทำให้ System utilization มากขึ้น จนกระทั่งถึงจุดที่ระบบมี System utilization มากที่สุด หลังจากจุดนี้หากยังเพิ่มความหนาแน่นของระบบต่อไป System utilization จะลดลงเนื่องจากเมื่อความหนาแน่นในระบบมากเกินไปจะทำให้ AGV ไม่เพียงพอในการขนส่งชิ้นงานไปยังที่ต่างๆ ดังนั้นจึงเกิด Locking และ Blocking ได้ง่าย เครื่องจักรที่ทำชิ้นงานเสร็จแล้วไม่สามารถขนถ่ายชิ้นงานไปไว้ในแถวคอยขาออกของเครื่องจักรได้เนื่องจาก AGV ยังไม่สามารถมาขนชิ้นงานในแถวคอยนั้นได้ แถวคอยจึงเต็ม เมื่อเครื่องจักรไม่สามารถปล่อยชิ้นงานนั้นได้ เครื่องจักรก็ไม่สามารถรับชิ้นงานอื่นที่คอยอยู่ในแถวคอยขาเข้าของเครื่องจักรมาทำได้ เครื่องจักรจึงว่างไม่สามารถทำงานต่อได้จนกว่า AGV จะมาขนชิ้นงานออกไปจากแถวคอยขาออกของเครื่องจักร

จากเหตุผลดังกล่าวจึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าการกำหนดโหลดของงานให้กับระบบแบบใดๆ ต้องพิจารณาไม่ให้มีความหนาแน่นของระบบมากเกินไปจนทำให้ System utilization ลดลงได้

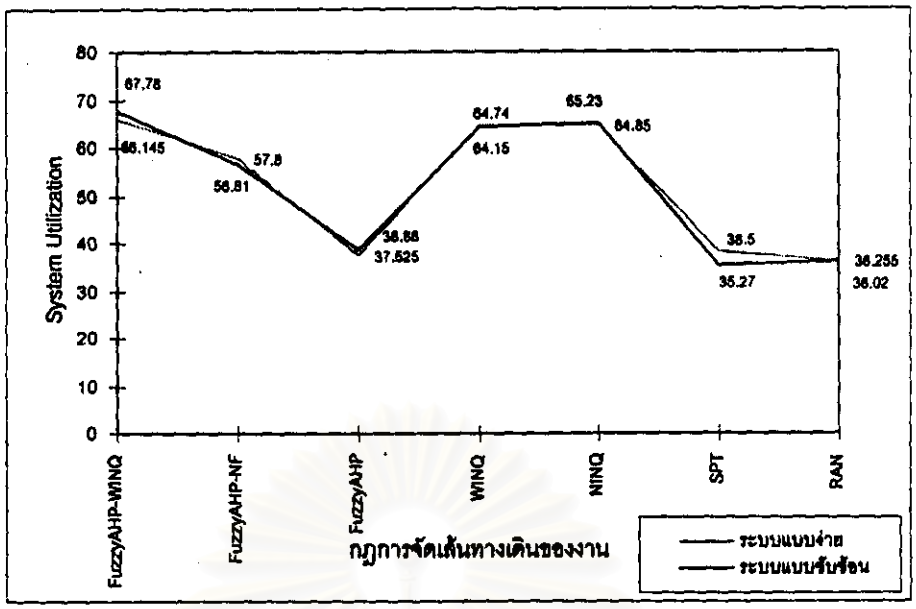
7.1.3.3 ผลของปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

รูปที่ 7.17 ก) แสดงผลของปัจจัยร่วม ความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน รูปที่ 7.18 ข) แสดงผลของปัจจัยร่วม โหลดงานในระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน ซึ่งจะเห็นว่าผลของปัจจัยร่วมมีน้อยเนื่องจากเส้นกราฟคู่ทั้งในรูป 7.17 ก) และ ข) ค่อนข้างขนานกัน เมื่อความซับซ้อนของระบบเปลี่ยนไปไม่ค่อยมีผลต่อค่าเฉลี่ยของ System utilization ในแต่ละกฎการจัดเส้นทางเดินของงานนัก (รูปที่ 7.17 ก)) เนื่องจากค่าเฉลี่ยของ System utilization ในรูป 7.17 ก)

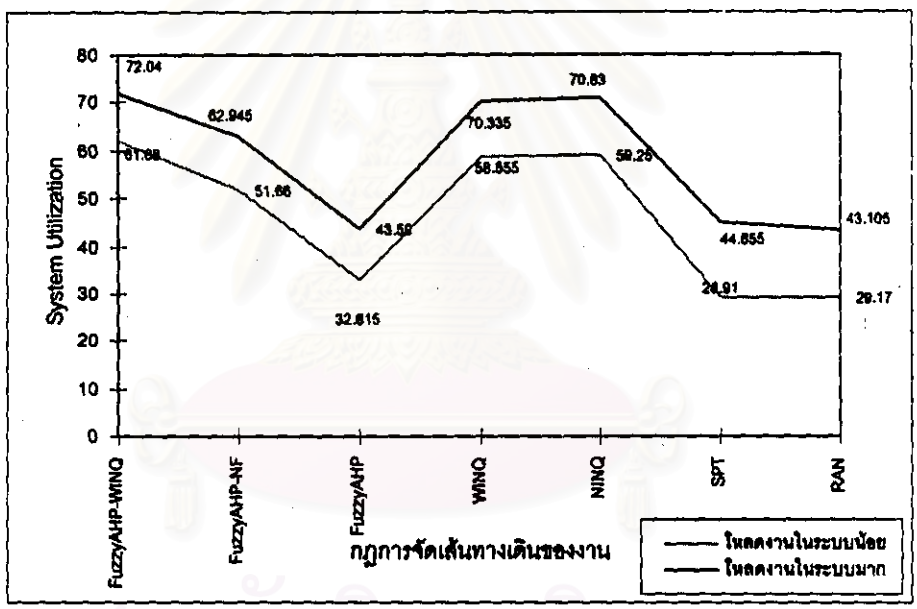
เป็นค่าเฉลี่ยของการเปลี่ยนความซับซ้อนของระบบที่โหลดงานในระบบมากและน้อย ตามที่ได้เสนอไปแล้วว่า เมื่อโหลดงานในระบบมาก การเพิ่มความซับซ้อนของระบบทำให้ System utilization ลดลง เมื่อโหลดงานในระบบน้อยการเพิ่มความซับซ้อนในระบบทำให้ System utilization มากขึ้น เมื่อนำมาเฉลี่ยกันแล้วการเปลี่ยนความซับซ้อนของระบบจึงไม่ทำให้ System Utilization เปลี่ยนไปมากนัก ในทางกลับกันการเพิ่มโหลดงานของระบบทำให้ System utilization ของแต่ละกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเพิ่มขึ้นพอสมควร

กฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มที่ 1 ให้ค่า System utilization ที่มากที่สุด รองลงไปคือกฎการจัดเส้นทางเดินของงานในกลุ่มที่ 3 และ 2 ตามลำดับ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ก)



ข)

รูปที่ 7.17 ค่าเฉลี่ยของ System utilization

ก) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่ความซับซ้อนในระบบต่ำและสูง

ข) เมื่อใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบต่างๆที่โหลดงานในระบบน้อยและมาก

7.2 การทดสอบปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ดีที่สุดเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเท่านั้นภายใต้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

เมื่อวิเคราะห์ผลของปัจจัยความซับซ้อนของระบบ โหลดงานของระบบ และกฎการจัดเส้นทางเดินของงานรวมทั้งผลของปัจจัยร่วมต่อพฤติกรรมของระบบแล้ว จุดที่น่าสนใจอีกประการหนึ่งคือหากคิดเฉพาะปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแล้ว กฎใดจะให้พฤติกรรมของระบบที่ดีที่สุด ในการวิเคราะห์นี้ได้ทดสอบข้อมูลชุดเดิมด้วย Duncan's multiple range test ด้วยระดับนัยสำคัญ 5% ภายใต้การออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล

ตารางที่ 7.2 ผลของ Duncan's multiple range test

กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน	Mean flow time	Mean tardiness	Mean lateness	Proportion of tardy jobs	System utilization
FuzzyAHP-WINQ	218.93a	51.88a	-38.50a	30.09a	66.96a
FuzzyAHP-NF	258.06c	70.46b	-2.17b	38.90b	57.30c
FuzzyAHP	388.58d	162.56c	129.76c	56.33d	38.20d
WINQ	229.50b	69.48b	-31.07a	30.43a	64.44b
NINQ	224.18a,b	61.52b	-33.67a	30.01a	65.04b
SPT	392.38d	196.93d	134.26c	54.86c	36.88d,e
RAN	408.02e	209.18e	151.24d	56.93d	36.14e

หมายเหตุ: a b c d และ e แสดง Homogeneous group

จากตารางที่ 7.2 จะสามารถสรุปผลของปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีต่อพฤติกรรมด้านต่างๆของระบบเมื่อพิจารณาเฉพาะปัจจัยกฎการจัดเส้นทางเดินของงานปัจจัยเดียวได้ดังต่อไปนี้

7.2.1 สำหรับกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน FuzzyAHP และกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่พัฒนามาจาก FuzzyAHP อันได้แก่ FuzzyAHP-NF และ FuzzyAHP-WINQ นั้นพบว่าการเพิ่มอัลกอริทึมในการตัดเครื่องจักรเสียให้กับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP (FuzzyAHP-NF) และการใช้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF ร่วมกับ WINQ (FuzzyAHP-WINQ) ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP เป็นอันมาก ดังจะเห็นได้จากการจัดกลุ่มในตารางที่ 7.2 ว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานทั้งแบบ FuzzyAHP-WINQ และ FuzzyAHP-NF ถูกจัดอยู่ในกลุ่มที่ดีกว่า FuzzyAHP

7.2.2 เมื่อเปรียบเทียบกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ กับ WINQ พบว่าการพิจารณาคุณลักษณะของทางเลือกอันได้แก่ W Pr และ P ตามวิธีของ FuzzyAHP-NF เพิ่มขึ้นจากกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ WINQเพียงอย่างเดียว ทำให้ค่าเฉลี่ยของพฤติกรรมของระบบดีขึ้นทุกด้าน โดยเฉพาะด้าน Mean flow time Mean tardiness และ System utilization ซึ่งกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ผลดีแตกต่างกับกฎแบบ WINQ อย่างมีนัยสำคัญ

7.2.3 การพิจารณาคุณลักษณะของทางเลือก W Pr และ P ทำให้กฎการจัดเส้นทางเดินของงานให้ระบบซึ่งมีพฤติกรรมทางด้าน Mean tardiness ที่ดีขึ้น กล่าวคือ

- กฎ FuzzyAHP-WINQ ให้ Mean tardiness ที่ดีแตกต่างกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ
- กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-NF ให้ Mean tardiness ที่อยู่ในกลุ่มเดียวกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่มีประสิทธิภาพดีอันได้แก่ NINQ และ WINQ
- โดยทั่วไปแล้วกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP จัดอยู่ในกลุ่มเดียวกับกฎแบบ SPT และRAN แต่ในกรณีของ Mean tardiness พบว่ากฎแบบ FuzzyAHP ดีแตกต่างจากกฎแบบ SPT และ RAN

7.2.4 กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ทำให้ System utilization ของระบบดีกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

7.2.5 สำหรับพฤติกรรมของระบบทางด้าน Mean flow time พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานที่ให้ Mean flow time ดี 3 อันดับเรียงจากน้อยไปมากคือ FuzzyAHP-WINQ NINQ และ WINQ ตามลำดับ แม้ว่ากฎแบบ FuzzyAHP-WINQ จะให้ค่า Mean flow time ที่น้อยกว่า กฎแบบ NINQ อย่างไม่มีนัยสำคัญแต่อย่างไรก็ตามไม่ได้หมายความว่ากฎแบบ FuzzyAHP-WINQ ไม่ให้ค่า Mean flow time ที่แตกต่างจาก กฎแบบ NINQ แต่ด้วยจำนวนตัวอย่างที่ใช้ในการทดลองอาจทำให้ไม่เห็นความแตกต่างอย่างมีนัยสำคัญ

7.3 สรุป

7.3.1 จากการทดสอบประสิทธิภาพของกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน 7 แบบได้แก่ FuzzyAHP-WINQ FuzzyAHP-NF FuzzyAHP WINQ NINQ SPT และ RAN ที่สภาวะความซับซ้อนของระบบและโหลดงานในระบบต่างๆ ซึ่งได้ออกแบบการทดลองเป็นแบบแฟคทอเรียลโดยมีปัจจัยหลักคือ ความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ และกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน พบว่า

7.3.1.1 สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean flow time ปัจจัยหลัก (ความซับซ้อนของระบบ โหลดงานในระบบ และ กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน) รวมทั้งปัจจัยร่วมของทั้งสามปัจจัยหลักส่งผลกระทบต่อ Mean flow time อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยสามารถเรียงลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean flow time มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ ปัจจัยหลักโหลดงานในระบบ และปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-โหลดงานในระบบ

7.3.1.2 สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean tardiness ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัย ส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยสามารถเรียงลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ ปัจจัยหลักกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยหลักโหลดงานในระบบ

7.3.1.3 สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Mean lateness ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัย ส่งผลกระทบต่อ Mean tardiness อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยสามารถเรียงลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Mean lateness มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ ปัจจัยหลักกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน และปัจจัยร่วมความซับซ้อนของระบบ-กฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

7.3.1.4 สำหรับประสิทธิภาพของระบบด้าน Proportion of tardy jobs ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมทุกปัจจัย ส่งผลกระทบต่อ Proportion of tardy jobs อย่างมีนัยสำคัญที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยสามารถเรียงลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ Proportion of tardy jobs มากที่สุด 3 ลำดับคือ ปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบ ปัจจัยหลักกฎการจัดเส้นทางเดินของงานและปัจจัยหลักโหลดงานในระบบ

7.3.1.5 สำหรับประสิทธิภาพของระบบทางด้าน System utilization ปัจจัยหลักความซับซ้อนของระบบเพียงปัจจัยเดียวไม่ส่งผลอย่างมีนัยสำคัญต่อ System utilization ที่ระดับนัยสำคัญ 5% โดยสามารถเรียงลำดับปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อ System

utilization มากที่สุด 2 ลำดับคือ ปัจจัยหลักโหลดงานในระบบและปัจจัยหลักกฎการจัดเส้นทางเดินของงาน

7.3.2 เมื่อทดสอบเฉพาะกฎการจัดเส้นทางเดินของงานเพียงอย่างเดียวโดยไม่คำนึงถึงปัจจัยอื่น ผลจาก Duncan's multiple range test ที่ระดับนัยสำคัญ 5% ภายใต้การทดลองแบบแฟคทอเรียล พบว่า

7.3.2.1 กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ทำให้ประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean tardiness และ System utilization ดีกว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบอื่นอย่างมีนัยสำคัญ

7.3.2.2 สำหรับประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean flow time พบว่า กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ Mean flow time ที่น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ NINQ

7.3.2.3 สำหรับประสิทธิภาพของระบบในด้าน Mean lateness พบว่า กฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ ให้ Mean lateness ที่น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ WINQ และ NINQ

7.3.2.4 สำหรับประสิทธิภาพของระบบในด้าน Proportion of tardy jobs พบว่ากฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ NINQ ให้ Proportion of tardy jobs น้อยที่สุดแต่ไม่แตกต่างอย่างมีนัยสำคัญกับกฎการจัดเส้นทางเดินของงานแบบ FuzzyAHP-WINQ และ WINQ

สถาบันวิทยบริการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย