



การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลา
การผลิตไม่แน่นอน

โดย

นายจิระศักดิ์ ชาบาง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลา
การผลิตไม่แน่นอน

โดย

นายจิระศักดิ์ ชาบาง



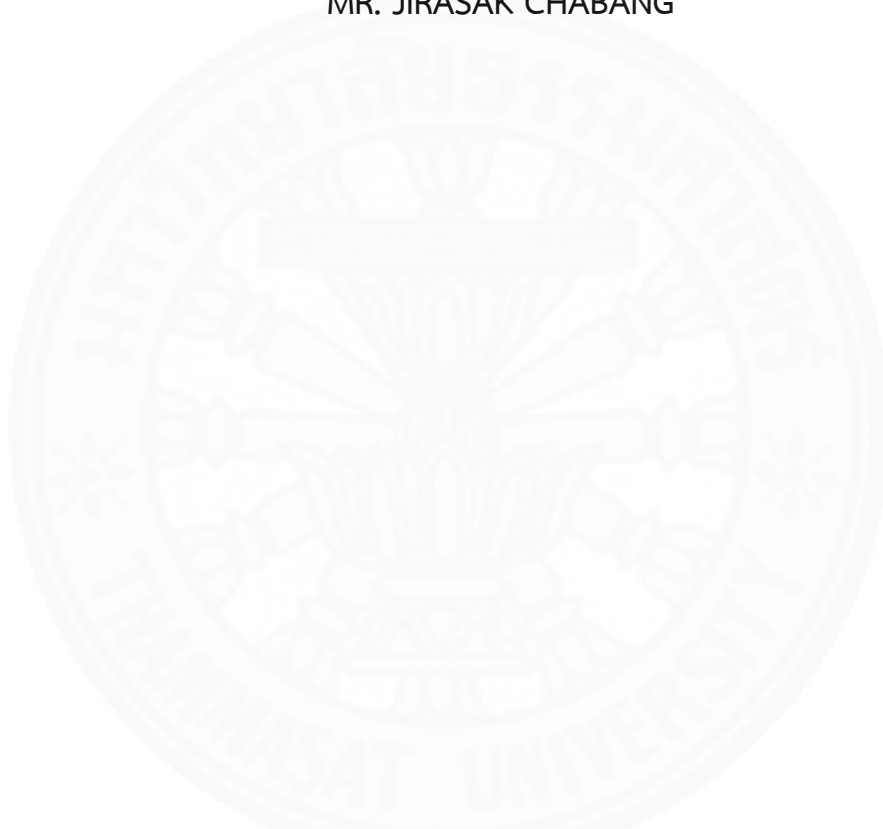
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ปีการศึกษา 2559
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์



APPLICATIONS OF THE ANT COLONY ALGORITHM FOR FLOW SHOP
SCHEDULING UNDER UNCERTAIN PROCESSING TIME

BY

MR. JIRASAK CHABANG



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF THE REQUIREMENTS
FOR THE DEGREE OF MASTER OF ENGINEERING IN
INDUSTRIAL ENGINEERING
DEPARTMENT OF INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF ENGINEERING
THAMMASAT UNIVERSITY
ACADEMIC YEAR 2016
COPYRIGHT OF THAMMASAT UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
คณะวิศวกรรมศาสตร์

วิทยานิพนธ์

ของ

นายจิระศักดิ์ ชาบง

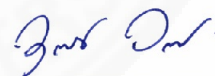
เรื่อง

การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

ได้รับการตรวจสอบและอนุมัติ ให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

เมื่อ 5 มกราคม พ.ศ. 2560

ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศน์เกียรติ)

กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์



(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาะระราช)

กรรมการสอบวิทยานิพนธ์



(รองศาสตราจารย์ ดร. กรินทร์ กาญจนานนท์)

คณบดี



(รองศาสตราจารย์ ดร. ประภัสสร วังศกาญจน์)

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน
ชื่อผู้เขียน	นายจิระศักดิ์ ชาบง
ชื่อปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชา/คณะ/มหาวิทยาลัย	สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สวัสดิ์ ภาระราช
ปีการศึกษา	2559

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตในการแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตที่เป็นพิสัย ภายใต้เครื่องจักร 3 เครื่องจักร (สถานี) ที่มีจำนวนงานในการทดลองจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน จุดประสงค์หาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) ที่น้อยที่สุด ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเป็นตัวชี้วัดการกระจายของเวลาเสร็จสิ้น หมายความว่าหากตารางการผลิตใดมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมาก แสดงว่าจะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จสิ้นของตารางการผลิตมากกว่าตารางการผลิตที่มีพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อย ผลการทดลองพบว่า การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตสามารถแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตที่เป็นพิสัยได้ โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้ 40 ชม. 54 ชม. และ 70 ชม. จากจำนวนงาน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน ตามลำดับ ซึ่งพารามิเตอร์ประชากรมตเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคุณภาพของคำตอบ โดยค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการทดลอง คือ ประชากรมต 10 พีโรโมน 0.50 อัตราการระเหยของพีโรโมน 0.05 ถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารพีโรโมน 1 ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 และพีโรโมนอัปเดต 0.90

คำสำคัญ : การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น, เวลาการผลิตไม่แน่นอน, วิธีอาณาจักรมต

Thesis Title	APPLICATIONS OF THE ANT COLONY ALGORITHM FOR FLOW SHOP SCHEDULING UNDER UNCERTAIN PROCESSING TIME
Author	Mr. Jirasak Chabang
Degree	Master of Engineering
Department/Faculty/University	Industrial Engineering Faculty of Engineering Thammasat University
Thesis Advisor	Asst. Prof. Dr. Sawat Pararach
Academic Years	2016

ABSTRACT

This paper related to application of the ant colony algorithm for flow shop scheduling under uncertain processing time on three machines (stations). The number of jobs to be considers are 8, 12, and 16 to find a schedule that has minimum of time between the maximum makespan and minimum makespan called “makespan range” The makespan range measures the dispersion of the makespan, it mean that if that production schedule that has more makespan range, it will has more uncertainty than the production schedule that has less makespan range. The result showed that the ant colony algorithm could solve well for the flow shop scheduling under uncertain processing time problems. The makespan ranges for problem instant were 40, 54, and 70 hours for problem of 8, 12, and 16 jobs respectively. The ant population was the main parameter affected the quality of solutions. The optimal parameters are the ant population 10, the deposited pheromone 0.50, the pheromone evaporation 0.05, the visibility weight 1.0, the random reasonably data 0.10, and the update pheromone 0.90.

Keywords: Flow Shop Scheduling, Uncertain Processing Time, Ant Colony Algorithm

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำงานวิจัยครั้งนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี โดยได้รับความร่วมมือและได้รับการช่วยเหลืออย่างดียิ่งจากบุคคลหลายๆ ท่านที่ได้ให้คำปรึกษา แนะนำแหล่งค้นคว้า และข้อเสนอแนะต่างๆ อันเป็นประโยชน์ต่อการจัดทำงานวิจัย ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สวัสดิ์ ภาระราช อาจารย์ที่ปรึกษา รวมทั้งคณะกรรมการสอบ รองศาสตราจารย์ ดร. วุฒิชัย วงษ์ทัศนีย์กร และ รองศาสตราจารย์ ดร. กรินทร์ กาญจนานนท์ ที่ได้กรุณาให้คำปรึกษา ตรวจสอบชี้แนะแนวทางในการแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ และขอขอบคุณทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทำให้งานวิจัยนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี

ขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ คุณแม่ ครอบครัว และเพื่อนๆ ทุกท่านที่เป็นกำลังใจและให้คำแนะนำที่ดี ทำให้การเรียนประสบความสำเร็จ

ประโยชน์อันใดที่เกิดจากงานวิจัยนี้ย่อมเป็นผลมาจากความกรุณาของท่านดังกล่าวข้างต้น ข้าพเจ้ารู้สึกซาบซึ้งใจเป็นอย่างยิ่ง จึงขอขอบพระคุณอย่างสูงไว้ ณ โอกาสนี้

นายจิระศักดิ์ ชาบาง

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	(1)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	(2)
กิตติกรรมประกาศ	(3)
สารบัญตาราง	(10)
สารบัญภาพ	(12)
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	2
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย	3
1.5 แผนงานวิจัย	4
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
บทที่ 2 วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	6
2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	6
2.1.1 การจัดตารางการผลิต	6
2.1.2 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น	9
2.1.2.1 สมมติฐานเกี่ยวกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น	11
2.1.3 ปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด	13
2.1.4 วิธีการอาณัติกรรมด	13

2.1.4.1 หลักการทำงานของวิธีอาณาจักรมด	15
2.1.5 การเลือกคำตอบด้วยวิธีวงล้อเสี่ยงทาย	18
2.1.6 การจัดลำดับการผลิต	19
2.1.7 การจัดลำดับการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน	20
2.2 การออกแบบการทดลอง	21
2.2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล	22
2.2.1.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย	23
2.2.1.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k	23
2.2.1.3 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ	23
2.2.2 สมมติฐานทางสถิติ	23
2.2.2.1 การทดสอบสมมติฐานทางเดียว	23
2.2.2.2 การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง	24
2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน	25
2.2.4 P-Value	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	29
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย	30
3.1.1 คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์	30
3.1.2 คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์	30
3.2 เวลาการผลิตที่มีค่าเป็นพิสัย	30
3.2.1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิต	31
3.3 กระบวนการจัดลำดับการผลิต	33
3.3.1 โครงสร้างการทำงานของวิธีอาณาจักรมด	33
3.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีอาณาจักรมด	33
3.3.3 การกำหนดข้อมูลตารางการผลิต	34
3.3.4 การสร้างตารางการผลิตในการทดลอง	35
3.3.5 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมด	36
3.4 การทดลองการจัดลำดับการผลิต	38

3.4.1 การทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น	38
3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม	45
บทที่ 4 ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล	48
4.1 การจัดทำตารางการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมด	48
4.1.1 การออกแบบการทดลองในการจัดทำตารางการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมด	48
4.2 ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น	49
4.2.1 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 8 งาน	49
4.2.1.1 ผลการทดลองหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน	49
4.2.1.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	49
4.2.1.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA ของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	50
4.2.1.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนของพิสัยเวลาเสร็จสิ้น	52
4.2.1.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น	54
4.2.1.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	58
4.2.1.7 แบบเซ็นทรัลคอมโพสิต	58
4.2.1.8 เวลาที่ใช้ในการทดลองของงานจำนวน 8 งาน	60
4.2.2 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 12 งาน	61
4.2.2.1 ผลการทดลองหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน	61
4.2.2.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	61
4.2.2.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA ของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	62
4.2.2.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	64
4.2.2.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น	66
4.2.2.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	70
4.2.2.7 แบบเซ็นทรัลคอมโพสิต	70
4.2.2.8 เวลาที่ใช้ในการทดลองของงานจำนวน 12 งาน	73
4.2.3 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 16 งาน	73
4.2.3.1 ผลการทดลองหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน	73

4.2.3.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ	74
4.2.3.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA ของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	74
4.2.3.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	76
4.2.3.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น	78
4.2.3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	82
4.2.3.6 แบบเซ็นทรัลคอมโพสิต	82
4.2.3.7 เวลาที่ใช้ในการทดลองของงานจำนวน 16 งาน	85
4.2.4 การทดลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด	85
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	87
5.1 สรุปผลการวิจัย	87
5.1.1 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนโดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมด	87
5.1.1.1 การทดสอบสมมติฐาน	88
5.1.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง	89
5.1.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด	92
5.1.3.1 การทดลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	93
5.2 อภิปรายผล	93
5.3 ข้อเสนอแนะ	95
รายการอ้างอิง	96
ภาคผนวก	99
ภาคผนวก ก ค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของงาน จำนวน 5 งาน	100
ภาคผนวก ข โปรแกรมการจัดลำดับการผลิต	105
ภาคผนวก ค ผลการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนด้วยวิธีอาณาจักรมด จำนวน 8 งาน	106

ภาคผนวก ง ผลการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นด้วยวิธีอาณาจักรมด จำนวน 12 งาน	109
ภาคผนวก จ ผลการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นด้วยวิธีอาณาจักรมด จำนวน 16 งาน	112
ประวัติผู้เขียน	115



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 แผนการดำเนินงาน	4
2.1 การวางแผนการผลิต	6
2.2 การศึกษาการจัดลำดับการผลิต	7
2.3 การประยุกต์ใช้วิธีการอาณาจักรมตกับปัญหาต่างๆ	18
2.4 เวลาการผลิตในแต่ละงาน	20
2.5 เวลาการดำเนินงานในกระบวนการผลิต	20
2.6 ตัวอย่างการตั้งสมมติฐานทางการวิจัยและสมมติฐานทางสถิติในรูปแบบต่างๆ	25
2.7 วิเคราะห์ความแปรปรวน	26
3.1 ค่าช่วงของพารามิเตอร์	34
3.2 เวลาการผลิตที่ใช้ในการทดลอง	35
3.3 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของงานจำนวน 5 งาน	45
3.4 ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	46
4.1 ระดับปัจจัยในแต่ละพารามิเตอร์ของวิธีอาณาจักรมต	48
4.2 ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	59
4.3 ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	59
4.4 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นของงาน จำนวน 8 งาน	60
4.5 ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	71
4.6 ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	71
4.7 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นของงาน จำนวน 12 งาน	72
4.8 ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	83
4.9 ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design	83

4.10 พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นของงาน จำนวน 16 งาน	84
4.11 การทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	85
4.12 เวลาประมวลผลจากการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม	86
5.1 ผลการทดลองจัดลำดับการผลิต	87
5.2 วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว	88
5.3 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การทดลอง	89
5.4 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด	92
5.5 เปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังการทดลองจากค่าพารามิเตอร์ ที่เหมาะสมที่สุด	93



สารบัญญภาพ

ภาพที่	หน้า
2.1 วิธีการจัดลำดับการผลิตรูปแบบต่างๆ	9
2.2 โครงสร้างระบบการผลิตแบบไหลลื่น	10
2.3 ระบบการผลิตแบบไหลลื่นที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 2 เครื่องจักร	10
2.4 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น	11
2.5 เส้นทางการเดินทางหาอาหารของมด	14
2.6 เส้นทางการเดินทางหาอาหารของมด โดยการอาศัยการสื่อสารทางฟีโรโมน	15
2.7 โครงสร้างทั่วไปของวิธีอาณาจักรมด	16
2.8 วงกลมรูเล็ท	19
2.9 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ	22
2.10 กรณีการทดสอบมากกว่า (Upper-tailed test)	27
2.11 กรณีการทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed test)	27
2.12 กรณีการทดสอบไม่เท่ากัน (Two-tailed test)	28
3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย	29
3.2 ข้อมูลเวลาการผลิตค่ามาก และเวลาการผลิตค่าน้อย	31
3.3 พิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 3 งานบนเครื่องจักร 2 เครื่องจักร	32
3.4 โครงสร้างการทำงานของวิธีอาณาจักรมด	33
3.5 โอกาสความน่าจะเป็นของเวลาการผลิตไม่แน่นอน	34
3.6 การสร้างตารางเวลาการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน	35
3.7 เวลาการผลิตค่ามากและเวลาการผลิตค่าน้อย	35
3.8 ตารางเวลาการผลิตพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น	44
3.9 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์	47
4.1 ผลการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน	49
4.2 แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติจำนวน 8 งาน	50
4.3 การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตักข้างจำนวน 8 งาน	51
4.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยพิสัยเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน	53
4.5 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน	54
4.6 ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน	55

4.7	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer	58
4.8	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design	59
4.9	เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน	60
4.10	ผลการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งาน	61
4.11	แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติจำนวน 12 งาน	62
4.12	การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตกค้างจำนวน 12 งาน	63
4.13	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 12 งาน	65
4.14	ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 12 งาน	66
4.15	ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 12 งาน	67
4.16	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer	70
4.17	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design	72
4.18	เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งาน	73
4.19	ผลการทดลองพิสัยเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งาน	73
4.20	แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติจำนวน 16 งาน	74
4.21	การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตกค้างจำนวน 16 งาน	75
4.22	ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยของพิสัยเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 16 งาน	77
4.23	ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 16 งาน	78
4.24	ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จำนวน 16 งาน	79
4.25	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer	82
4.26	ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design	84
4.27	เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งาน	85
5.1	ปัจจัยประชากรมดที่มีผลต่อผลตอบ	91

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การจัดลำดับการผลิตนับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างยิ่งในกระบวนการผลิต ซึ่งจะหมายถึงเวลาในการผลิต ต้นทุนการผลิต รวมถึงโอกาสในการแข่งขันทางธุรกิจ ดังนั้นความสำคัญของปัญหาด้านการจัดลำดับการผลิตเป็นอีกปัญหาหนึ่งในกระบวนการผลิต หากมีการวางแผนการผลิตไม่ดี ไม่มีประสิทธิภาพ อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของอุตสาหกรรม ซึ่งหากวางแผนการผลิตให้งานเสร็จเร็วเกินไป ปัญหาด้านพื้นที่การจัดเก็บสินค้าสำเร็จรูป ต้นทุนด้านการจัดเก็บสินค้าก็จะตามมา หรือหากวางแผนการผลิตให้งานเสร็จช้า อาจมีปัญหาด้านการจัดส่งสินค้า เสียค่าปรับ หรือต้องเสียค่าจ้างล่วงเวลาในการทำงาน และหากโรงงานอุตสาหกรรมนั้นมีการจัดลำดับงานที่ดีมีประสิทธิภาพ จะสามารถลดต้นทุนการผลิตให้ต่ำลง คน และเครื่องจักรจะถูกใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ระบบการทำงานต่อเนื่อง ไม่ก่อให้เกิดการรอคอยงาน ในกระบวนการวางแผนการผลิตจำเป็นต้องคำนึงถึงเวลาในการผลิตในแต่ละขั้นตอน ซึ่งเวลาในการผลิตของแต่ละขั้นตอนอาจมีค่าไม่คงที่หรือมีค่าไม่แน่นอน ทำให้การจัดลำดับงานต้องคำนึงถึงรูปแบบเวลาการผลิตที่จะเป็นไปได้ทั้งหมดที่จะเกิดขึ้น ปัญหานี้เรียกว่า ปัญหาการจัดตารางเวลาการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน (Flow Shop Scheduling with Uncertain Processing Time : FSUPT)

ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop Scheduling) เป็นปัญหาหนึ่งที่ได้รับ ความสนใจในการค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดในการดำเนินงาน ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนสามารถแก้ไขปัญหาโดยการใช้หลักของการวิจัยการดำเนินงาน (Operations Research) ซึ่งปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนจะมีความซับซ้อนในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution) การแก้ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนด้วยวิธีดีเทอร์มินิสติกส์ (Deterministic) เป็นการแก้ปัญหาที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่จะใช้เวลาในการค้นหาคำตอบค่อนข้างนาน ในปัจจุบันวิธีการจัดตารางการผลิตนั้น เพื่อต้องการให้ค้นหาคำตอบในเวลาที่รวดเร็วและยอมรับได้ ดังนั้นเพื่อเพิ่มความสามารถในการจัดลำดับการผลิต จึงนิยมใช้วิธีการหาคำตอบที่ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีดีเทอร์มินิสติกส์ จึงนิยมใช้วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) นำมาใช้แก้ปัญหาในการหาคำตอบ ถึงแม้วิธีเมตาฮิวริสติกจะไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ได้นั้นก็ถือว่ายอมรับได้หรือใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด จึงนำวิธีอาณัติมาประยุกต์ใช้กับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน

วิธีอาณานิคม (Ant Colony Algorithm) เป็นอัลกอริทึมของวิธีเมตาฮิวริสติก ซึ่งจัดอยู่ในกลุ่มวิธีการทางปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) ซึ่งจะใช้หลักความน่าจะเป็นมาช่วยในการหาคำตอบ วิธีอาณานิคมหรือวิธีระบบเคลื่อนแบบมาจากพฤติกรรมการหาอาหารของมด ในระหว่างเดินทางหาอาหารมดจะปล่อยสารเคมีที่ชื่อว่าฟีโรโมน (Pheromone) ออกมา เพื่อให้มดตัวอื่นๆ เดินทางตามกลิ่นของฟีโรโมนไปหาอาหาร เมื่อระยะเวลาผ่านไปฟีโรโมนจะระเหยไปตามคุณสมบัติทางเคมี ซึ่งวิธีอาณานิคมจะมีจุดด้อยทางด้านสมรรถนะของเวลาในการค้นหาคำตอบ เนื่องจากต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบค่อนข้างนาน ถ้ารูปแบบของปัญหาเปลี่ยนไป ค่าพารามิเตอร์ต้องเปลี่ยนไปตามความเหมาะสม ซึ่งค่าน้ำหนักของฟีโรโมนและค่าน้ำหนักของฮิวริสติกต้องใช้เวลาในการหาคำตอบที่เหมาะสม โดยในรอบ 10 ปีที่ผ่านมา มีการวิจัยและการพัฒนาวิธีการหาคำตอบแบบอาณานิคมน้อยมาก เมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ เช่น วิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) และวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) จึงทำให้วิธีการนี้ไม่ได้รับการพัฒนาเท่าที่ควร (สรุประเบิด, 2554)

การจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนในการวิจัยส่วนใหญ่มักถูกกำหนดให้เวลาในการผลิตเป็นค่าคงที่ แต่ในความเป็นจริงเวลาในการผลิตของแต่ละงานในแต่ละเครื่องจักรอาจมีค่าไม่คงที่หรือมีค่าไม่แน่นอนตามสถานการณ์ที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต ในการจัดลำดับการผลิตจึงต้องคำนึงถึงช่วงเวลาที่สามารถเกิดขึ้นทั้งหมดในกระบวนการผลิต ซึ่งในงานวิจัยนี้สนใจที่จะศึกษาการจัดลำดับการผลิตที่มีเวลาเป็นค่าพิสัย ระหว่างเวลาในการผลิตที่เร็วที่สุดกับเวลาในการผลิตที่ช้าที่สุดในการดำเนินการผลิต โดยใช้วิธีอาณานิคมมาพัฒนาร่วมกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาคำตอบการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น จึงเป็นเหตุทำให้เกิดความสนใจในงานวิจัยฉบับนี้เพื่อขยายผลทางวิชาการ โดยมีวัตถุประสงค์ของการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอนในการศึกษาครั้งนี้ เพื่อต้องการหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุด และค่าพารามิเตอร์ของวิธีอาณานิคมที่เหมาะสมที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษารูปแบบการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน ภายใต้เวลาการผลิตมีค่าเป็นพิสัย
2. จัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่ให้ผลเฉลี่ยที่พิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด โดยวิธีอาณานิคม
3. ศึกษาค่าพารามิเตอร์ของวิธีอาณานิคมที่มีผลต่อการหาคำตอบที่เหมาะสม

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

1. การศึกษานี้เป็นการศึกษาการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาในการผลิตไม่แน่นอน เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนของระบบการผลิตแบบไหลลื่นกรณีเวลาในการผลิตไม่แน่นอนในรูปแบบเวลาการผลิตมีค่าเป็นพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
2. ขนาดของปัญหาที่ใช้ทดลองงานจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน และเครื่องจักรจำนวน 3 เครื่อง

1.4 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษางานวิจัยและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่น และวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด
2. ศึกษาวิธีการจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมต
3. ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป เพื่อใช้ในการจัดตารางการผลิต
4. หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม
5. ทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมและเปรียบเทียบผลที่ได้จากการทดลอง
6. วิเคราะห์ผลและสรุปผล

1.5 แผนงานวิจัย

ตารางที่ 1.1

แผนการดำเนินงาน

กิจกรรม	ระยะเวลาดำเนินงาน							
	2557	2558				2559		
	ก.ย. - ธ.ค.	ม.ค. - มี.ค.	เม.ย. - มิ.ย.	ก.ค. - ก.ย.	ต.ค. - ธ.ค.	ม.ค. - มี.ค.	เม.ย. - มิ.ย.	ก.ค. - ก.ย.
กำหนดปัญหางานวิจัยและเลือกหัวข้องานวิจัย								
ศึกษาความสำคัญของปัญหา								
ศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง								
ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง								
ออกแบบวิธีการวิจัยเบื้องต้น								
ออกแบบโปรแกรมสำเร็จรูปเบื้องต้น								
สอบโครงร่างวิทยานิพนธ์								
ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป								
วิเคราะห์ผลงานวิจัยเบื้องต้น								
สอบความก้าวหน้า								
ออกแบบและพัฒนาโปรแกรมสำเร็จรูป								
ทดสอบประสิทธิภาพและเปรียบเทียบผล								
หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม								
สรุปผลงานวิจัย								
สอบวิทยานิพนธ์								
จัดทำรูปเล่ม								

1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- ทราบถึงวิธีการและขั้นตอนของการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณัติกรรม และสามารถนำวิธีการวางแผนการผลิตแบบไหลลื่นไปประยุกต์ใช้กับปัญหาจริงในการทำงาน

2. สามารถแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอนได้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวิธีอาณาจักรมตที่พัฒนาขึ้น เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดลำดับการผลิตในเวลาที่เหมาะสมที่สุด
3. สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการกำหนดการส่งมอบสินค้า โดยใช้ค่าของเวลาเสร็จสิ้นในกรณีเวลาการผลิตค่ามากกว่าตารางการผลิตที่ให้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นน้อยที่สุด



บทที่ 2

วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 การจัดตารางการผลิต

การจัดตารางการผลิต (Process Scheduling) เป็นกิจกรรมในการจัดเครื่องมือเครื่องจักร ทรัพยากรบุคคล และวัตถุดิบที่ใช้ในกระบวนการผลิตให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ความสำคัญของการจัดตารางการผลิต คือ รายละเอียดของกิจกรรมที่สำคัญโดยกำหนดตามลำดับขั้นว่าใครควรทำหน้าที่ใด และระยะเวลาในการทำกิจกรรม การจัดตารางการทำงานที่มีประสิทธิภาพนั้นเป็นการคิดหาวิธีการว่าจะทำอย่างไรจึงจะสามารถทำการส่งมอบสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ได้ทันตามกำหนดเวลาพอดี (ประสงค์ ประณีตพลกรัง, 2547) การจัดตารางการผลิตถือว่าเป็นกิจกรรมที่มีความสำคัญอย่างมากอีกกิจกรรมหนึ่ง ซึ่งกระบวนการของการวางแผนการผลิตผลิตภัณฑ์จะเริ่มต้นที่การวางแผนระยะยาว คือ การวางแผนกำลังการผลิต (Capacity Planning) จากนั้นจะเป็นแผนระยะกลาง คือ การวางแผนการผลิตรวม (Aggregato Planning) และสุดท้ายการวางแผนระยะสั้น คือ การวางแผนจัดลำดับการผลิต (Sequencing Planning) (พิชิต สุขเจริญพงษ์, 2533)

ตารางที่ 2.1

การวางแผนการผลิต

ระดับของแผน	กิจกรรม	รายละเอียดของกิจกรรม
การวางแผนระยะยาว	การวางแผนกำลังการผลิต	กำหนดขนาดกำลังการผลิตของโรงงาน ขนาดเครื่องจักร ทรัพยากรบุคคล
การวางแผนระยะกลาง	การวางแผนการผลิตรวม	กำหนดกลยุทธ์ในการผลิตสำหรับ ช่วงเวลาการวางแผน จะใช้พนักงาน เท่าใด เก็บสินค้าคงเหลือเท่าใด และจ้าง เหมาช่วงเท่าใด
การวางแผนระยะสั้น	การจัดลำดับการผลิต	กำหนดลำดับขั้นตอนการผลิต การจัด งาน ให้แก่เครื่องจักร และลำดับการผลิต ก่อน-หลัง

การจัดลำดับการผลิต (Sequencing) นั้นเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญ เป็นจุดเริ่มต้นขับเคลื่อนกระบวนการต่างๆ ทำให้เกิดความรวดเร็วในกระบวนการผลิต การจัดลำดับการผลิตบนเครื่องจักรนั้นสามารถออกแบบวางแผนวิธีการจัดลำดับการผลิตได้หลายรูปแบบตามความเหมาะสม ในปัจจุบันเทคโนโลยีและคอมพิวเตอร์เข้ามามีส่วนสำคัญในกระบวนการทำงาน ซึ่งสามารถนำเทคโนโลยีเข้ามาประยุกต์ใช้ในการช่วยสนับสนุนการจัดลำดับการผลิตในอุตสาหกรรมการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น เพื่อให้ได้ลำดับการผลิตที่มีความเหมาะสมและพัฒนาวิธีการจัดลำดับการผลิตให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น การจัดลำดับการผลิตเป็นการนำงานมาเรียงลำดับในตารางการผลิตเพื่อหาค่าเวลาเสร็จสิ้นรวม ถ้าวิธีการที่นำมาใช้มีคุณสมบัติของเวลาเป็นพหุนามในการค้นหาคำตอบ เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะยังคงเป็นพหุนามเช่นเดียวกัน ซึ่งคุณภาพของคำตอบที่เกิดขึ้นนั้นจะมีค่าเท่าเดิมหรือดีขึ้นในทุกครั้งของการจัดลำดับการผลิต (คณศ พลอยदनัย และคณะ, 2555) ซึ่งในการจัดลำดับการผลิตได้มีการศึกษาค้นคว้าในหลายๆ วิธีการ หลายๆ สถานีงาน และหลายๆ จำนวนงานที่แตกต่างกันออกไป ดังตัวอย่างตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2

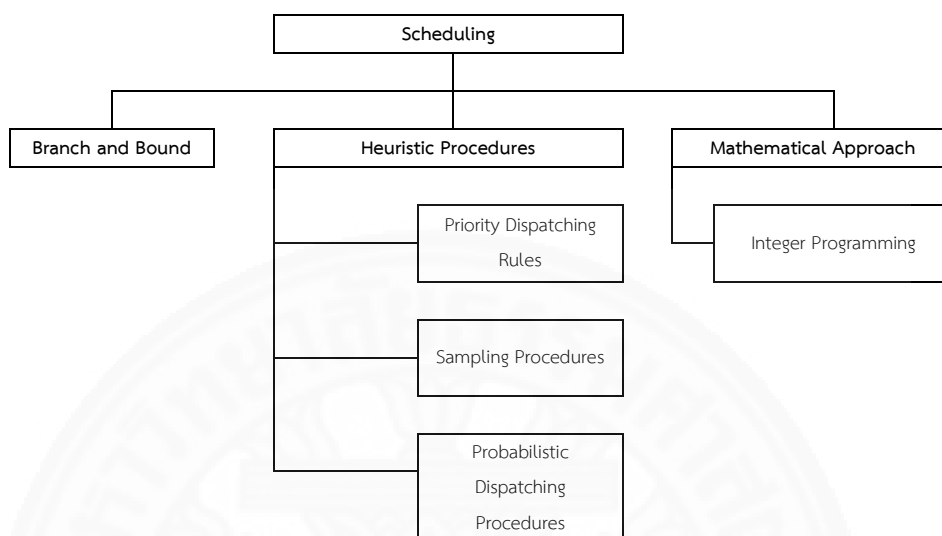
การศึกษากการจัดลำดับการผลิต

Authors	Name	Machine	Job	Job
Seyed Reza Hejazi และคณะ (2552)	A Heuristic Algorithm for Minimizing the Expected Makespan in Two-Machine Flow Shops with Fuzzy Processing Time	2	6	
Vincent T'kindt และคณะ (2545)	An Ant Colony Optimization Algorithm to Solve a 2-machine Bicriteria Flow Shop Scheduling Problem	2	10	50
			15	80
			20	110
			25	140
				170
		200		
ปริญญา กวีกิจ บัณฑิต (2552)	Genetic Algorithm for Flow Shop Scheduling Problems under Just-In-Time Philosophy	2	5	
		5	10	
P.Pandian และคณะ (2553)	Solving Constrained Flow-Shop Scheduling Problems with Three Machines	3	4	
Qazi Shoeb Ahmad และคณะ (2558)	Constrained Flow-Shop Scheduling Problem with m Machines	3	5	
AMIT MITTAL และคณะ (2554)	Heuristic Approach for N-Jobs, 3 Machine Flow Shop Scheduling Problem Involving Transportation Time, Equivalent Job-Block, Weights of Jobs and Break Down Time Interval	3	5	

Authors	Name	Machine	Job	Job
Imran Ali Chaudhry Member และ คณะ (2555)	No-wait Flow Shop Scheduling Using Genetic Algorithm	3	5	
R. Ramezani และคณะ (2553)	A Mathematical Programming Model for Flow Shop Scheduling Problems for Considering Just in Time Production	3	5	
Deepak Gupta (2554)	Heuristic Approach for n-Jobs, 3-Machines Flow Shop Scheduling Problem, Processing Time Associated with Probabilities Involving Transportation Time, Break-Down Interval, Weightage of Jobs and Job Block Criteria	3	5	
Ajay Kumar Agarwal และ คณะ (2555)	Flow Shop Scheduling Problem for 8-Jobs, 3-Machines with Make Span Criterion	3	8	
กัญชลา สุดดา ชาติ (2552)	Heuristic for Parallel Machine Scheduling with Sequence Dependent Setup Time and Machine Eligibility	3	10	
อดุลย์ พุกอินทร์ และคณะ (2551)	Solving Sequence of Job Scheduling Problem by Genetic Algorithm	3	16	
ศรินทิพย์ รุ่งโรจน์ธีระ และ คณะ (2547)	Efficiency Improvement of Ignall & Schrage Branch and Bound Rule for Flow Shop Scheduling	3	16	
R.F. TavaresNeto และคณะ (2554)	An Ant Colony Optimization Approach to a Permutational flow Shop Scheduling Problem with Outsourcing Allowed	2	5	
		3	10	
		4	15	
		5	20	
			25	

การจัดลำดับการผลิตเป็นกิจกรรมหนึ่งในขั้นตอนการจัดตารางการผลิต จะมีความซับซ้อนหากการจัดตารางผลิตนั้นมีผลิตภัณฑ์ที่หลากหลายหรือมีหลายสถานงาน ซึ่งการแก้ปัญหาลักษณะนี้สามารถทำได้โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ หากเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีตัวแปรมีจำนวนมาก แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จะใช้เวลาในการหาคำตอบที่ยาวนานหรืออาจค้นหาคำตอบไม่ได้ จึงไม่เหมาะสมกับการแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือมีหลายตัวแปร ดังนั้นในการแก้ปัญหาขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีตัวแปรมีจำนวนมาก จึงนิยมใช้วิธีฮิวริสติก (Heuristic) หรือวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่มีขนาดใหญ่ วิธีการเมตาฮิวริสติกได้ถูกนำมาประยุกต์ใช้อย่างกว้างขวางกับการจัดตารางการผลิต เนื่องจากเป็นวิธีที่มีกระบวนการค้นหาคำตอบเป็นขั้นตอนที่ชัดเจนและได้ผลลัพธ์ที่ดี (อาริต ธรรมโน และคณะ, 2556) ซึ่งวิธีการทางฮิวริสติกได้คำตอบที่ถูกต้องและรวดเร็วกว่าวิธีการจำลองทางคณิตศาสตร์ แต่อาจจะ

ไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุดในการจัดลำดับการผลิต ดังนั้นควรพิจารณาข้อจำกัดต่างๆ ของวิธีการต่างๆ ที่จะนำมาใช้ ซึ่งมีกฎและวิธีการจัดตารางการผลิตที่หลากหลายวิธีในการจัดลำดับการผลิต ดังภาพที่ 2.1



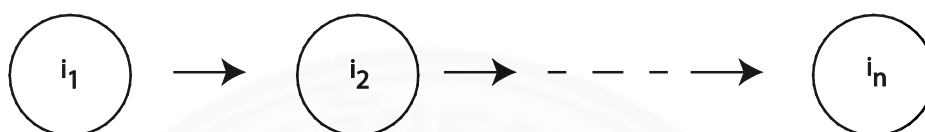
ภาพที่ 2.1 วิธีการจัดลำดับการผลิตรูปแบบต่างๆ (ณัฐธยาน์ โสกุล, 2555)

2.1.2 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน

ระบบการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop Scheduling) เป็นกระบวนการผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ (Goods) ในกระบวนการผลิตวัสดุ (Material) หรือวัตถุดิบ (Raw material) ที่ใช้ในการผลิต วัตถุดิบจะไหลตามกระบวนการผลิตอย่างต่อเนื่องและรวดเร็ว ซึ่งการผลิตนั้นจะผลิตสินค้าหรือผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย มีรูปแบบการผลิตที่เป็นแบบมาตรฐาน ระบบการผลิตรูปแบบนี้จะประกอบไปด้วยเครื่องจักรจำนวนหลายเครื่อง (สถานีงาน) ที่ไม่เหมือนกัน โดยกระบวนการผลิตบนเครื่องจักรในระบบนี้จะมีลำดับการดำเนินการที่เหมือนกัน และการไหลของงานหรือลักษณะของการทำงานจะไปในทิศทางข้างหน้าเพียงอย่างเดียวเท่านั้น นอกจากนี้ทุกงานจะมีเวลาพร้อมทำงานที่เวลา $t = 0$ และสมมุติว่าบัฟเฟอร์ระหว่างเครื่องที่อยู่ต่อกันตามลำดับของงานนั้นมีพื้นที่เพียงพอที่จะรองรับงานนั้นเข้ามาได้ ซึ่งทำให้เครื่องจักรในลำดับก่อนหน้าสามารถปล่อยงานที่ทำเสร็จไปยังเครื่องจักรในลำดับต่อไปได้โดยไม่ขึ้นกับสถานะของเครื่องจักรถัดไปว่ากำลังทำงานอยู่หรือไม่ วัตถุประสงค์ของระบบการผลิตแบบไหลเลื่อน คือ การจัดตารางการผลิตที่ทำให้เวลาในการทำงานของระบบมีค่าน้อยที่สุดและยังทำให้ผลรวมของเวลารอคอยน้อยตามลงไปด้วย

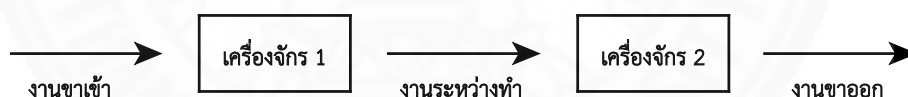
โครงสร้างระบบการผลิตแบบไหลเลื่อนแต่ละงานที่อยู่ในระบบผลิตจะมีลักษณะของการดำเนินงานแรกจะต้องไม่มีการดำเนินงานใดๆ ก่อนหน้านั้น และเมื่อมีการดำเนินงานต่อมาจะมีการดำเนินงานโดยตรงเพียงการดำเนินงานเดียวเท่านั้น และการดำเนินงานต่อไปหลังจากนี้จะมีการ

ดำเนินงานที่ต้องทำก่อนหน้าและการดำเนินงานที่ตามมาอย่างละหนึ่งการดำเนินงานเท่านั้น สำหรับการดำเนินงานสุดท้ายจะมีการดำเนินงานก่อนหน้าเพียงหนึ่งงานเท่านั้น และจะไม่มีการทำงานที่ตามมาใดๆ ทั้งนั้น จากภาพที่ 2.2 พบว่าการที่จะทำงานหนึ่งงานให้สำเร็จนั้น จะต้องทำการดำเนินงานทั้งหมดตามลำดับที่กำหนดให้จนหมด ซึ่งในบางครั้งเราเรียกโครงสร้างเช่นนี้ว่า โครงสร้างลำดับก่อนหลังของการดำเนินงานแบบเชิงเส้น (Linear Precedence Structure)



ภาพที่ 2.2 โครงสร้างระบบการผลิตแบบไหลลื่น

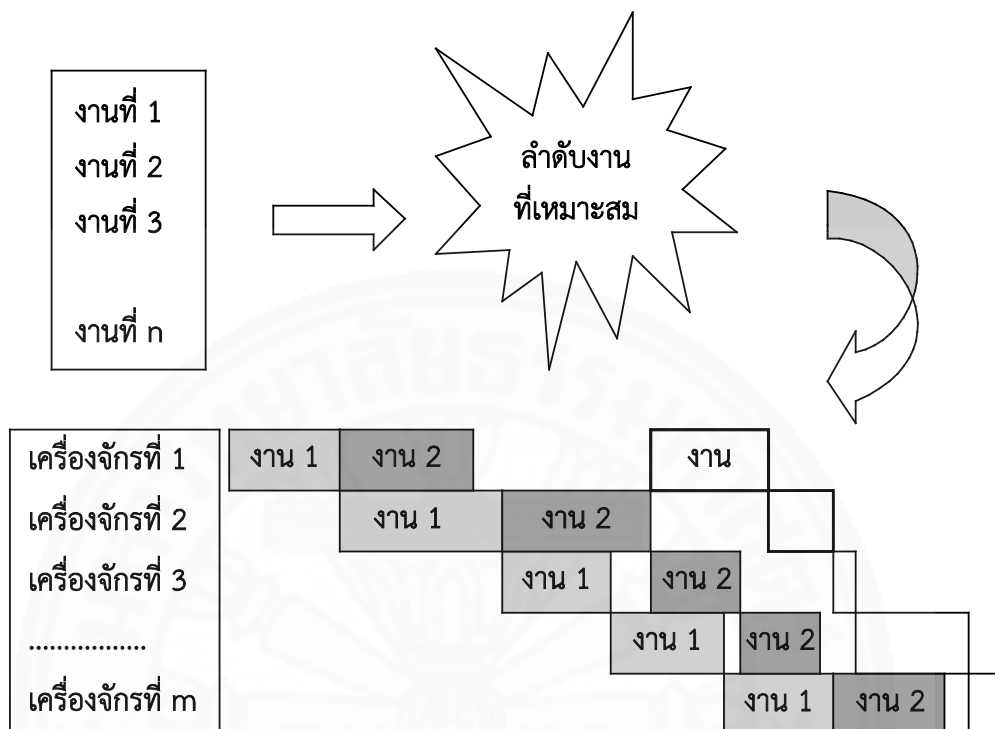
รูปแบบที่ง่ายที่สุดของระบบการผลิตแบบไหลลื่นหรือระบบการผลิตแบบต่อเนื่อง คือ ระบบการผลิตที่ประกอบด้วยเครื่องจักร 2 เครื่องเท่านั้น และในการทำงานแต่ละงานจะต้องดำเนินการบนเครื่องจักรทั้งสองเครื่องตามลำดับการผลิตก่อน-หลัง ดังนั้นลักษณะของการทำงานจะมีลักษณะการดำเนินการแรกจะต้องทำบนเครื่องจักรที่ 1 ก่อน และการดำเนินการที่สองจะทำบนเครื่องจักรที่ 2 ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 ระบบการผลิตแบบไหลลื่นที่ประกอบด้วย 2 เครื่องจักร

ระบบการผลิตแบบไหลลื่นจะประกอบด้วย m เครื่องจักรที่แตกต่างกัน ซึ่งแต่ละงานจะประกอบด้วย m การดำเนินงาน ต้องทำบน m เครื่องจักรที่แตกต่างกัน การไหลของงานในระบบการผลิตแบบไหลลื่นจะเป็นไปในทิศทางเดียวกัน (Unidirectional Flow) เท่านั้น หมายความว่า การจัดลำดับการผลิตสามารถกำหนดลำดับการผลิตให้กับเครื่องจักรตามต้องการ โดยถ้าการดำเนินงานที่ j อยู่ก่อนหน้าการดำเนินงานที่ k แล้ว การจัดลำดับของเครื่องจักรที่จะใช้ในการดำเนินงานที่ j ต้องน้อยกว่าการจัดลำดับของเครื่องจักรที่ใช้สำหรับการดำเนินงานที่ k กำหนดให้เครื่องจักรในระบบผลิตแบบต่อเนื่องถูกกำหนดการจัดลำดับเป็น $1, 2, \dots, m$ และการดำเนินงานของ i จะถูกกำหนดลำดับเป็น $(i,1), (i,2), \dots, (i, m)$ ตามลำดับ ดังนั้นการจัดลำดับการผลิตสามารถพิจารณาให้แต่ละงานเสมือนว่าประกอบด้วย m การดำเนินงาน ถ้าพบว่างานนั้นมีจำนวนของการ

ดำเนินงานน้อยกว่า m แล้ว การแก้ปัญหานี้ได้โดยกำหนดให้เวลาที่ใช้ในการดำเนินงานตรงนั้นมีค่าเท่ากับศูนย์ (สวัสดี ภาวราช, 2550) ดังภาพที่ 2.4



ภาพที่ 2.4 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน

2.1.2.1 สมมติฐานเกี่ยวกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน

2.1.2.1.1 สมมติฐานเกี่ยวกับงาน

- a. แต่ละงานพร้อมตั้งแต่เริ่มต้นของเวลาจัดกำหนดการ (J1)
- b. แต่ละงานอาจมีกำหนดส่งมอบที่แน่นอนและเปลี่ยนแปลงไม่ได้ (J2)
- c. แต่ละงานเป็นอิสระต่อกัน (J3)
- d. แต่ละงานมีการทำงานเฉพาะทำโดยเครื่องจักรเครื่องเดียว (J4)
- e. แต่ละงานกำหนดลำดับโดยทางเทคนิคที่เหมือนกันทุกงานและคงที่ (J5)
- f. แต่ละงานทำได้ไม่เกินครั้งเดียวในแต่ละเครื่องจักร (J6)
- g. แต่ละงานสามารถรอระหว่างเครื่องจักรหรือยอมให้มีงานระหว่างกระบวนการ (J7)

2.1.2.1.2 สมมติฐานเกี่ยวกับเครื่องจักร

- h. แต่ละชนิดของเครื่องจักรมีเครื่องจักรเดียว (M1)

- i. แต่ละเครื่องจักรว่างตอนเริ่มต้นของการจัดกำหนดการ (M2)
- j. แต่ละเครื่องจักรทำงานอิสระต่อกันและทำได้เต็มความสามารถ (M3)
- k. แต่ละเครื่องจักรทำได้ครั้งละงานเดียว ไม่ใช่เครื่องจักรที่ทำงานได้ทีละหลายงานพร้อมกัน (M4)
- l. แต่ละเครื่องจักรพร้อมทำงานแบบต่อเนื่องเสมอ พร้อมจะทำงานตลอดไม่มีการคำนึงถึง เครื่องจักรชำรุด การบำรุงรักษา (M5)

2.1.2.1.3 สมมติฐานเกี่ยวกับนโยบายในการทำงาน

- m. แต่ละงานทำในเวลาแรกที่สุดเท่าที่จะทำได้หรือไม่มีงานหรือเครื่องจักรใดที่ตั้งใจให้มีเวลารอได้ (P1)
- n. แต่ละงานถูกพิจารณาให้เป็นชั้นที่ไม่สามารถแบ่งย่อยได้ แม้ว่ามันอาจจะประกอบด้วยจำนวนชั้นหลายๆ ชั้น (P2)
- o. แต่ละงานถ้าเริ่มผลิตแล้วไม่สามารถระงับหรือหยุดได้จนกว่าจะเสร็จสิ้น (P3)
- p. แต่ละงานหากเริ่มต้นในเครื่องจักรใดแล้ว จะต้องเสร็จก่อนงานอื่นจึงจะเริ่มทำได้หรือไม่มีการแทรกงานอื่น (Non-Preemptive Priorities) (P4)
- q. แต่ละงานทำบนเครื่องจักรได้ครั้งละเครื่องจักร ผลสอดคล้องกับ (P2) (P5) และ (J5)
- r. แต่ละเครื่องจักรถูกเตรียมพื้นที่เพียงพอต่อการเก็บงานที่รอคอยเครื่องจักรต่อไป (P6)
- s. แต่ละเครื่องจักร ถูกจัดสรรให้กับงานภายใต้การพิจารณาสำหรับจัดกำหนดการ (P7) หรือไม่ใช่เครื่องจักรในวัตถุประสงค์อื่นตลอดเวลาการจัดกำหนดการ (P8)
- t. แต่ละเครื่องจักรทำการผลิตงานตามลำดับที่เหมือนกันไม่มีการผ่านหรือแข่งของงานใดๆ (P9)

การจัดลำดับตารางการผลิตแบบไหลลื่น ในกรณีที่ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่นมีวัตถุประสงค์ในการจัดลำดับงานที่เหมาะสม และเพื่อกำหนดเวลาเริ่มงานที่เหมาะสม สำหรับปัญหาที่ประกอบด้วยจำนวน n งาน และจำนวน m เครื่องจักร โดยแต่ละงานมีเส้นทางการไหลหรือลำดับขั้นตอนการทำงานกำหนดไว้ชัดเจน การจัดตารางงานการผลิตแบบไหลลื่นมีหลายแนวทางในการแก้ไขปัญหา เนื่องจากในปัจจุบันเป็นงานที่พบได้ทั่วไปในอุตสาหกรรมต่างๆ (ธัญพร นิมิตรบัญชา และคณะ, 2557) สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ วิธีดีเทอร์มินิสติกหรือวิธีเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหา ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่นเป็นปัญหาการจัดตารางการผลิตรูปแบบหนึ่ง ซึ่งมีเป้าหมายในการควบคุมการไหลของงานตามลำดับงานที่เหมาะสม

เข้าสู่การดำเนินงานในกลุ่มของเครื่องจักรที่ทำงานต่อเนื่องกันแบบลำดับ เพื่อให้เวลาว่างงาน (Idle Time) หรือเวลารอคอย (Waiting Time) มีค่าน้อยที่สุด วัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิตมีเป้าหมายในการทำให้เวลาปิดงานมีค่าน้อยที่สุด แม้ว่าวิธีเมตาฮิวริสติกในกลุ่มของวิธีปัญญาประดิษฐ์จะสามารถหาคำตอบที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดตารางการผลิต แต่วิธีปัญญาประดิษฐ์นั้นส่วนใหญ่อาศัยวิธีการสุ่ม (Random Approach) ซึ่งจำเป็นต้องพึ่งพาคอมพิวเตอร์สมรรถนะสูงและการโปรแกรมที่ซับซ้อนตามอัลกอริทึมของกระบวนการค้นหา ซึ่งทำให้เกิดความล่าช้าในการค้นหาคำตอบ และในหลายกรณีก็ไม่สามารถรับประกันคำตอบที่เหมาะสมที่สุด (สุภาพรณ์ สุวรรณรังษี และคณะ, 2011)

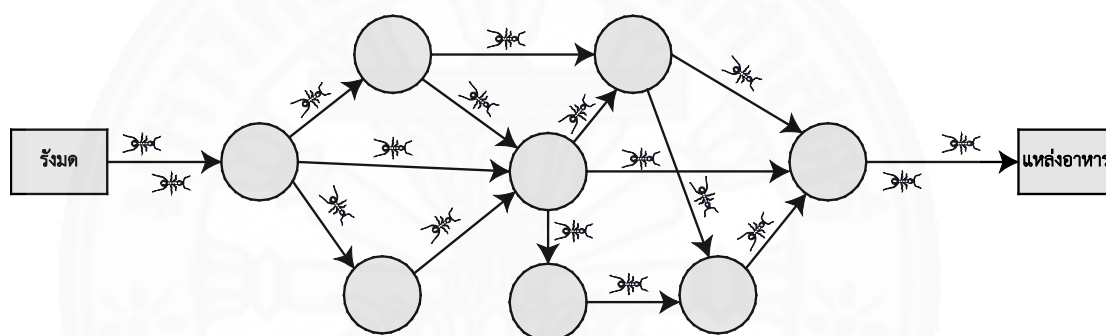
2.1.3 ปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard)

เอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) คำว่า NP-Hard มาจากคำว่า Non-Polynomial-Hard ซึ่งเป็นปัญหาที่ค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดนั้นทำได้ยาก มีวิธีการแก้ปัญหามีความซับซ้อนหรือมีความยากในการแก้ปัญห หรือเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่และใช้เวลาในการหาคำตอบยาวนาน ซึ่งเวลาในการหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นเป็นแบบเอกซ์โพเนนเชียล เมื่อจำนวนหรือขนาดของปัญหาเพิ่มมากขึ้น ความซับซ้อนทางเวลา (Time Complexity) ในการคำนวณก็จะมากขึ้น โดยปัญหาที่ยังไม่มีวิธีการแก้ปัญหามีความซับซ้อนทางเวลาเป็น Polynomial-Hard เราจะเรียกปัญหาลักษณะนี้ว่า NP-Hard สามารถแบ่งออกเป็นกลุ่มใหญ่ๆ ได้ 3 กลุ่ม คือ 1) เอ็นพี-คอมพลีต (NP-Complete) 2) เอ็นพี-ฮาร์ด (NP-Hard) และ 3) สตรองลี เอ็นพี-ฮาร์ด (Strongly NP-Hard) (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554) ซึ่งปัญหาในการจัดสมดุลสายการประกอบเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่หรือปัญหาที่มีจำนวนงานเพิ่มมากขึ้น ถูกจัดอยู่ในปัญหาประเภท NP-Hard ของปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Problem) ซึ่งอาจต้องใช้เวลาและทรัพยากรมากในการหาคำตอบ ปัญหาเอ็นพี-ฮาร์ด เป็นปัญหาที่แทบเป็นไปได้ที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุด มักอาศัยกระบวนการเมตาฮิวริสติกมาใช้ในการแก้ปัญหเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีในระดับที่ยอมรับได้โดยที่ใช้เวลาไม่นานจนเกินไป ดังนั้นวิธีเมตาฮิวริสติกจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหประเภทนี้ ซึ่งปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเครื่องจักรตั้งแต่สามเครื่องจักรขึ้นไปจัดเป็นปัญหา NP-Hard (สวัสดี ภาวระราช, 2550)

2.1.4 วิธีการอาณานิคม (Ant Colony Optimization : ACO)

วิธีการอาณานิคม (Ant Colony Optimization : ACO) เป็นกลุ่มอัลกอริทึมแบบเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) ที่อยู่ในกลุ่มของอัลกอริทึม Ant Colony ซึ่งอัลกอริทึมนี้มีการค้นหาเส้นทางที่เหมาะสมและเป้าหมายในการค้นหาคำตอบ โดยอาศัยการเลียนแบบพฤติกรรมตามธรรมชาติการหาอาหารของมด ซึ่งวิธีการของอาณานิคมที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะกำหนดจำนวน

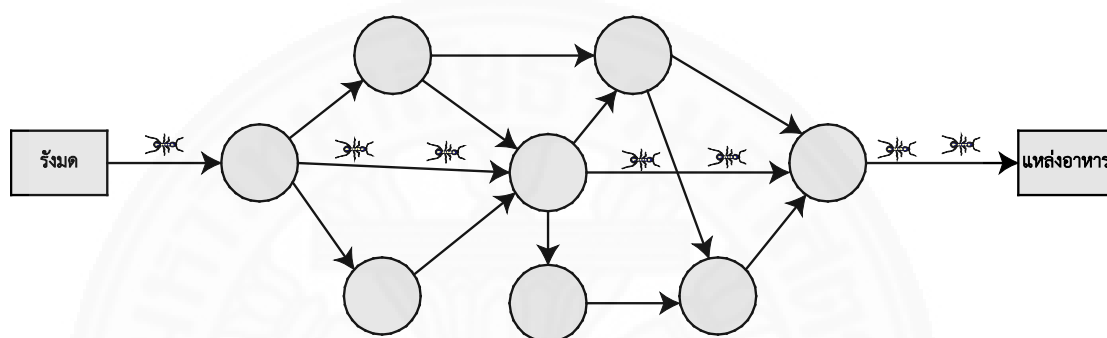
ของมดที่จะเดินหาคำตอบและค่าคำตอบที่ได้จะเท่ากับจำนวนของมด ซึ่งมดหนึ่งตัวจะแทนค่าด้วยคำตอบเพียงหนึ่งคำตอบ ซึ่งวิธีการอาณานิคมมดได้ถูกนำออกมาเผยแพร่ครั้งแรกโดย Macro Dorico ในวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอกในปี ค.ศ. 1992 ซึ่งในวิทยานิพนธ์ ACO ได้ถูกเรียกว่า ระบบมด (Ant System : AS) โดยการนำระบบมดไปประยุกต์ใช้ในปัญหาของการเดินทางของบุรุษไปรษณีย์ และปัญหาการมอบหมายงานแบบควอดราติกส์ (Quadratic Assignment Problem) ในปี ค.ศ. 1995 Dorico ได้ร่วมมือกับ Gambardella และ Stuetzly พยายามที่จะประยุกต์ใช้ระบบมดในการแก้ปัญหาต่างๆ รวมถึงได้พยายามพัฒนาวิธีการระบบมดให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ไม่ว่าจะเป็นการพัฒนาวิธีการระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System : ACS) และวิธีการระบบมดแบบกำหนดขอบเขตสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Ant System : MMAS)



ภาพที่ 2.5 เส้นทางการเดินทางหาอาหารของมด

วิธีการระบบมดหรืออาณานิคมมดได้แรงบันดาลใจมาจากการออกหาอาหารของมด ซึ่งมดจะเดินทางออกจากรังไปสู่แหล่งอาหารและกลับมาที่รังหลังจากได้อาหารอีกครั้ง ในระหว่างการเดินทางไปหาอาหารนั้นมดแต่ละตัวจะปล่อยสารเคมีที่ชื่อว่า สารฟีโรโมน (Pheromone) เพื่อให้มดตัวอื่นๆ เดินทางตามกลิ่นหรือเดินทางตามร่องรอยของสารฟีโรโมน โดยสารฟีโรโมนจะระเหยเมื่อเวลาผ่านไป การระเหยของสารฟีโรโมนจะมีอยู่ตลอดเวลา (Pheromone Decay) ตามคุณสมบัติทางเคมี ดังนั้นหากระยะทางที่ยาวจนเกินไปจะทำให้สารฟีโรโมนระเหยได้หมดในระหว่างทาง หรือเส้นทางใดที่มดไม่มีการเลือกเดินบนเส้นทางนั้น ปริมาณของสารฟีโรโมนก็จะน้อยลง จึงมีความเป็นไปได้ที่มดจะเลือกเส้นทางนี้จึงมีน้อยลง จนในที่สุดปริมาณสารฟีโรโมนบนเส้นทางนี้ก็จะถูกระเหยไปจนหมด ซึ่งเรียกกลไกนี้ว่ากระบวนการป้อนกลับแบบลบ (Negative Feedback) หากระยะทางสั้นก็จะทำให้มีโอกาสเพิ่มปริมาณของสารฟีโรโมนได้ในขณะเดินทางไป-กลับก่อนที่สารฟีโรโมนจะระเหยไปหมด และหากมีการเดินทางของมดหลายๆ ตัวหรือการเดินทางของมดหลายๆ รอบแล้ว จะทำให้ค่าความเข้มข้นของฟีโรโมนนั้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ซึ่งกลไกนี้เรียกว่า กระบวนการป้อนกลับแบบบวก

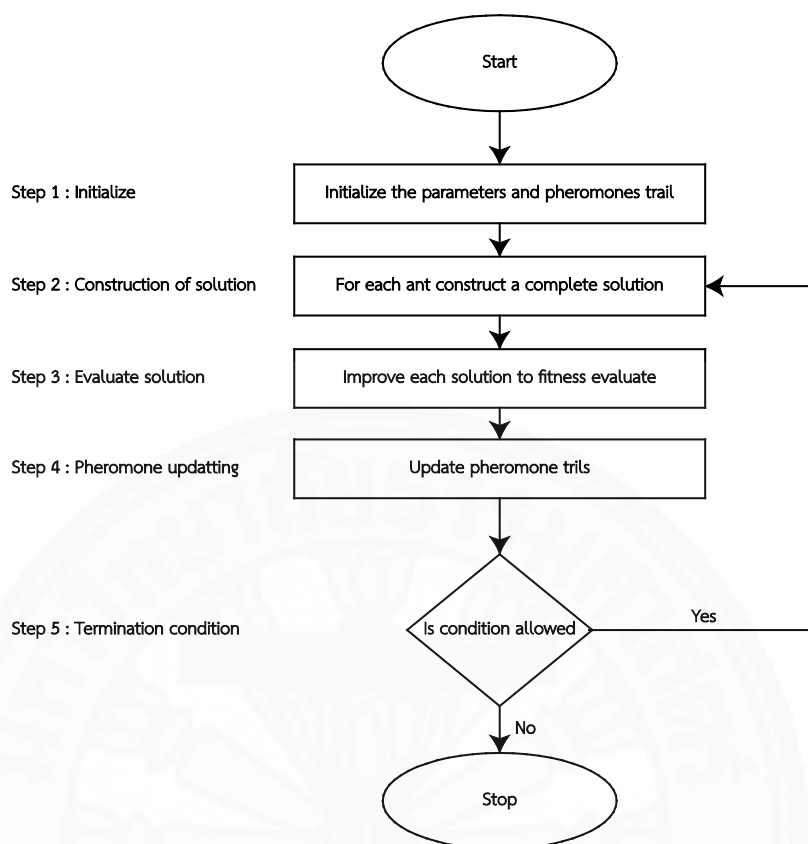
(Positive Feedback or Autocatalytic Mechanism) ในทางตรงข้ามกับเส้นทางเดินที่มีระยะทางที่ยาวกว่า จะมีแรงดึงดูดหรือระดับค่าของความเข้มข้นของฟีโรโมนน้อยกว่า เนื่องจากมีการระเหยของสารฟีโรโมนมากกว่า ซึ่งหากมดมีการเดินทางผ่านไปทางนั้นเป็นจำนวนน้อยก็จะทำให้สารฟีโรโมนนั้นมีความเจือจางลงไปและจะไม่ดึงดูดมดตัวอื่นๆ ให้เดินทางไปในที่สุด (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554) ในการเลือกเส้นทางในการเดินทางหาอาหารของมด มดทุกตัวจำเป็นต้องทำการสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งในการเดินทางหาอาหาร ดังนั้นแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร



ภาพที่ 2.6 เส้นทางการเดินทางหาอาหารของมด โดยอาศัยการสื่อสารทางฟีโรโมน

2.1.4.1 หลักการทำงานของวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization)

วิธีการทำงานของวิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) นั้นในแต่ละวิธีจะมีความคล้ายคลึงกัน ซึ่งมีหลักการหรือวิธีการมาจากระบบมด (Ant System) คือ ขั้นตอนการทำงานโครงสร้างของมด (Solution Construction) และขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงร่องรอยของสารฟีโรโมน (Pheromone Update) โดยมีโครงสร้างทั่วไปในการทำงานของวิธีอาณานิคมมด (พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพ็ชร, 2555) ดังภาพที่ 2.7



ภาพที่ 2.7 โครงสร้างทั่วไปของวิธีอาณานิคมมด

ขั้นตอนการเปลี่ยนแปลงร่องรอยของสารฟีโรโมนของวิธีอาณานิคมมดจะมีลักษณะความแตกต่างกันในแต่ละวิธีการ ซึ่งจะมีลักษณะของการเปลี่ยนแปลงของสารฟีโรโมนดังนี้ วิธีระบบมด (Ant System) จะมีการอัปเดตสารฟีโรโมนทุกครั้งเมื่อมดแต่ละตัวสร้างเส้นทางของตนเสร็จสิ้นและจะมีการอัปเดตอีกครั้งด้วยมดตัวที่ดีที่สุดใฝูงหรือในรอบการวนซ้ำนั้นๆ วิธีระบบอาณานิคมมด (Ant Colony System) มดแต่ละตัวในรอบการวนซ้ำนั้นๆ จะใช้สารฟีโรโมนเดียวกันในการค้นหาคำตอบ หลังจากมดทุกตัวค้นหาคำตอบเสร็จสิ้น มดตัวที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดใฝูงเท่านั้นที่มีโอกาสนำคำตอบไปปรับค่าสารฟีโรโมนเพื่อใช้ในรอบถัดไป วิธีจัดลำดับมด (Ant Rank) มดจำนวนหนึ่งที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดใฝูงจะมีโอกาสนำคำตอบไปปรับค่าสารฟีโรโมน และวิธีระบบมดแบบกำหนดขอบเขตสูงสุด-ต่ำสุด (Max-Min Ant System) มดตัวที่ดีที่สุดเท่านั้นที่มีโอกาสนำคำตอบไปปรับค่าสารฟีโรโมน แต่ค่าสารฟีโรโมนที่ปรับแล้วจะมีค่าสูงที่สามารถปรับขึ้นไปถึงได้และจะมีค่าต่ำสุดที่สามารถปรับลงมาต่ำได้ (Upper And Lower Bound Pheromone) (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554)

วิธีอาณานิคมมดเป็นวิธีการที่มีประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบเพื่อแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาในการผลิต ปัญหาการลดเวลาแล้วเสร็จทั้งหมด และปัญหาการลดเวลา

รวมของค่า เวลาที่เสร็จสิ้นทั้งหมด (B.M.T. Lin และคณะ , 2551) การพัฒนาประสิทธิภาพของวิธี
 อาณาจักรมดมีพื้นฐานมาจากความร่วมมือและกลไกการแบ่งปันข้อมูลในระหว่างที่มดกำลังออกหา
 อาหารตามเส้นทางการเดินทาง ซึ่งใช้เส้นทางการเดินทางเป็นสื่อกลางในการสื่อสารข้อมูลระหว่างกัน
 (SurendraKumar และคณะ, 2552) วิธีอาณาจักรมดได้ถูกนำมาใช้เพื่อหาค่าที่ดีที่สุดในการจัดลำดับ
 ตารางการผลิตในการสายการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีสถานีงานเรียงต่อกันภายใต้เวลาการทำงานและ
 จำนวนชิ้นงานที่แตกต่างกัน มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาเพื่อให้มีเวลานำของงานระหว่างผลิตและ
 เวลาเสร็จสิ้นรวมน้อยที่สุด ในการศึกษาอัลกอริทึมอาณาจักรมดจะอยู่บนพื้นฐานของวิธีระบบมด เพื่อ
 ตรวจสอบประสิทธิภาพการทำงานของวิธีอาณาจักรมด จากการทดลองการคำนวณจะดำเนินการ
 เกี่ยวกับปัญหาที่เป็นแบบมาตรฐานและมีการคำนวณเวลาที่เหมาะสม วิธีอาณาจักรมดมีประโยชน์ใน
 แ่งของการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาสามารถใช้สำหรับวัตถุประสงค์เดียวหรือหลายวัตถุประสงค์ที่
 แตกต่างกันได้ เช่น เวลาเฉลี่ยของการดำเนินงาน เวลาความล่าช้ารวม และเวลาล่าช้าสูงสุด เป็นต้น ผล
 เชิงตัวเลขที่ได้รับการพัฒนาด้วยวิธีอาณาจักรมดมีประสิทธิภาพมากและสามารถทำงานร่วมกันกับ
 คุณลักษณะต่างๆ ได้ ซึ่งสามารถแก้ปัญหาในการจัดตารางการผลิตให้มีประสิทธิภาพที่ดีขึ้น จากการ
 ทดสอบหาพารามิเตอร์ที่มีผลต่อกระทบประสิทธิภาพของวิธีอาณาจักรมด ได้แก่ จำนวนรอบของการ
 ทำงานต่อจำนวนมด ค่าน้ำหนักฟีโรโมน ค่าน้ำหนักฮิวริสติก และค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน แล้ว
 นำค่าพารามิเตอร์ที่ได้ไปแก้ปัญหาของการจัดลำดับการผลิตนั้น (ธีราพรธณ แซ่แห้ว และคณะ, 2553)
 จากผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมของวิธีอาณาจักรมดจะมีประสิทธิภาพมากในการ
 พิจารณาการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีวัตถุประสงค์ของเวลาปิดงานและเวลา
 รวมในการดำเนินงาน ซึ่งคุณภาพของคำตอบจะขึ้นอยู่กับลักษณะความซับซ้อนของปัญหาและ
 รายละเอียดในการคำนวณ ประสิทธิภาพของการหาค่าตอบที่ดีที่สุดนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น
 ลักษณะของปัญหา ขนาดของปัญหา ค่าพารามิเตอร์ที่เลือกใช้ รวมไปถึงเทคนิคในการเขียนโปรแกรม
 เพื่อทดสอบ เป็นต้น ดังนั้นหากสามารถหาวิธีการปรับค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมและหาเทคนิคใหม่ๆ
 มาประยุกต์ให้เหมาะสมกับวิธีการที่นำมาใช้ จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการหาค่าตอบมากยิ่งขึ้น ซึ่ง
 การจัดตารางการผลิตโดยวิธีหาค่าเวลาเสร็จสิ้นที่ดีที่สุดแบบอาณาจักรมดนั้นมีความเหมาะสมกับการ
 จัดตารางการผลิตของชิ้นงานที่มีเวลาในการผลิตที่แตกต่างกัน นอกจากนี้วิธีอาณาจักรมดสามารถ
 นำไปใช้ประยุกต์กับการแก้ปัญหาการจัดตารางเวลาการผลิตในระบบการผลิตต่างๆ ได้อีกด้วย
 (Betul Yagmahan และคณะ, 2553) ซึ่งวิธีการจัดลำดับงานด้วยวิธีอาณาจักรมดทำให้เวลาปิดงาน
 ของระบบมีโอกาสดลดลง (พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพ็ชร, 2555) และในปี ค.ศ. 2006 Macro Dorico และ
 คณะ ได้รวบรวมการนำวิธีอาณาจักรมดมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3

การประยุกต์ใช้วิธีการอามาจักรมดกับปัญหาต่างๆ

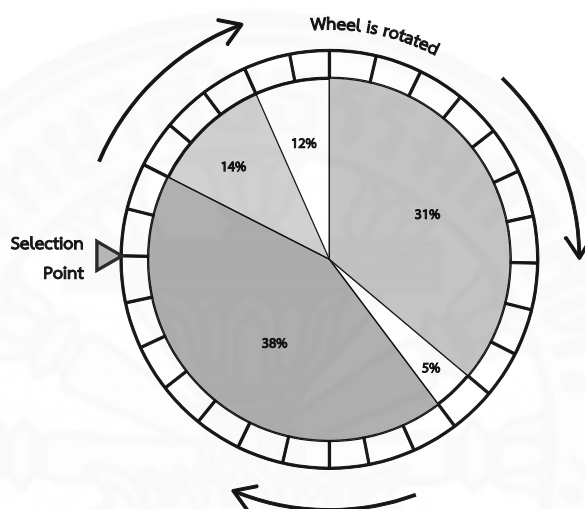
Problem type	Problem name	Authors	Year
Routing	Traveling salesman	Dorigo et al.	1991, 1996
		Dorigo & Gambardella	1997
		Stutzle, T. & Hoos	19,972,000
	Vehicle routing	Gambardella et al.	1999
		Reimann et al.	2004
		Gambardella & Dorigo	2000
Assignment	Quadratic assignment	Stutzle, T. & Hoos	2000
		Maniezzo	1999
	Course timetabling	Socha et al.	2002, 2003
	Graph coloring	Costa & Hertz	1997
Scheduling	Project scheduling	Merkle et al.	2002
	Total weighted tardiness	den Besten et al.	2000
	Total weighted tardiness	Merkle & Middendorf	2000
	Open shop	Blum	2005
Subset	Set covering	Lessing et al.	2004
	j-cardinality trees	Bium & Blesa	2005
	Multiple knapsack	Leguizamón & Michalewicz	1999
	Maximum clique	Fenet & Solnon	2003
Other	Constraint satisfaction	Solnon	2000, 2002
	Classification rules	Parpinelli et al.	2002
		Martens et al.	2006
	Bayesian networks	Campos, Fernandez-Luna	2002
	Protein folding	Shmygelska & Hoos	2005
	Docking	Korb et al.	2006

ที่มา : พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพชร, 2555

2.1.5 การเลือกคำตอบด้วยวิธีวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

วิธีวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection Rule) มีหลักการพื้นฐานในการหาคำตอบและเลือกคำตอบในลักษณะเดียวกันกับเกมสล็อต โดยการแบ่งขนาดของวงล้อออกเป็นช่องๆ จำนวนเท่ากับคำตอบที่เป็นไปได้ด้วยความน่าจะเป็นต่างๆ กัน วงล้อเสี่ยงทายมีแนวคิดที่มาจาก การคัดสรรพันธุกรรมที่เหมาะสม เพื่อคัดสรรประชากรในรุ่นถัดไปของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ต่อมาได้นำมาประยุกต์ใช้กับวิธีอามาจักรมด เพื่อใช้ในการเลือกโหนดถัดไป ขั้นตอนในการทำงานของวงล้อเสี่ยงทายในวิธีอามาจักรมดนั้น เริ่มมาจากการนำค่าความน่าจะเป็น

เป็นที่คำนวณได้ นำมาคำนวณหาขนาดความกว้างของวงล้อเสี่ยงทาย โดยคิดเป็นค่าเปอร์เซ็นต์บนวงล้อเสี่ยงทาย ค่าความน่าจะเป็นที่มีค่ามากจะแปรผันตรงตามความกว้างของช่องบนวงล้อเสี่ยงทาย จากนั้นทำการหมุนวงล้อเสี่ยงทาย ถ้าตกลงที่ช่องจุดใดของค่าความน่าจะเป็นนั้นก็จะถูกเลือกเป็นคำตอบ ในการหมุนวงล้อ 1 รอบนั้นจะได้คำตอบ 1 ลำดับงาน และคำตอบที่ได้นั้นจะลดลงเพราะคำตอบนั้นๆ ได้ถูกเลือกแล้ว จากนั้นแบ่งช่องใหม่และทำการเลือกใหม่ด้วยวิธีการเดิมจนครบทุกคำตอบ ซึ่งความน่าจะเป็นที่มีค่ามากจะมีโอกาสในการถูกเลือกมากกว่าค่าความน่าจะเป็นที่มีค่าน้อย



ภาพที่ 2.8 วงกลมรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)

2.1.6 การจัดลำดับการผลิต (Permutation)

การจัดลำดับการผลิต (Permutation) เป็นวิธีการจัดเรียงสลับงานทั้งหมดของกระบวนการผลิต ด้วยวิธีการสลับตำแหน่งของงานไปจนครบทุกตำแหน่ง วิธีการจัดลำดับการผลิตเป็นการจัดลำดับงานที่เหมือนกันบนทุกเครื่องจักร จะเป็นเซตของงานที่เป็นหนึ่งในลำดับที่เป็นไปได้เอ็นแฟคทอเรียล ($n!$) ทั้งหมด ถ้ามีงานอยู่ n งาน ซึ่งแต่ละงานมีเวลาการผลิตที่แตกต่างกัน ดังนั้นวิธีการสับเปลี่ยน คือ การนำงานทั้ง n งานมาจัดเรียงลำดับโดยถือลำดับเป็นสำคัญ ถ้างานมีทั้งหมด 3 งาน ได้แก่ งาน A, B และ C เมื่อนำมาจัดเรียงลำดับทั้ง 3 งาน จะได้ผลลัพธ์ที่ออกมาดังนี้ ABC, ACB, BCA, BAC, CAB และ CBA ซึ่งจัดลำดับงานได้ทั้งหมด 6 งาน ซึ่งเป็นอีกวิธีการหนึ่งในการจัดตารางการผลิต ซึ่งสามารถแก้ปัญหาได้เฉพาะในปัญหาที่มีขนาดเล็กเท่านั้น หากเป็นปัญหาที่มีขนาดที่ใหญ่ขึ้นจะจัดลำดับการผลิตได้ยากและต้องใช้เวลาในการจัดลำดับตารางการผลิตนาน

วิธีการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น มีกระบวนการทำงาน n งาน บนเครื่องจักร m เครื่องจักร งานทั้งหมดมีการดำเนินงานผ่านเครื่องเดียวกัน เวลาในการผลิตของงานในแต่ละ

เครื่องจักรจะแตกต่างกัน ซึ่งวิธีการจัดลำดับตารางการผลิตสามารถพิจารณาได้จากตัวอย่างต่อไปนี้ เพื่อแก้ไขปัญหามลรวมของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด (C_{\max})

ตารางที่ 2.4

เวลาการผลิตในแต่ละงาน

J	$P_{1,j}$	$P_{2,j}$	$P_{3,j}$
1	4	2	1
2	3	6	2
3	7	2	3
4	1	5	8

การหาค่าเวลาการดำเนินงานของเครื่องจักร 3 เครื่องจักรของการดำเนินงานงานที่ 1 ได้จากตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5

เวลาการดำเนินงานในกระบวนการผลิต

J	$P_{1,j}$	$P_{2,j}$	$P_{3,j}$
1	4	6	7
2	$4+3=7$	$\max\{7,6\}+6=13$	$\max\{13,7\}+2=15$
3	$7+7=14$	$\max\{14,13\}+2=16$	$\max\{16,15\}+3=19$
4	$14+1=15$	$\max\{15,16\}+5=21$	$\max\{21,19\}+8=29$

และสามารถดำเนินการหาเวลาการดำเนินงานสำหรับงานที่ 2, 3 และ 4 ตามตารางที่ 2.5 ซึ่งค่าเวลาเสร็จสิ้นของตารางเวลาการผลิตของการดำเนินงานจะมีค่าเท่ากับ 29 หน่วย

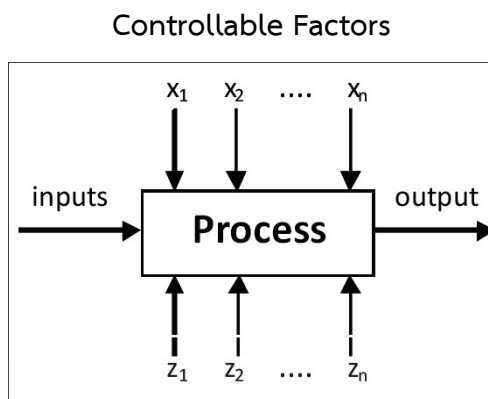
2.1.7 การจัดลำดับการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

ปัญหาการจัดกำหนดการของระบบการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน (Flow Shop Scheduling with Uncertain Processing Time) มีความแตกต่างจากปัญหาการจัดกำหนดการทั่วไปตรงที่ เวลาในการผลิตแต่ละงานในแต่ละเครื่องจักรจะมีค่าหลากหลาย

แตกต่างกัน โดยการประมาณการจากค่าน้อยสุด และค่ามากที่สุด จะเรียกวธีการนี้ว่า “ตารางการผลิตแบบต่อเนื่องที่มีเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัย” ซึ่งปัญหาหลักของงานวิจัยนี้เป็นลักษณะของปัญหาแรกเริ่ม (Original) ที่ยังไม่มีข้อมูลอ้างอิงมาก่อน การจัดกำหนดการของระบบการผลิตแบบต่อเนื่องกรณีที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอนในกรณีที่กำหนดเวลางานเป็นค่าพิสัย เป็นการหา กำหนดการที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นน้อยที่สุด ได้เสนอวิธีการคำนวณขอบเขตล่างจากการประยุกต์ใช้วิธีการของ Ignall and Schrage, Reverse Johnson, and CDS (BB_IRJCDS) จากผลการทดลองพบว่า ความซับซ้อนของการคำนวณขอบเขตล่าง และข้อจำกัดของคอมพิวเตอร์ไม่สามารถทดลองกับปัญหาที่มีงานจำนวนมากๆ ได้ และวิธีที่มีการคำนวณของขอบเขตล่างแบบไม่พิจารณางานที่ยังไม่ถูกจัดลำดับ (BB_NUJA) วิธีการนี้สามารถลดความซับซ้อนของการคำนวณขอบเขตล่างได้ สอดคล้องกับทฤษฎี มีประสิทธิภาพในการลดจำนวนปม และสามารถลดเวลาคำนวณได้มากเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการเรียงสับเปลี่ยนแบบสมบูรณ์ ซึ่งวิธี BB_IRJCDS และวิธี BB_NUJA สามารถหาคำคำตอบได้ในเวลาที่เหมาะสมเฉพาะปัญหาที่มีจำนวนงานไม่เกิน 13 งาน และ 14 งานตามลำดับ นอกจากนี้ได้เสนอวิธี GA และวิธี MNEH_GA ในการค้นหาคำตอบปัญหาขนาดใหญ่ พบว่าวิธีการ GA และวิธี MNEH_GA สามารถค้นหาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพของคำตอบ และเวลาในการคำนวณคือ จำนวนรุ่นที่สร้างใหม่ในกระบวนการ GA และวิธี MNEH_GA (สวัสดิ์ ภาชะราช, 2550)

2.2 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment: DOE)

การออกแบบการวิธีการทดลองในงานวิจัยได้ใช้หลักการทางสถิติที่เรียกว่า การออกแบบการทดลองทางสถิติ (Statistical Design of Experiment) มาใช้ในการทดลอง ซึ่งการออกแบบทดลองทางสถิตินั้น หมายถึง กระบวนการที่ใช้ในการวางแผนการทดลองเพื่อให้ได้ข้อมูลที่เหมาะสมสามารถนำไปใช้ในการวิเคราะห์หาข้อสรุปที่เป็นเหตุเป็นผลด้วยวิธีการทางสถิติในการทดลอง การทดลองผลลัพธ์และสรุปที่เกิดขึ้นจะถูกนำมาใช้เพื่อศึกษาประสิทธิภาพในการทำงานของกระบวนการและระบบต่างๆ ซึ่งทั้งกระบวนการและระบบสามารถแทนด้วยแบบจำลองดังภาพที่ 2.9



ภาพที่ 2.9 แบบจำลองทั่วไปสำหรับกระบวนการหรือระบบ

การกำหนดตัวแปรที่ควบคุมได้และตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้จะขึ้นอยู่กับระบบของแต่ละระบบ ตัวแปรที่ควบคุมไม่ได้หรือตัวแปรรบกวน (Noise Variables) มักจะเกี่ยวข้องกับสภาพแวดล้อมหรือส่วนของอุปกรณ์หรือระบบที่ยากแก่การควบคุม ต้องใช้ความระมัดระวังสูงในการควบคุม เพราะเมื่อชำรุดอาจส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าใช้จ่าย ในส่วนตัวแปรที่ควบคุมได้ เช่น เครื่องจักรในการผลิต ที่มาของวัตถุดิบ เป็นต้น (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และคณะ, 2551) โดยวัตถุประสงค์ของการทดลองจะเกี่ยวข้องกับ

- 1) การหาตัวแปรที่มีผลมากที่สุดต่อผลตอบ y
- 2) การหาวิธีตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ y อยู่ในค่าที่ต้องการ
- 3) การหาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ y มีค่าน้อย
- 4) การหาวิธีการตั้งค่าของ x ที่มีผลต่อค่าผลตอบ y เพื่อให้ผลของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ z_1, z_2, \dots, z_n มีค่าน้อยที่สุด

2.2.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล

การออกแบบการทดลองเชิงแฟกทอเรียล (Experiment of Factorial Design) หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลอง ประโยชน์หลายประการจากการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล ได้แก่ ทำให้สามารถหลีกเลี่ยงปัญหาที่เกิดจากอันตรกิริยาของปัจจัยที่จะก่อให้เกิดข้อสรุปที่ผิดพลาดได้ เนื่องจากการออกแบบการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงกว่าการทดลองทีละปัจจัย ทำให้สามารถประมาณผลของปัจจัยหนึ่งที่ระดับต่างๆ ของปัจจัยอื่นได้ รวมทั้งทำให้เราสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลตลอดเงื่อนไขของการทดลองได้ ซึ่งการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลมีอยู่ด้วยกันหลายแบบ (อนุวิทย์ สนศิริ, 2553) ได้แก่

2.2.1.1 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 2 ปัจจัย เป็นการออกแบบเชิงแฟกทอเรียลชนิดที่ง่ายที่สุด จะเกี่ยวข้องกับปัจจัย 2 ปัจจัย เช่น ปัจจัย A และปัจจัย B โดยปัจจัย A จะประกอบด้วย a ระดับ ส่วนปัจจัย B จะประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งในแต่ละเรพลีเคตของการทดลองจะประกอบด้วย การทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมดเท่ากับ $a \times b$ การทดลองและโดยปกติจะมีจำนวนเรพลีเคตทั้งหมด n ครั้ง

2.2.1.2 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 2^k เป็นการออกแบบการทดลองในกรณีมีปัจจัย k ปัจจัย ซึ่งแต่ละปัจจัยประกอบด้วย 2 ระดับ ระดับเหล่านี้ อาจเกิดจากข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น อุณหภูมิ ความดัน หรืออาจเกิดจากข้อมูลเชิงคุณภาพ เช่น เครื่องจักร คนงานและใน 2 ระดับ ที่กล่าวนี้จะแทนด้วยระดับสูงและต่ำของปัจจัยหนึ่ง ๆ ใน 1 เรพลีเคตที่บริบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้ จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น 2^k ข้อมูล การออกแบบการทดลองแบบนี้มีประโยชน์มากต่องานทดลองในช่วงเริ่มแรก เมื่อมีปัจจัยเป็นจำนวนมากที่เราต้องการที่จะตรวจสอบ การออกแบบเช่นนี้จะทำให้เกิดการทดลองจำนวนน้อยที่สุดที่สามารถทำได้

2.2.1.3 การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ

การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบ 3 ระดับ หรือการออกแบบเชิงแฟกทอเรียล 3^k หมายถึง การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลที่แต่ละปัจจัยประกอบด้วย 3 ระดับ ได้แก่ ระดับต่ำระดับกลางและระดับสูง ซึ่งสัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจจะใช้ตัวเลข -1, 0 และ 1 ตามลำดับ สังเกตว่าการทดลองแบบนี้จะมีระดับที่สามของปัจจัยเพิ่มเข้ามาในแบบจำลอง ซึ่งทำให้เราสามารถที่จะแสดงความสัมพันธ์ระหว่างผลตอบ และปัจจัยที่สนใจในลักษณะลักษณะที่เป็นสมการแบบควอดราติกได้

2.2.2 สมมติฐานทางสถิติ

สมมติฐานทางสถิติ คือ ประโยคหรือข้อความที่กล่าวเกี่ยวกับพารามิเตอร์ของการแจกแจงความน่าจะเป็น อาจจะเป็นจริงหรือเท็จก็ได้ ซึ่งสมมติฐานทางสถิติเชิงปริมาณการเท่ากันของค่าสถิติเรียกว่า สมมติฐานหลักหรือสมมติฐานที่ไม่มีความแตกต่างกัน ซึ่งนักวิจัยเรียกกันว่า โนล ไฮโปทีสิส (Null Hypothesis) แทนด้วยสัญลักษณ์ H_0 ส่วนสมมติฐานรองหรือสมมติฐานที่มีความแตกต่างกัน นักวิจัยเรียกกันว่า อัลเทอเนทีฟ ไฮโปทีสิส (Alternative Hypothesis) แทนด้วยสัญลักษณ์ H_1 (โสภิตา ท้วมมี, 2550)

2.2.2.1 การทดสอบสมมติฐานทางเดียว

เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ $H_1 : \mu < \mu_0$ หรือ $H_1 : \mu > \mu_0$

โดยที่

H_0 คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ

H_0 คือ ค่าเฉลี่ยอ้างอิง

2.2.2.2 การทดสอบสมมติฐานแบบสองทาง

เป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu = \mu_0$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ $H_1 : \mu \neq \mu_0$

โดยที่

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ

μ_0 คือ ค่าเฉลี่ยอ้างอิง

หรือเป็นการตั้ง H_0 โดยกำหนด $H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \dots = \mu_\alpha$

และกำหนด H_1 ดังนี้คือ $H_1 : \mu_i \neq \mu_j$ อย่างน้อย 1 คู่ (i, j)

โดยที่

μ คือ ค่าเฉลี่ยของประชากรทั้งหมดที่สนใจ

i, j คือ $1, 2, \dots, \alpha$

ในการทดสอบสมมติฐานจะอาศัยวิธีการในการสุ่มตัวอย่าง การคำนวณค่าสถิติที่ใช้ในการทดสอบที่เหมาะสม และทำการสรุปเพื่อปฏิเสธหรือยอมรับ H_0 นอกจากนี้ยังต้องมีการกำหนดกลุ่มของค่าที่จะนำไปสู่การปฏิเสธ H_0 ซึ่งกลุ่มของค่านี้เรียกว่า พื้นที่วิกฤติหรือพื้นที่ของการปฏิเสธของการทดสอบ ในการทดสอบสมมติฐานจะเกิดลักษณะของความผิดพลาดในการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐาน ซึ่งความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทนี้สามารถเกิดขึ้นได้ขณะทดสอบสมมติฐาน ถ้าหากค่า H_0 ถูกปฏิเสธทั้งๆ ที่ H_0 ถูกต้อง จะเกิดความผิดพลาดประเภทที่ 1 ขึ้น แต่ถ้าหาก H_0 ไม่ถูกปฏิเสธทั้งๆ ที่ H_0 นั้นไม่ถูกต้อง ความผิดพลาดประเภทที่ 2 ก็เกิดขึ้น ความน่าจะเป็นของความผิดพลาดทั้ง 2 ประเภทก่อให้เกิดสัญลักษณ์พิเศษ คือ α และ β

$$\alpha = \text{P}(\text{type I error}) = \text{P}(\text{reject } H_0 / H_0 \text{ is true})$$

$$\beta = \text{P}(\text{type II error}) = \text{P}(\text{fail to reject } H_0 / H_0 \text{ is false})$$

โดยที่

α หมายถึง ความเสี่ยงในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักเป็นจริง

β หมายถึง ความเสี่ยงในการปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null Hypothesis) ทั้งที่สมมติฐานหลักไม่เป็นจริง

และจากความเสี่ยงของทั้งสองแบบนี้เองจึงต้องมีการกำหนดจำนวนซ้ำของการทดลองไว้ เพื่อให้มีความเชื่อมั่นหรือความเสี่ยงในการยอมรับข้อมูลตามที่กำหนดไว้ และในการวิเคราะห์ก็มักจะกำหนดให้ค่าของ α มีค่าคงที่และค่าของ β ให้มีค่าน้อยที่สุด

ตารางที่ 2.6

ตัวอย่างการตั้งสมมติฐานทางการวิจัยและสมมติฐานทางสถิติไปในรูปแบบต่างๆ

สมมติฐานทางการวิจัย	สมมติฐานทางสถิติ
1. ความถนัดทางคณิตศาสตร์มีความสัมพันธ์กับผลสัมฤทธิ์ทางการเรียนวิชาคณิตศาสตร์	$H_0 : \rho = 0$ $H_1 : \rho \neq 0$
2. นักเรียนที่ได้รับการอบรมเลี้ยงดูด้วยวิธีต่างกันจะมีวินัยในตนเองแตกต่างกัน	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 \neq \mu_2$
3. การพิจารณาความดีความชอบของข้าราชการโดยคำนึงถึงความสามารถมีความสัมพันธ์กันทางกับขวัญในการทำงานของข้าราชการ	$H_0 : \rho = 0$ $H_1 : \rho \neq 0$
4. วิธีการสอนแบบใช้คู่มือครูให้ผลน้อยกว่าวิธีการสอนแบบบทเรียนสำเร็จรูป	$H_0 : \mu_1 = \mu_2$ $H_1 : \mu_1 > \mu_2$
5. ผู้บริหารโรงเรียนที่มีประสบการณ์ในการบริหารงานต่างกันจะมีปัญหาการปฏิบัติงานบริหารบุคลากรแตกต่างกัน (ประสบการณ์ แบ่งเป็น 3 กลุ่มคือ 0-5 ปีขึ้นไป 5 ปีขึ้นไป 10 ปี และมากกว่า 10 ปี)	$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3$ $H_1 : \text{มี } \mu \text{ อย่างน้อยหนึ่งคู่ไม่เท่ากัน}$ หรือ $H_1 : \mu_i = \mu_j \text{ เมื่อ } i \neq j$

ที่มา: <http://www.edu.tsu.ac.th>

2.2.3 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance: ANOVA) เป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนองหรือลักษณะทางคุณภาพที่สนใจศึกษาหรือปรับปรุงของผลิตภัณฑ์จากระบบหรือกระบวนการ ในการวิเคราะห์จะแยกสาเหตุของความแตกต่างออกเป็น 2 ส่วนหลักๆ (ประไพศรี สุทัศน์, 2551) คือ

1. ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากปัจจัย (Factor) หรือวิธีปฏิบัติ (Treatment) ที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง

2. ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) คือ ความแตกต่างหรือการเปลี่ยนแปลงที่ไม่สามารถอธิบายได้เนื่องจากการขาดความรู้ หรือความรู้เกี่ยวกับระบบไม่มากพอ ในบางครั้งอาจเกิดจากการไม่สามารถควบคุมการทดลอง (Noise Factors) ได้ ซึ่งในการวิเคราะห์ความแปรปรวนความแตกต่างในรูปของความผิดพลาดหรือส่วนที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Error or Residuals) ในการทดลองถ้ามีความรู้ความสามารถควบคุมการทดลองมากขึ้นความผิดพลาดในส่วนนี้ก็จะน้อยลง

วิธีการทดสอบจากตารางวิเคราะห์ความแปรปรวน โดยในตารางวิเคราะห์ความแปรปรวนทั่วไป จะประกอบด้วยแหล่งของความแปรปรวน (Source of Variation), องศาแห่งความอิสระ (Degrees of Freedom: $D.F.$), ผลรวมกำลังสอง (Sum of Square: SS), ค่าเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squares: MS) และค่า F (F Value: F) ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.7

วิเคราะห์ความแปรปรวน

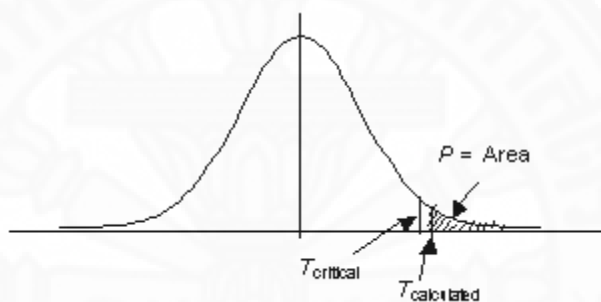
Source	$D.F.$	SS	MS	F
Treatment	$a - 1$	SSA	MSA	$F_A = \frac{MSA}{MSE}$
	$b - 1$	SSB	MSB	$F_B = \frac{MSB}{MSE}$
Error	$N - a - b + 1$	SSE	MSE	
Total	$N - 1$	SST		

2.2.4 P-Value

การสรุปผลการทดสอบสมมติฐาน ถ้าสมมติฐานหลักถูกยอมรับแสดงว่าสมมติฐานนั้นเป็นจริงหรือถ้าสมมติฐานหลักถูกปฏิเสธแสดงว่าสมมติฐานนั้นไม่เป็นจริง จึงได้มีการกำหนดค่าระดับนัยสำคัญ เพื่อบ่งบอกการยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานหลัก (Null hypothesis) เรียกว่า Probability Value (P-Value) ไม่ว่าจะทดสอบสมมติฐานประเภทใดก็ตาม ผลการทดสอบสมมติฐานหรือโอกาสในการที่จะยอมรับหรือปฏิเสธสมมติฐานนั้นๆ จะเป็นไปตามทฤษฎี Probability

ภายใต้ Normal distribution เท่านั้น ค่า P-Value จะอ้างอิงอยู่กับค่า α โดยที่ค่า P-Value คือ ค่าจริงของ Probability ซึ่งได้จากการคำนวณ และค่า α คือ เส้นกำหนดหรือจุดแบ่งระหว่างการยอมรับหรือการปฏิเสธสมมติฐานหลัก ซึ่งก็คือ Probability เหมือนกัน ดังนั้นจะยอมรับสมมติฐานหลักถ้าค่า P-Value มากกว่าค่า α และปฏิเสธสมมติฐานหลักถ้าค่า P-Value เท่ากับหรือน้อยกว่าค่า α การคำนวณหาค่า P-Value มีทั้งหมด 3 กรณี ตามการกำหนดรูปแบบการทดสอบสมมติฐานคือ

1. กรณีการทดสอบมากกว่า (Upper-tailed test) ค่า P-value จะเท่ากับพื้นที่ด้านขวามือของค่า Z หรือ t ที่คำนวณได้ ($T_{\text{calculated}}$) ในกรณีนี้ α จะเท่ากับพื้นที่ตั้งแต่ขวามือของค่า T_{critical} ไปจนสุดขอบ



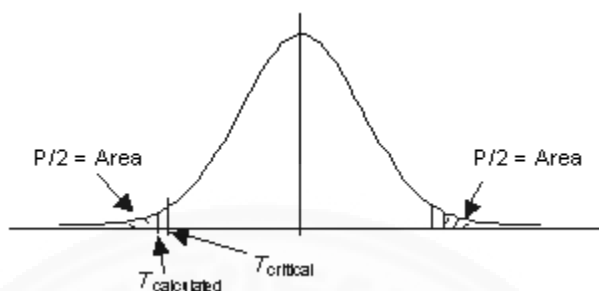
ภาพที่ 2.10 กรณีการทดสอบมากกว่า (Upper-tailed test)

2. กรณีการทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed test) ค่า P-value จะเท่ากับพื้นที่ด้านซ้ายมือของค่า $-Z$ หรือ $-t$ ที่คำนวณได้ ($T_{\text{calculated}}$) ในกรณีนี้ α จะเท่ากับพื้นที่ตั้งแต่ซ้ายมือของค่า T_{critical} ไปจนสุดขอบ



ภาพที่ 2.11 กรณีการทดสอบน้อยกว่า (Lower-tailed test)

3. กรณีการทดสอบไม่เท่ากับ (Two-tailed test) ค่า P-value จะเท่ากับผลรวมของพื้นที่ด้านซ้ายมือของค่า $-Z$ หรือ $-t$ และทางขวามือของค่า Z หรือ t ที่คำนวณได้ ในกรณีนี้ α จะเท่ากับสองเท่าของพื้นที่ตั้งแต่ซ้ายมือของค่า $T_{critical}$ หรือค่า $-T_{critical}$ ไปจนสุดขอบ



ภาพที่ 2.12 กรณีการทดสอบน้อยไม่เท่ากับ (Two-tailed test)

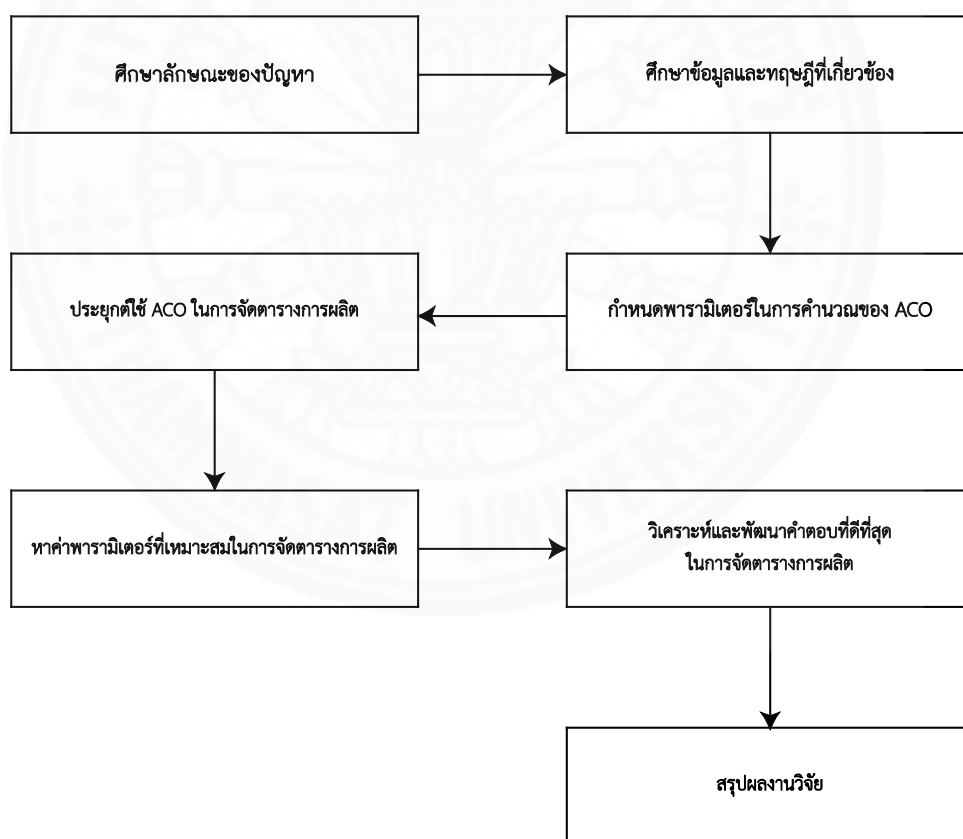
ดังนั้น α คือ พื้นที่ใต้กราฟ เมื่อใช้ค่า Z หรือ T-Critical ซึ่งก็คือ เกณฑ์หรือ Limit ส่วน P-Value คือ พื้นที่ใต้กราฟ เมื่อใช้ค่า Z หรือ T-Calculated ซึ่งก็คือ ค่าจริงที่ได้จากการวิเคราะห์จากข้อมูลจริง

บทที่ 3 วิธีการวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นการศึกษาการจัดตารางการผลิตแบบไหลลื่น มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอวิธีการการศึกษาและพัฒนาระบบที่ใช้วิธีการอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน โดยวิธีการดำเนินงานแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน ประกอบด้วย

- (1) กระบวนการจัดลำดับการผลิต (Scheduling Process)
- (2) การประเมินประสิทธิภาพในการจัดลำดับการผลิต

ในวิธีการศึกษาวิจัยนี้ จะถูกนำไปประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น โดยมีกระบวนการศึกษาและพัฒนาแนวคิดมาจากวิธีการอาณาจักรมตมาใช้ในการดำเนินงานวิจัย



ภาพที่ 3.1 วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

3.1.1 คอมพิวเตอร์ฮาร์ดแวร์ (Computer Hardware)

คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในงานวิจัย คือ คอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล (Personal Computer) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- 1) หน่วยประมวลผลกลาง Dual-Core Processor 2.20 GHz
- 2) หน่วยความจำสำรองที่ใช้ในงานวิจัย 12.00 GB
- 3) ความจุ Hard disk drive 100 GB

3.1.2 คอมพิวเตอร์ซอฟต์แวร์ (Computer Software)

- 1) ภาษาที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม คือ Microsoft Visual Studio
- 2) ซอฟต์แวร์ระบบปฏิบัติการ คือ Window 7 Ultimate
- 3) Input Analyzer
- 4) Microsoft Excel
- 5) Minitab 16

3.2 เวลาการผลิตที่มีค่าเป็นพิสัย

การจัดลำดับการผลิตนับว่าเป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สำคัญในการวางแผนการผลิต ซึ่งในการจัดลำดับการผลิตจะมีความซับซ้อนมากขึ้นเรื่อยๆ ใดก็ขึ้นอยู่กับวิธีการผลิต หรือกระบวนการผลิตในแต่ละอุตสาหกรรม ในการดำเนินงานของอุตสาหกรรมประเภทต่างๆ หากมีการวางแผนกระบวนการผลิตที่ดี มีประสิทธิภาพ จะทำให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากขึ้น ต้นทุนในการผลิตลดลง ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมทั่วไปจะมีระบบการผลิตที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับลักษณะของผลิตภัณฑ์ ปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน (Flow Shop Scheduling) เป็นการทำงานจัดทำกำหนดการสำหรับงานที่มีกระบวนการหลายขั้นตอน ปัญหาทั่วไปในการจัดลำดับงานแบบไหลเลื่อนมักตั้งสมมติฐานให้เวลาในการทำงานในแต่ละเครื่องจักรเป็นค่าคงที่ ซึ่งจะสอดคล้องกับลักษณะของปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในโรงงานอุตสาหกรรม จึงได้ตั้งสมมติฐานให้เวลาในการทำงานในแต่ละเครื่องจักรให้มีค่าไม่คงที่หรือมีค่าไม่แน่นอน โดยปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน (Flow Shop Scheduling with Uncertain Time) จะแตกต่างจากปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนทั่วไป ที่เวลาในการผลิตในแต่ละงานของแต่ละเครื่องจักรจะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งเวลาในการวิจัยจะมีการกระจายตัวแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) โดยกำหนดให้ค่า

มาก คือ เวลาเสร็จสิ้นในการผลิตมากที่สุด และค่าน้อย คือ เวลาเสร็จสิ้นในการผลิตน้อยที่สุด โดยงานวิจัยนี้เพื่อศึกษากรณีที่ไม่สามารถระบุความน่าจะเป็นของการเกิดเวลาการผลิตที่แตกต่างกัน แต่จะทราบโดยประมาณจากเวลาการผลิตน้อยที่สุดและเวลาการผลิตมากที่สุด จะเรียกกรณีศึกษาว่าการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) (สวัสดี ภาวระราช, 2550) โดยมีวัตถุประสงค์ในการจัดตารางการผลิต เพื่อให้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นระหว่างเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุดมีค่าน้อยที่สุด เพื่อวางแผนหาระยะเวลาการผลิตที่เหมาะสมที่สุดในการดำเนินงาน

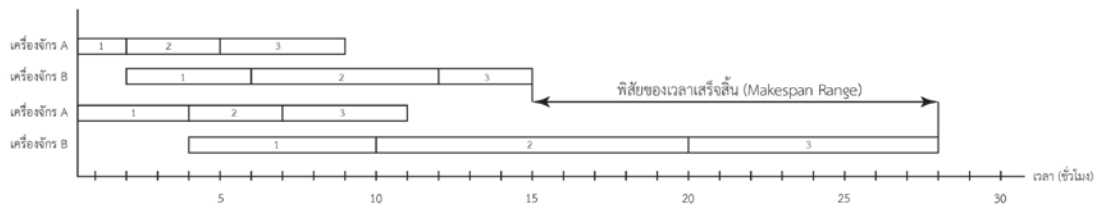
3.2.1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิต (Makespan Range)

วิธีการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นกรณีการจัดลำดับงาน 3 งานบน 2 เครื่องจักร

		เครื่องจักร		เครื่องจักร	
		A	B	A	B
งาน	1	2	4	1	4
	2	3	6	2	10
	3	4	3	3	8
		เวลาการผลิตค่าน้อย		เวลาการผลิตค่ามาก	

ภาพที่ 3.2 ข้อมูลเวลาการผลิตค่ามาก และเวลาการผลิตค่าน้อย

การผลิตแบบไหลลื่นงานแต่ละงานจะต้องผ่านเครื่องจักรทุกเครื่องจักรที่เรียงลำดับกัน โดยเรียงลำดับงานที่ละงาน การรอคอยงานจะเกิดขึ้นได้ 2 กรณี คือ กรณีงานที่ดำเนินการผลิตเสร็จบนเครื่องจักรที่ 1 แต่ยังคงดำเนินการผลิตต่อไม่ได้เพราะเครื่องจักรที่ 2 ยังไม่ว่าง และกรณีเครื่องจักรที่ 2 ว่าง แต่คงรอการผลิตจากเครื่องจักรที่ 1 ยังดำเนินการผลิตไม่เสร็จ หากนำงานทั้งหมดมาผลิตบนเครื่องจักร 2 เครื่องจักรตามลำดับ จะทำให้เกิดเวลาเสร็จสิ้นค่ามาก และเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อย ผลต่างของค่าเวลางานเสร็จสิ้นค่ามากกับเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อย เรียกว่า พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเป็นตัวชี้วัดการกระจายของเวลาเสร็จสิ้น ซึ่งจะหมายความว่า หากตารางการผลิตใดมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมาก แสดงว่าจะมีโอกาสเกิดความคลาดเคลื่อนของเวลาเสร็จสิ้นของตารางการผลิตมากกว่าตารางการผลิตที่มีพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อย



ภาพที่ 3.3 พิสัยเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 3 งานบนเครื่องจักร 2 เครื่องจักร

กำหนดให้

$T_{i,j}^{\max}$ คือ เวลาการผลิตเสร็จสิ้นของงานที่มีค่ามากที่สุดของตารางงานที่มีการจัดลำดับแล้ว j บนเครื่องจักร i

$T_{i,j}^{\min}$ คือ เวลาการผลิตเสร็จสิ้นของงานที่มีค่าน้อยที่สุดของตารางงานที่มีการจัดลำดับแล้ว j บนเครื่องจักร i

$t_{i,j}^{\max}$ คือ เวลาการผลิตค่ามากของงาน j บนเครื่องจักร i

$t_{i,j}^{\min}$ คือ เวลาการผลิตค่าน้อยของงาน j บนเครื่องจักร i

$\sigma(n)$ คือ ตารางงานใดๆ ที่มีการจัดลำดับแล้วจำนวน n งาน

เวลาการผลิตค่ามากได้จากการนำค่าเวลาการผลิตของงานต่างๆ แทนค่าเวลาบนเครื่องจักรต่างๆ ด้วยเวลาการผลิตที่มากที่สุด และเวลาการผลิตค่าน้อยได้จากการนำค่าเวลาการผลิตของงานต่างๆ แทนค่าเวลาบนเครื่องจักรต่างๆ ด้วยเวลาการผลิตที่น้อยที่สุด เรียกว่า เวลาเสร็จสิ้นของงาน (Makespan) ดังนั้นพิสัยของเวลางานเสร็จสิ้น (Makespan Range) ของตารางงานใดๆ คือ ผลต่างระหว่างเวลาการผลิตเสร็จสิ้นค่ามาก (Maximum Makespan) กับเวลาการผลิตเสร็จสิ้นค่าน้อย (Minimum Makespan) ของตารางงานนั้นๆ ดังสมการที่ 3.1

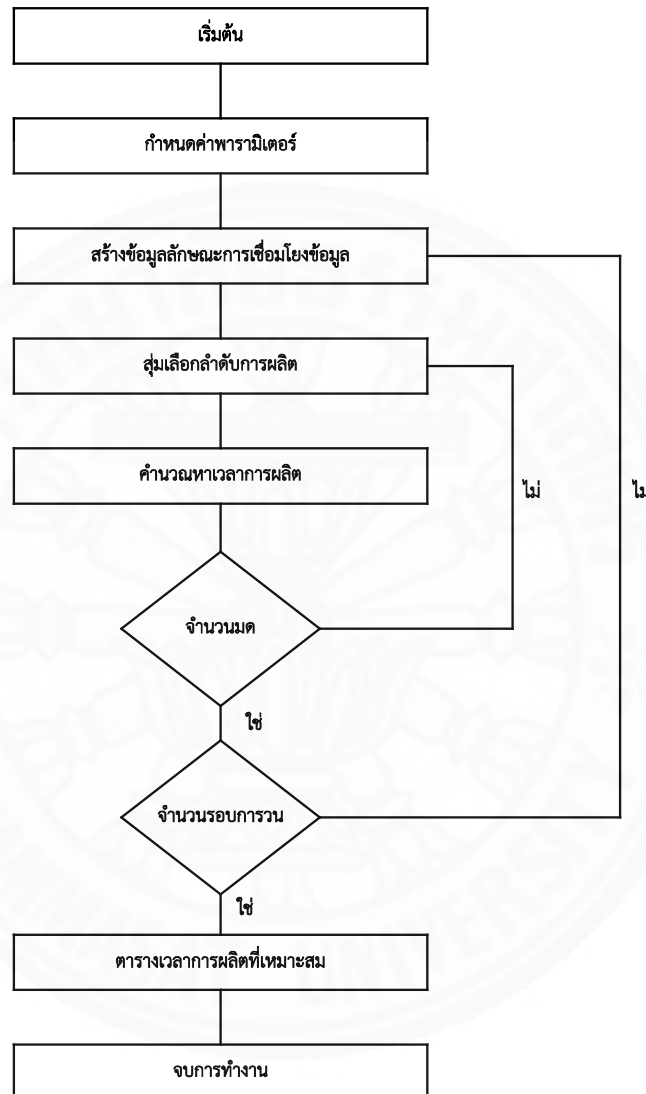
$$R_{(\sigma)} = \min C_{m,\sigma(n)}^{\max} - \min C_{m,\sigma(n)}^{\min} \quad (3.1)$$

กำหนดให้

$R_{(\sigma)}$ คือ ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

3.3 กระบวนการจัดลำดับการผลิต (Scheduling Process)

3.3.1 โครงสร้างการทำงานของวิธีอาณาจักรมต



ภาพที่ 3.4 โครงสร้างการทำงานของวิธีอาณาจักรมต

3.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของวิธีอาณาจักรมต

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ในการทดลองกำหนดให้ค่าพารามิเตอร์ในการทดลองของวิธีอาณาจักรมตมีตัวแปรจำนวน 6 ตัว ในการออกแบบการทดลองเป็นการทดลองรูปแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ โดยกำหนดค่าของตัวแปรต่างๆ ประกอบด้วย ประชากรมต (A) ค่าฟีโรโมน (τ_0) ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน (ρ) ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน (α) ค่าถ่วง

น้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล (β) และค่าพีโรโมนอแพดต (Q) ซึ่งในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสมกับการทดลองนั้นต้องทำศึกษางานวิจัยต่างๆ ที่นำมาประยุกต์ใช้กับวิธีการอาณาจักรมตในการแก้ปัญหา โดย (Figali และคณะ, 2552) ได้ทำการกำหนดช่วงของค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีอาณาจักรมตเพื่อใช้ในการออกแบบการทดลอง (พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพชร, 2555) ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1

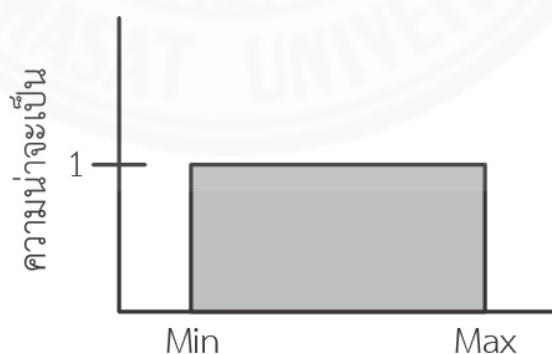
ค่าช่วงของพารามิเตอร์

พารามิเตอร์	α	β	ρ	m^*	t^*
ช่วงพารามิเตอร์	0-5	0-5	0-1	0-100	0-100

หมายเหตุ: เครื่องหมาย * แทน m คือ จำนวนมต และ t คือ จำนวนรอบการวนซ้ำ

3.3.3 การกำหนดข้อมูลตารางการผลิต

ตารางเวลาการผลิตสร้างขึ้นจากการประยุกต์ใช้โปรแกรม Input Analyzer จำลองเวลาการผลิตในการทดลอง การสร้างตารางเวลาการผลิตต้องคำนึงถึงเวลาในการผลิตที่เกิดขึ้นจริงของงานหนึ่งในขั้นตอนหนึ่ง ซึ่งเวลาในการผลิตของแต่ละขั้นตอนนั้นมักมีค่าไม่คงที่หรือไม่แน่นอนเสมอ ดังนั้นตารางเวลาการผลิตมักมีการกระจายตัวของเวลาการผลิตอยู่ในรูปแบบยูนิฟอร์ม (Uniform Distribution) ซึ่งเป็นเวลาการผลิตที่เสร็จเร็วที่สุดกับเวลาการผลิตที่เสร็จช้าที่สุด



ภาพที่ 3.5 โอกาสความน่าจะเป็นของเวลาการผลิตไม่แน่นอน

3.3.4 การสร้างตารางการผลิตในการทดลอง

ตารางการผลิตในการทดลองสร้างจากการประยุกต์ใช้โปรแกรม Input Analyzer สร้างตารางเวลาการผลิตและสร้างค่าเบี่ยงเบนของเวลาเสร็จสิ้นในการผลิต เพื่อสร้างตารางการผลิตค่ามากและตารางการผลิตค่าน้อย เนื่องจากเวลาในการทำงานไม่สามารถกำหนดเวลาเสร็จสิ้นของงานที่แน่นอนได้ จึงต้องคำนึงถึงเวลาในการผลิตที่มากที่สุดและเวลาในการผลิตที่น้อยที่สุด ดังภาพที่ 3.6 และภาพที่ 3.7 จากตารางที่ 3.2 แสดงตารางเวลาการผลิตค่ามากและตารางเวลาการผลิตค่าน้อยที่ใช้ในการดำเนินการวิจัย

ตารางการผลิต				ค่าเบี่ยงเบนของเวลาเสร็จสิ้น			
งาน	A	B	C	งาน	A	B	C
1	21	27	28	1	3	3	2
2	12	20	23	2	2	2	2
3	14	25	27	3	3	3	2
4	12	22	22	4	2	2	2
5	13	28	23	5	3	2	3

ภาพที่ 3.6 การสร้างตารางเวลาการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

เวลาการผลิตค่ามาก				เวลาการผลิตค่าน้อย			
งาน	A	B	C	งาน	A	B	C
1	24	30	30	1	18	24	26
2	14	22	25	2	10	18	21
3	17	28	29	3	11	22	25
4	14	24	24	4	10	20	20
5	16	30	26	5	10	26	20

ภาพที่ 3.7 เวลาการผลิตค่ามากและเวลาการผลิตค่าน้อย

ตารางที่ 3.2

เวลาการผลิตที่ใช้ในการทดลอง

Job	Machine					
	A		B		C	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
1	18	24	24	30	26	30

Job	A		B		C	
	Min	Max	Min	Max	Min	Max
2	10	14	18	22	21	25
3	11	17	22	28	25	29
4	10	14	20	24	20	24
5	10	16	26	30	20	26
6	13	19	24	28	26	30
7	19	25	17	23	21	25
8	17	23	18	26	20	24
9	15	17	16	20	21	27
10	12	16	23	29	23	27
11	15	19	20	24	21	27
12	17	23	16	20	21	25
13	15	19	17	23	24	28
14	21	25	15	19	20	24
15	11	15	26	30	23	27
16	21	25	15	19	22	26

3.3.5 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นด้วยวิธีอาณาจักรมด

การจัดลำดับแบบไหลสั้นการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมด สามารถอธิบายขั้นตอนการวิเคราะห์หลักการทำงานในการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาเป็นค่าพิสัย ดังนี้

1. สร้างตารางเวลาค่ามากและตารางเวลาค่าน้อยในการผลิต
2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีอาณาจักรมด
3. หาค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาการผลิตค่ามากกับเวลาการผลิตค่าน้อย และรวมผลของเวลาในแต่ละงาน (job) ทั้งหมดเข้าด้วยกัน
4. สร้างเมทริกซ์ฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และหาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการผลิตของแต่ละงานทั้งหมด
5. สร้างเมทริกซ์ฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าเมทริกซ์ฟีโรโมนตามค่าฟีโรโมนเริ่มต้นที่ตั้งค่าไว้

6. สร้างเมทริกซ์ฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าฟีโรโมนยกกำลังแอลฟา

7. สร้างเมทริกซ์ฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าความสนใจยกกำลังเบต้า

8. สร้างเมทริกซ์ฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าระยะเวลาการผลิต ตามสมการที่ (3.2)

$$\omega_{(i,j)} = \tau_{i,j}^\alpha \times \pi_{i,j}^\beta \quad (3.2)$$

กำหนดให้

$\omega_{(i,j)}$	คือ ค่าระยะเวลาการผลิตระหว่างงาน
$\tau_{i,j}^\alpha$	คือ ค่าฟีโรโมนของการผลิตระหว่างงานที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน
$\pi_{i,j}^\beta$	คือ ค่าฟีโรโมนของการผลิตระหว่างงานที่ให้ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้ใน

การสุ่มอย่างมีเหตุผล ซึ่งค่า π มีค่าเท่ากับ $\frac{1}{\tau_{i,j}}$

$\tau_{(i,j)}$ คือ เวลาที่ใช้การผลิตงานที่ i บนเครื่องจักร j

9. สุ่มเลือกลำดับการผลิตของมดแต่ละตัวด้วยวิธีวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) จนมดทุกตัวเดินครบ

10. คำนวณหาค่าระยะเวลาการผลิตด้วยวิธีการจัดลำดับ

11. คำนวณค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นของมดแต่ละตัว ตามสมการที่ (3.1)

12. บันทึกค่าลำดับงานและค่าผลตอบของมดทุกตัว

13. คัดเลือกคำตอบของมดที่ดีที่สุด

14. ทำการ Local Update ของมดทุกตัว โดยเรียงจากมดตัวที่มีพิสัยค่ามากที่สุดไปหามดตัวที่มีพิสัยค่าน้อยที่สุดในรอบ

14.1 ถ้า i, j ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มดเดินทางผ่าน ตามสมการที่ (3.3)

$$\tau_{i,j}^n = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^n) \quad (3.3)$$

14.2 ถ้า i, j อยู่ในเส้นทางที่มดเดินทางผ่าน ตามสมการที่ (3.4)

$$\tau_{i,j}^n = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^n) + \pi^l \quad (3.4)$$

กำหนดให้

$\tau_{i,j}^n$ คือ ค่าการระเหยของฟีโรโมนอัปเดต

ρ คือ ค่าอัตราการระเหยฟีโรโมน

π^l คือ ค่าอัตราส่วนเพิ่มของผลการระเหยพีโรโมน

15. ทำการ Global Update มดตัวที่ดีที่สุด

15.1 ถ้า i, j อยู่ในเส้นทางที่มดเดินทางผ่าน ตามสมการที่ (3.5)

$$\tau_{i,j}^n = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^n) + \nabla \pi^l \quad (3.5)$$

กำหนดให้

$\nabla \pi^l$ คือ ค่าอัตราส่วนเพิ่มของผลการระเหยพีโรโมนของมดตัวที่ดีที่สุด มีค่าเท่ากับ $\frac{Q}{L_l}$ เมื่อ Q คือ ค่าคงที่ใดๆ และ L_l คือ ระยะทางของการจัดลำดับการผลิตรวมของมดตัวที่ดีที่สุด

16. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 ถึง 13 จนกว่าจะครบกำหนดจำนวนรอบที่

กำหนดไว้

17. ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ว่าครบตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 2 หรือไม่ ถ้ายังไม่ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ ให้วนซ้ำในขั้นตอนที่ 6 จนครบตามจำนวนที่กำหนด

18. เลือกค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากลำดับดับงานที่มีค่าพิสัยเวลาเสร็จสั้นน้อย

ที่สุด

3.4 การทดลองการจัดลำดับการผลิต

3.4.1 การทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับผลิตแบบไหล

สิ้น

1. สร้างตารางเวลาค่ามากและตารางเวลาค่าน้อยในการผลิต

งาน	Machine					
	A		B		C	
1	24	18	30	24	30	26
2	14	10	22	18	25	21
3	17	11	28	22	29	25
4	14	10	24	20	24	20
5	16	10	30	26	26	20

2. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีอาณาจักรมด

ค่าพารามิเตอร์		
จำนวนรอบการทำงาน	5	รอบ
ประชากรมด	3	ตัว
ฟีโรโมนเริ่มต้น	0.50	(ทุกคู่)
ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน	0.05	
ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน (แอลฟา)	1	
ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล (เบต้า)	0.10	
ฟีโรโมนอัปเดต	0.90	

3. หาค่าเฉลี่ยระหว่างเวลาการผลิตค่ามากกับเวลาการผลิตค่าน้อย และรวมผลของเวลาในแต่ละงาน (job) ทั้งหมดเข้าด้วยกัน

Machine					
		A	B	C	Sum
Job	1	21	27	28	76
	2	12	20	23	55
	3	14	25	27	66
	4	12	22	22	56
	5	13	28	23	64

4. สร้างเมทริกฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และหาค่าเฉลี่ยของระยะเวลาในการผลิตของแต่ละงานทั้งหมด

ตารางเมทริกการผลิต					
Job	1	2	3	4	5
1	76.00	65.50	65.67	63.25	63.40
2	65.50	55.00	60.50	59.00	60.25
3	65.67	60.50	66.00	61.00	62.00
4	63.25	59.00	61.00	56.00	60.00
5	63.40	60.25	62.00	60.00	64.00

5. สร้างเมทริกฟีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าฟีโรโมนเริ่มต้นตามที่กำหนดไว้

ค่าพีโรโมน					
Job	1	2	3	4	5
1	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50
2	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50
3	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
4	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00

6. สร้างเมทริกซ์พีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าพีโรโมนยกกำลังแอลฟา

ค่าพีโรโมน (ยกกำลังแอลฟา)					
Job	1	2	3	4	5
1	0.00	0.50	0.50	0.50	0.50
2	0.50	0.00	0.50	0.50	0.50
3	0.50	0.50	0.00	0.50	0.50
4	0.50	0.50	0.50	0.00	0.50
5	0.50	0.50	0.50	0.50	0.00

7. สร้างเมทริกซ์พีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าความสนใจยกกำลังเบต้า

ค่าความสนใจ (ยกกำลังเบต้า)					
Job	1	2	3	4	5
1	0.64851	0.65823	0.65806	0.66053	0.66038
2	0.65823	0.66983	0.66347	0.66514	0.66375
3	0.65806	0.66347	0.65773	0.66293	0.66185
4	0.66053	0.66514	0.66293	0.66862	0.66403
5	0.66038	0.66375	0.66185	0.66403	0.65975

8. สร้างเมทริกซ์พีโรโมนของงานทั้งหมด โดยให้มีขนาดมิติเท่ากับขนาดของจำนวนงานทั้งหมด และปรับค่าระยะเวลาการผลิต

ค่าระยะเวลาการผลิต					
Job	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.32911	0.32903	0.33027	0.33019
2	0.32911	0.00000	0.33174	0.33257	0.33187
3	0.32903	0.33174	0.00000	0.33146	0.33093
4	0.33027	0.33257	0.33146	0.00000	0.33201
5	0.33019	0.33187	0.33093	0.33201	0.00000

9. สุ่มเลือกลำดับการผลิตของมดแต่ละตัวด้วยวิธีวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette

Wheel Selection) จนมดทุกตัวเดินครบ

Ant 1					
ความน่าจะเป็นทั้งหมด		5.0000000			
Random (uniform 0,1)		0.773			
ความน่าจะเป็น	งานไปงาน	ค่าระยะการผลิต	ความน่าจะเป็นทั้งหมด	ผลที่ได้	ผลสะสม
งาน	1	1.00	5.00	0.200	0.200
งาน	2	1.00	5.00	0.200	0.400
งาน	3	1.00	5.00	0.200	0.600
งาน	4	1.00	5.00	0.200	0.800
งาน	5	1.00	5.00	0.200	1.000
				เริ่มต้นงานที่	4

ความน่าจะเป็นทั้งหมด		1.3263147			
Random (uniform 0,1)		0.505			
ความน่าจะเป็น	งานไปงาน	ค่าระยะการผลิต	ความน่าจะเป็นทั้งหมด	ผลที่ได้	ผลสะสม
งาน	1	0.33026606	1.326	0.249	0.249
งาน	2	0.33257133	1.326	0.251	0.500
งาน	3	0.33146450	1.326	0.250	0.750
งาน	4	0.33201284	1.326	0.250	1.000
				เริ่มต้นงานที่	3

ความน่าจะเป็นทั้งหมด		0.9916934			
Random (uniform 0,1)		0.161			
ความน่าจะเป็น	งานไปงาน	ค่าระยะการผลิต	ความน่าจะเป็นทั้งหมด	ผลที่ได้	ผลสะสม
งาน	1	0.329030	0.992	0.332	0.332
งาน	2	0.331737	0.992	0.335	0.666
งาน	5	0.330926	0.992	0.334	1.000
				เริ่มต้นงานที่	1

ความน่าจะเป็นทั้งหมด		0.6609885			
Random (uniform 0,1)		0.092			
ความน่าจะเป็น	งานไปงาน	ค่าระยะการผลิต	ความน่าจะเป็นทั้งหมด	ผลที่ได้	ผลสะสม
งาน	2	0.329114	0.661	0.498	0.498
งาน	5	0.331875	0.661	0.502	1.000
				เริ่มต้นงานที่	2

10. คำนวณหาค่าระยะเวลาการผลิตด้วยวิธีการจัดลำดับ

ANT 1	MAX		
4	14	38	62
3	31	66	95
1	55	96	126
2	69	118	151
5	85	148	177

ANT 1	MIN		
4	10	30	50
3	21	52	77
1	39	76	103
2	49	94	124
5	59	120	144

ANT 2	MAX		
3	17	45	74
2	31	67	99
4	45	91	123
5	61	121	149
1	85	151	181

ANT 2	MIN		
3	11	33	58
2	21	51	79
4	31	71	99
5	41	97	119
1	59	121	147

ANT 2	MAX		
2	14	36	61
4	28	60	85
3	45	88	117
1	69	118	148
5	85	148	174

ANT 2	MIN		
2	10	28	49
4	20	48	69
3	31	70	95
1	49	94	121
5	59	120	141

11. คำนวณค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของมดแต่ละตัว

ANT 1	177	-	144	=	33
ANT 2	181	-	147	=	34
ANT 3	174	-	141	=	33

12. บันทึกค่าลำดับงานและค่าผลตอบของมดทุกตัว

13. คัดเลือกคำตอบของมดที่ดีที่สุด

ANT G	MAX		
2	14	36	61
4	28	60	85
3	45	88	117
1	69	118	148
5	85	148	174

ANG G	MIN		
2	10	28	49
4	20	48	69
3	31	70	95
1	49	94	121
5	59	120	141

ANT G	174	-	141	=	33
-------	-----	---	-----	---	----

14. ทำการ Local Update ของมดทุกตัว โดยเรียงจากมดตัวที่มีค่ามากที่สุดไป

หามดตัวที่มีค่าน้อยสุดในรอบ

ผลการระเหยฟีโรโมน					
Job	1	2	3	4	5
1	0.000	0.475	0.475	0.475	0.475
2	0.475	0.000	0.475	0.475	0.475
3	0.475	0.475	0.000	0.475	0.475
4	0.475	0.475	0.475	0.000	0.475
5	0.475	0.475	0.475	0.475	0.000

ผลการอัปเดตฟีโรโมน มด 1					
คู่เชื่อม	ผลการระเหยฟีโรโมน	ฟีโรโมน	ผลลัพท์	ส่วนที่เพิ่ม	ฟีโรโมนใหม่
32	0.475	1.00	34.00	0.029	0.504
24	0.475	1.00	34.00	0.029	0.504
45	0.475	1.00	34.00	0.029	0.504
51	0.475	1.00	34.00	0.029	0.504
13	0.475	1.00	34.00	0.029	0.504

ผลการระเหยฟีโรโมน					
Job	1	2	3	4	5
1	0.000	0.475	0.504	0.475	0.475
2	0.475	0.000	0.475	0.504	0.475
3	0.475	0.504	0.000	0.475	0.475
4	0.475	0.475	0.475	0.000	0.504
5	0.504	0.475	0.475	0.475	0.000

ผลการอัปเดตฟีโรโมน มด 2					
คู่เชื่อม	ผลการระเหยฟีโรโมน	ฟีโรโมน	ผลลัพท์	ส่วนที่เพิ่ม	ฟีโรโมนใหม่
43	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
31	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
12	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
25	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
54	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505

ผลการระเหยฟีโรโมน					
Job	1	2	3	4	5
1	0.000	0.475	0.504	0.475	0.475
2	0.475	0.000	0.475	0.504	0.475
3	0.475	0.504	0.000	0.475	0.475
4	0.475	0.475	0.475	0.000	0.504
5	0.504	0.475	0.475	0.475	0.000

ผลการอัปเดตฟีโรโมน มด 3					
คู่เชื่อม	ผลการระเหยฟีโรโมน	ฟีโรโมน	ผลลัพท์	ส่วนที่เพิ่ม	ฟีโรโมนใหม่
24	0.504	1.00	33.00	0.030	0.535
43	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
31	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
15	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505
52	0.475	1.00	33.00	0.030	0.505

15. ทำการ Global Update มดตัวที่ดีที่สุด

ผลการระเหยฟีโรโมน					
Job	1	2	3	4	5
1	0.000	0.475	0.504	0.475	0.505
2	0.475	0.000	0.475	0.535	0.475
3	0.505	0.504	0.000	0.475	0.475
4	0.475	0.475	0.505	0.000	0.504
5	0.504	0.505	0.475	0.475	0.000

ผลการอัปเดตฟีโรโมน มด Global					
คู่เชื่อม	ผลการระเหยฟีโรโมน	ฟีโรโมน	ผลลัพท์	ส่วนที่เพิ่ม	ฟีโรโมนใหม่
24	0.535	0.900	33.00	0.027	0.509
43	0.505	0.900	33.00	0.027	0.482
31	0.505	0.900	33.00	0.027	0.482
15	0.505	0.900	33.00	0.027	0.482
52	0.505	0.900	33.00	0.027	0.482

ค่าของพีโรมอนในรอบที่ 2					
Job	1	2	3	4	5
1	0.000	0.475	0.504	0.475	0.482
2	0.475	0.000	0.475	0.509	0.475
3	0.482	0.504	0.000	0.475	0.475
4	0.475	0.475	0.482	0.000	0.504
5	0.504	0.482	0.475	0.475	0.000

16. ทำซ้ำตามขั้นตอนที่ 6 ถึง 13 จนกว่าจะครบกำหนดจำนวนรอบที่กำหนดไว้

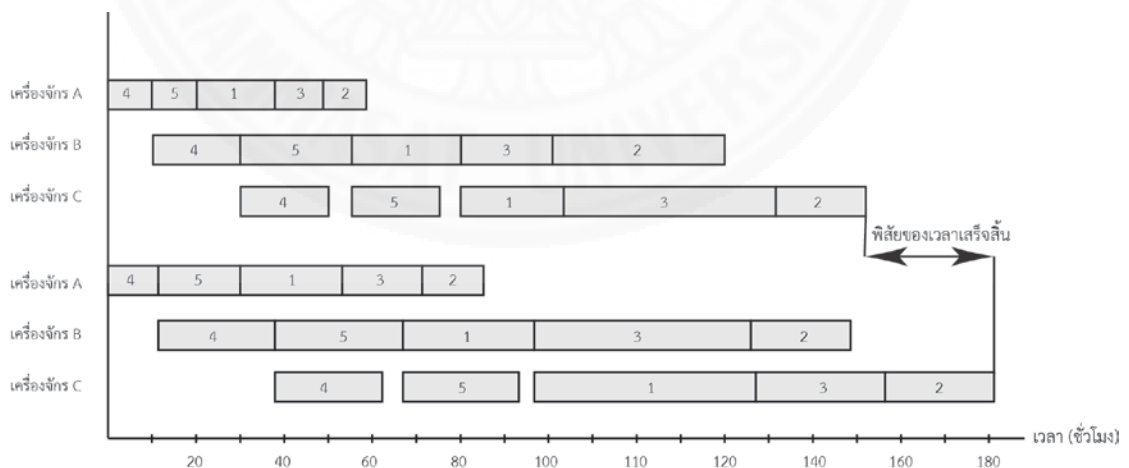
17. ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด ว่าครบตามจำนวนที่ได้กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 2 หรือไม่ ถ้ายังไม่ครบตามจำนวนที่กำหนดไว้ก็ให้วนซ้ำในขั้นตอนที่ 6 จนครบตามจำนวนที่กำหนด

18. เลือกคำตอบที่ดีที่สุดที่สุดจากลำดับดับงานที่มีค่าพิสัยเวลาเสร็จสั้นน้อยที่สุด

ANT G	MAX		
4	14	38	62
5	30	68	94
1	54	98	128
3	71	126	157
2	85	148	182

ANT G	MIN		
4	10	30	50
5	20	56	76
1	38	80	106
3	49	102	131
2	59	120	152

$$\text{ANT G} \quad 182 \quad - \quad 152 \quad = \quad 30$$



ภาพที่ 3.8 ตารางเวลาการผลิตพิสัยของเวลาเสร็จสั้น

3.5 การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม

การทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของวิธีอาณาจักรมต เป็นการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นจากคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมด ซึ่งคำตอบที่มีโอกาสเป็นไปได้นั้นจะมีค่าเท่ากับ $n!$ ในการทดสอบนี้เป็นทดสอบการจัตตารางการผลิตบนสถานีงาน 3 สถานี มีจำนวนงาน 5 งาน โดยจะมีคำตอบที่เป็นไปได้ 120 คำตอบสำหรับงานจำนวน 5 งาน จะเห็นได้ว่าหากมีงาน n งานเพิ่มขึ้นจำนวนของคำตอบที่มีโอกาสเป็นไปได้จะเพิ่มขึ้นเป็นแบบ $n!$ ซึ่งคำตอบของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดจากการทดลองจัดลำดับการผลิตมีดังต่อไปนี้

ตารางที่ 3.3

ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของงานจำนวน 5 งาน

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
พิสัย	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
ลำดับ	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
พิสัย	34	34	34	34	34	34	34	34	34	34
ลำดับ	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30
พิสัย	34	34	34	34	32	32	33	33	33	32
ลำดับ	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
พิสัย	31	30	32	32	33	32	31	30	30	30
ลำดับ	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50
พิสัย	31	31	34	34	34	34	34	34	34	34
ลำดับ	51	52	53	54	55	56	57	58	59	60
พิสัย	35	35	34	34	34	34	34	34	34	34
ลำดับ	61	62	63	64	65	66	67	68	69	70
พิสัย	35	35	35	35	35	35	34	34	34	34
ลำดับ	71	72	73	74	75	76	77	78	79	80
พิสัย	34	34	30	30	30	31	30	30	32	32

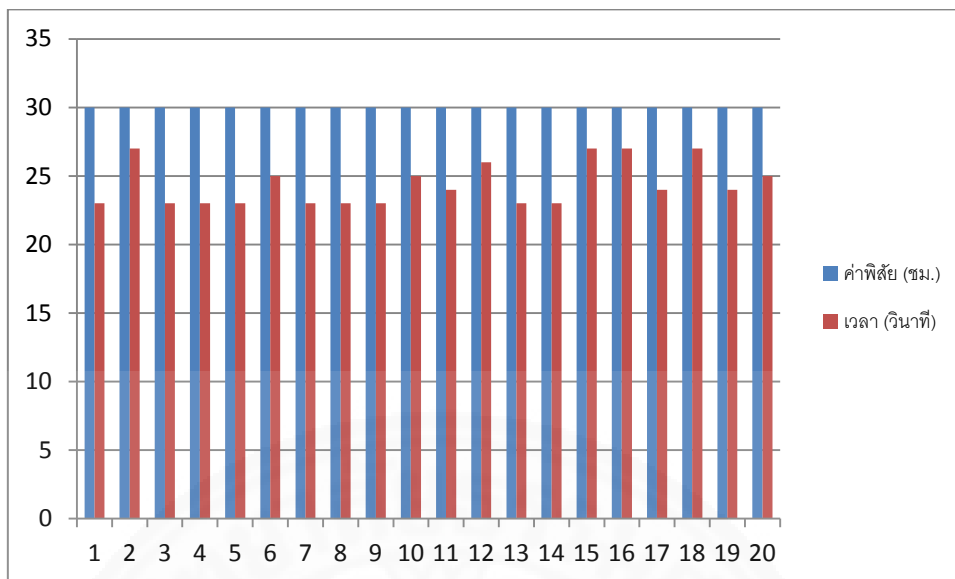
ลำดับ	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90
พิสัย	32	32	32	32	32	32	32	32	31	30
ลำดับ	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100
พิสัย	33	33	32	32	32	32	32	32	32	32
ลำดับ	101	102	103	104	105	106	107	108	109	110
พิสัย	32	32	32	32	32	32	32	32	33	33
ลำดับ	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120
พิสัย	32	32	32	33	32	32	32	32	32	33

จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมประมวลผลที่ได้รับการพัฒนาและประยุกต์มาจากวิธีการอาณาจักรมตของงานจำนวน 5 งาน เพื่อหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นที่มีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เหมือนกัน มีการทดสอบจำนวน 20 ครั้ง ผลจากการทดลองดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ครั้งที่	จำนวนงาน	ค่าพิสัย (ชม.)	เวลา (วินาที)	เปอร์เซ็นต์	ครั้งที่	จำนวนงาน	ค่าพิสัย (ชม.)	เวลา (วินาที)	เปอร์เซ็นต์
1	5	30	23	100.00	11	5	30	24	100.00
2	5	30	27	100.00	12	5	30	26	100.00
3	5	30	23	100.00	13	5	30	23	100.00
4	5	30	23	100.00	14	5	30	23	100.00
5	5	30	23	100.00	15	5	30	27	100.00
6	5	30	25	100.00	16	5	30	27	100.00
7	5	30	23	100.00	17	5	30	24	100.00
8	5	30	23	100.00	18	5	30	27	100.00
9	5	30	23	100.00	19	5	30	24	100.00
10	5	30	25	100.00	20	5	30	25	100.00
ค่าพิสัยน้อยสุด				30.00	ค่าพิสัยเฉลี่ย				30.00
ค่าพิสัยมากที่สุด				30.00	เปอร์เซ็นต์เฉลี่ย				100.00
					เวลาประมวลผลเฉลี่ย				24.40



ภาพที่ 3.9 แผนภูมิแสดงประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์

ผลการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ของการประยุกต์ใช้วิธีการอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน จากตารางที่ 3.4 แสดงให้เห็นว่าจากการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 5 งาน สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 100% จากการทดลอง 20 ครั้ง โดยสามารถหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด 30 ชั่วโมง และสามารถหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด 30 ชั่วโมง มีเวลาประมวลผลเฉลี่ย 24.40 วินาที จากการทดลองหาคำตอบทุกคำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้ง 120 คำตอบ จากจำนวนงาน 5 งาน พบว่าค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุดคือ 30 ชั่วโมง และค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดคือ 30 ชั่วโมง แสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพของคำตอบที่สามารถยอมรับได้

บทที่ 4

ผลการวิจัยและวิเคราะห์ข้อมูล

4.1 การจัดการตารางการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมด

4.1.1 การออกแบบทดลองในการจัดการตารางการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมด

การออกแบบการทดลองในงานวิจัยใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ มีตัวแปรจำนวน 6 ตัว ได้แก่ จำนวนประชากรมด ค่าฟีโรโมน ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สู้อย่างมีเหตุผล และค่าฟีโรโมนอัปเดต โดยการกำหนดช่วงระดับปัจจัยที่เหมาะสมตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพ็ชร, 2555) ได้ตั้งตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1

ระดับปัจจัยในแต่ละพารามิเตอร์ของวิธีอาณาจักรมด

ปัจจัย	ระดับปัจจัย	
	ต่ำ	สูง
ประชากรมด	5	10
ค่าฟีโรโมน	0.10	0.50
ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน	0.05	0.10
ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน	1	2
ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สู้อย่างมีเหตุผล	0.05	0.10
ค่าฟีโรโมนอัปเดต	0.50	0.90

ผลที่ได้จากการทดลองจะเท่ากับ $2^6 = 64$ การทดลองต่อ 1 รอบการทดลอง ใน การทดลองจะทำการทดสอบซ้ำจำนวน 5 รอบ ซึ่งผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจะเท่ากับ $64 \times 5 = 320$ การทดลองต่อการทดลอง 1 ชุด โดยในการทดลองจะทำการทดสอบทั้งสิ้น 3 ชุดการทดลอง ได้แก่

1. การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย ประกอบด้วยจำนวนงาน 8 งาน

2. การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย ประกอบด้วยจำนวนงาน 12 งาน

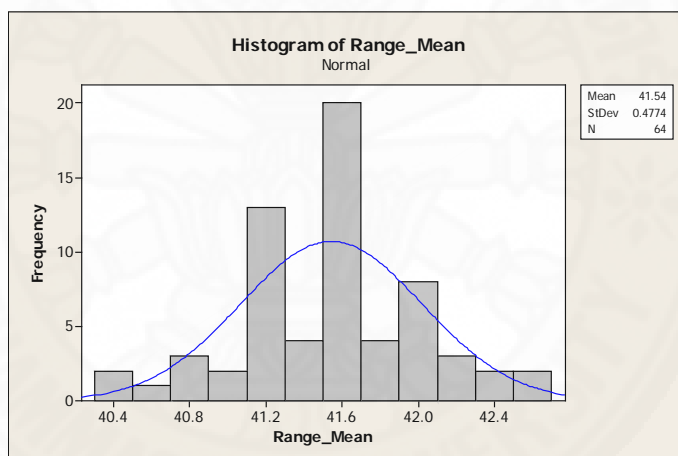
3. การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย ประกอบด้วยจำนวนงาน 16 งาน

4.2 ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น

4.2.1 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 8 งาน

ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของงานจำนวน 8 งาน ตัวแปร 6 ตัว การทดลอง 64 การทดลอง การทดลองละ 5 ครั้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.1.1 ผลการทดลองหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน

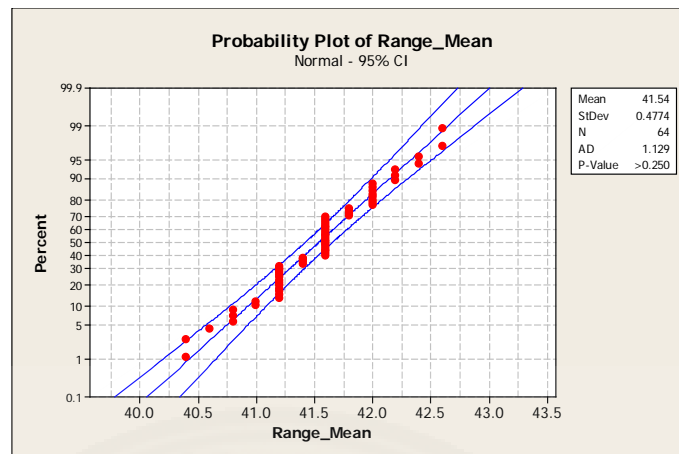


ภาพที่ 4.1 ผลการทดลองพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 8 งาน จากผลการทดลองหาเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น ในการจัดลำดับการผลิตค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุด คือ 40 ชั่วโมง และค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุด คือ 44 ชั่วโมง ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้เท่ากับ 41.54 ชั่วโมง

4.2.1.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติจากการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น กำหนดให้ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลัก มีการแจกแจงของการทดลองครั้งนี้เป็นแบบปกติ



ภาพที่ 4.2 แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติจำนวน 8 งาน

ผลการทดสอบหาความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ พบว่าค่า P-Value ในช่อง Anderson-Darling Normality Test ของการทดลองจำนวน 8 งาน มีค่ามากกว่า 0.250 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลักมีการแจกแจงของการทดลองเป็นปกติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ต่อไปได้

4.2.1.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) กำหนดให้

H_0 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าแตกต่างกัน

การแปลผล ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับสมมติฐานหลัก

ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก

One-way ANOVA: Range_1, Range_2, Range_3, Range_4, Range_5

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	1.519	0.380	0.39	0.817
Error	315	308.281	0.979		
Total	319	309.800			

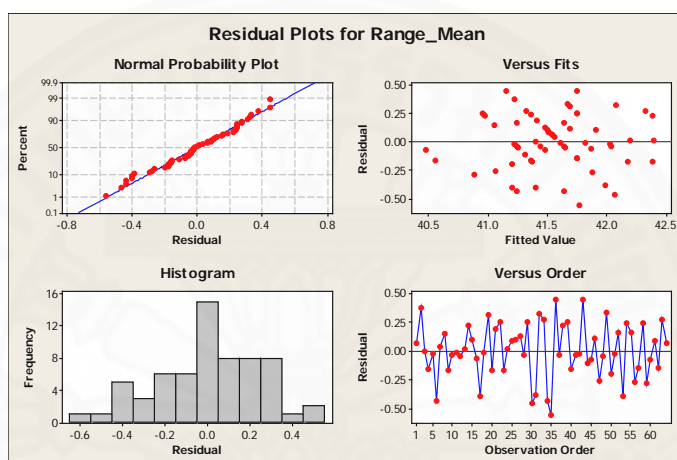
S = 0.9893 R-Sq = 0.49% R-Sq(adj) = 0.00%

Level	N	Mean	StDev	Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev
Range_1	64	41.563	0.906	(-----*-----)
Range_2	64	41.469	1.007	(-----*-----)
Range_3	64	41.422	1.081	(-----*-----)
Range_4	64	41.609	1.018	(-----*-----)

Range_5 64 41.563 0.924 (-----*-----)

 41.20 41.40 41.60 41.80
 Pooled StDev = 0.989

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) ผลจากการวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.817 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมีค่าไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.3 การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตกค้างจำนวน 8 งาน

จากภาพที่ 4.3 แสดงการตรวจสอบข้อสมมติฐานทางการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยการพล็อตค่าความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of The Residuals) จากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นตรง ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการทดสอบสมมติฐานแบบกราฟแท่งของส่วนตกค้าง (Histogram of The Residuals) ซึ่งผลจากการทดสอบด้วยสายตา พบว่าลักษณะของกราฟที่ปรากฏมีลักษณะเป็นรูปทรงระฆังคว่ำและกราฟที่ได้มีความสมมาตรกัน ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Fitted Values) ข้อมูลมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม มีรูปแบบการกระจายที่แน่นอน แสดงว่ามีค่าความแปรปรวนไม่คงที่ และการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Versus the Order of the Data) จากข้อมูลการพล็อตกราฟ แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในรอบลำดับของการเก็บข้อมูลไม่มีแนวโน้มที่ผิดปกติ ซึ่งการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

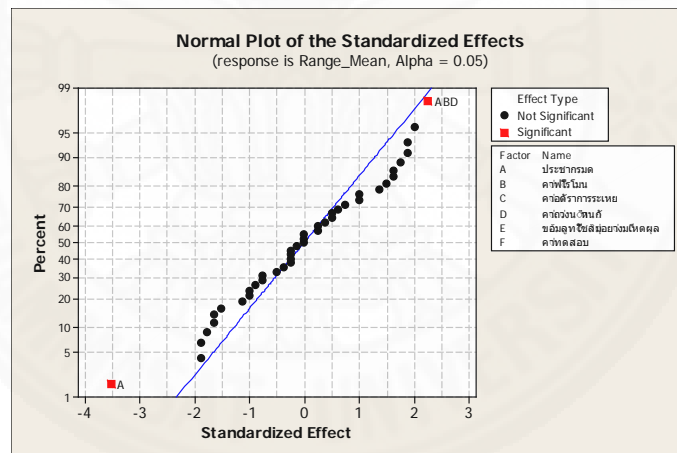
4.2.1.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนของพืชของเวลาเสร็จสิ้น

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการทดลอง จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อการปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบต่อการปัจจัยร่วม (Interaction) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการปัจจัยร่วมนั้นจะทำการวิเคราะห์ที่ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองผลตอบแทนของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 95% จะสังเกตได้จากค่า P-Value จะมีค่าน้อยกว่า 0.05

Analysis of Variance for Range Mean (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	2.700	2.700	0.450	2.840	0.033
ประชากรกรมต	1	1.960	1.960	1.960	12.390	<u>0.002</u>
ค่าพีโรโมน	1	0.090	0.090	0.090	0.570	0.459
ค่าอัตราการระเหย	1	0.040	0.040	0.040	0.250	0.620
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.360	0.360	0.360	2.280	0.146
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.090	0.090	0.090	0.570	0.459
ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.160	0.160	0.160	1.010	0.325
2-Way Interactions	15	4.678	4.678	0.312	1.970	0.072
ประชากรกรมต*ค่าพีโรโมน	1	0.203	0.203	0.203	1.280	0.270
ประชากรกรมต*ค่าอัตราการระเหย	1	0.023	0.023	0.023	0.140	0.710
ประชากรกรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.563	0.563	0.563	3.560	0.073
ประชากรกรมต*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.423	0.423	0.423	2.670	0.116
ประชากรกรมต*ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.423	0.423	0.423	2.670	0.116
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	0.563	0.563	0.563	3.560	0.073
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.423	0.423	0.423	2.670	0.116
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.423	0.423	0.423	2.670	0.116
ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.563	0.563	0.563	3.560	0.073
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.563	0.563	0.563	3.560	0.073
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.123	0.123	0.123	0.770	0.388
ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.023	0.023	0.023	0.140	0.710
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.003	0.003	0.003	0.020	0.901
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.303	0.303	0.303	1.910	0.181
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดด	1	0.063	0.063	0.063	0.400	0.536
3-Way Interactions	20	3.500	3.500	0.175	1.110	0.407
ประชากรกรมต*ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ประชากรกรมต*ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.810	0.810	0.810	5.120	<u>0.034</u>
ประชากรกรมต*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.000	0.000	0.000	*	*
ประชากรกรมต*ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.090	0.090	0.090	0.570	0.459
ประชากรกรมต*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ประชากรกรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.160	0.160	0.160	1.010	0.325

ประชากรมด*ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ประชากรมด*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.490	0.490	0.490	3.100	0.092
ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.040	0.040	0.040	0.250	0.620
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.490	0.490	0.490	3.100	0.092
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.640	0.640	0.640	4.050	0.057
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.360	0.360	0.360	2.280	0.146
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.000	0.000	0.000	*	*
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.000	0.000	0.000	*	*
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.040	0.040	0.040	0.250	0.620
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.160	0.160	0.160	1.010	0.325
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.010	0.010	0.010	0.060	0.804
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.160	0.160	0.160	1.010	0.325
Residual Error	22	3.480	3.480	0.158		
Total	63	14.358				

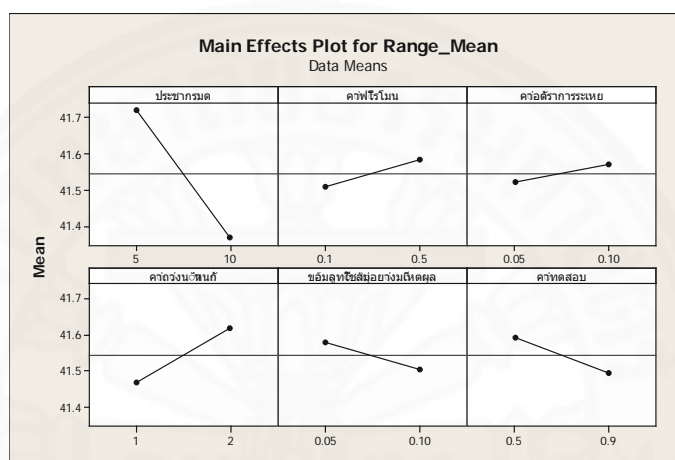


ภาพที่ 4.4 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน

จากภาพที่ 4.4 พบว่าพารามิเตอร์ประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบในระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level) โดยค่าพารามิเตอร์ประชากรมด ค่าพีโรโมน และค่าถ่วงน้ำหนักนั้นเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) ซึ่งการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) ในส่วนของปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน จะทำการวิเคราะห์ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่า

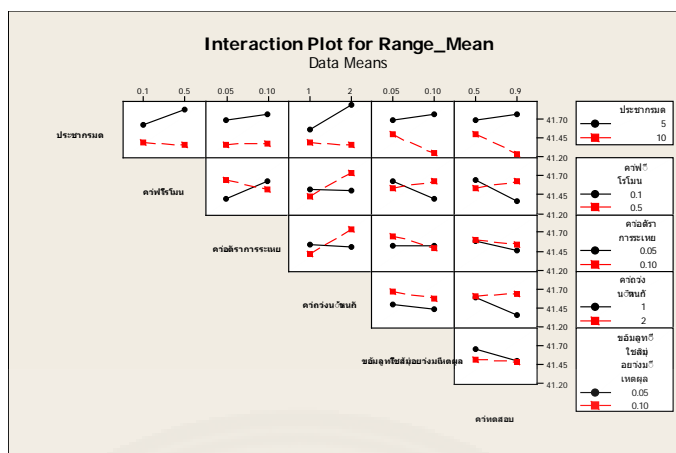
ปัจจัยหลัก คือ ค่าประชากรมดนั้นมีผลกระทบต่อผลตอบของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยสังเกตได้จากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมดนั้นมีค่าเท่ากับ 0.002 และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนักนั้นมีผลกระทบต่อผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนักนั้นมีค่าเท่ากับ 0.034 โดยปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction นั้นไม่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบใดๆ

4.2.1.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.5 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลัก พบว่าค่าประชากรเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่องานวิจัย ซึ่งค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.37 ชั่วโมง และค่าประชากรมด 5 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 41.72 ชั่วโมง โดยค่าฟีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.51 ชั่วโมง ค่าฟีโรโมน 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.58 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยฟีโรโมน 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.52 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยฟีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.58 ชั่วโมง ค่าถ่วงน้ำหนัก 1 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.47 ชั่วโมง ค่าถ่วงน้ำหนัก 2 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.62 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใช้มีอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.58 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใช้มีอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.51 ชั่วโมง และค่าฟีโรโมนอพเตด 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.59 ชั่วโมง ค่าฟีโรโมนอพเตด 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.49 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.6 ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับฟีโรโมน ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.35 ชั่วโมง ที่มีค่าฟีโรโมน 0.50 เมื่อค่าประชากรมดลดลงเหลือ 5 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 41.81 ชั่วโมง ค่าประชากรมด 5 และ 10 ของค่าฟีโรโมน 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 41.63 ชั่วโมง และ 41.39 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับอัตราการระเหย ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.36 ชั่วโมง ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 เมื่อค่าอัตราการระเหยเพิ่มขึ้น 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 41.38 ชั่วโมง โดยค่าประชากรมด 5 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 และ 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากกว่า คือ 41.68 ชั่วโมง และ 41.77 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.35 ชั่วโมง ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 2 เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักลดลงเหลือ 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 41.39 ชั่วโมง ถ้าค่าประชากรมด 5 ที่มีค่าถ่วงน้ำ 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นมาเล็กน้อย 41.55 ชั่วโมง แต่ถ้าค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 2 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นอย่างเห็นได้ชัด 41.89 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.25 ชั่วโมง ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น 41.39 ถ้าค่าประชากรมด 5 ของค่าข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จ

สิ้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 41.70 ชั่วโมง และค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้น 41.76 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับค่าพีโรโมนอัปเดต ถ้าค่าประชากรมด 10 ค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.24 และถ้าค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 41.50 ชั่วโมง ซึ่งจะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยกว่าค่าประชากรมด 5 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 จะได้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.69 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 จะได้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.75 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับอัตราการระเหย ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ของค่าอัตราการระเหย 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.39 ชั่วโมง และค่าอัตราการระเหยเพิ่ม 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 41.63 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.51 ชั่วโมง ซึ่งถ้าค่าอัตราการระเหยลด 0.05 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้น 41.70 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าพีโรโมน 0.05 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.43 ชั่วโมง ถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 41.74 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 41.51 ชั่วโมง และ 51.50 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.39 ชั่วโมง แต่ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 จะได้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 41.63 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 จะได้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.54 ชั่วโมง และค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.54 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับค่าพีโรโมนอัปเดต ถ้าค่าพีโรโมน 0.01 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.37 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 41.65 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมน 0.50 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.54 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.63 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการระเหยกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าอัตราการระเหย 0.10 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.40 ชั่วโมง และมีค่า

พิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อมีค่าถ่วงน้ำหนัก 2 คือ 41.74 ชั่วโมง โดยถ้าค่าอัตราการระเหย 0.05 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 และ 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยใกล้เคียงกัน คือ 41.54 ชั่วโมง และ 41.50 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการระเหยกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าอัตราการระเหย 0.10 ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.49 ชั่วโมง และมีค่าเฉลี่ยมากที่สุดเมื่อมีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 คือ 41.65 ชั่วโมง โดยถ้าค่าอัตราการระเหย 0.05 ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 และ 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.51 ชั่วโมง และ 41.53 ชั่วโมง ตามลำดับ

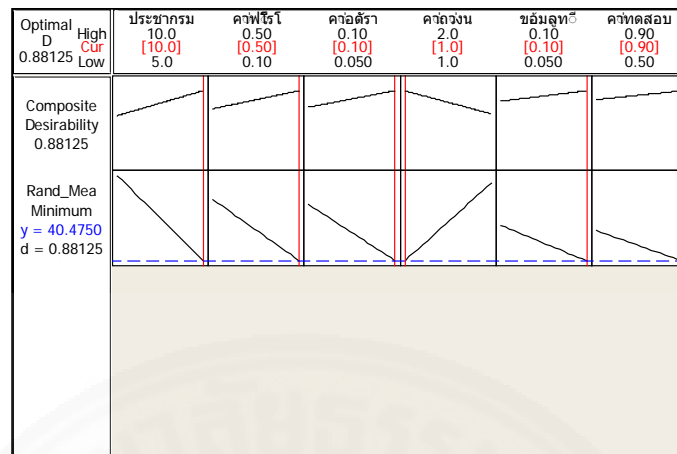
ปัจจัยร่วมระหว่างอัตราการระเหยกับพีโรโมนอัพเดต ถ้าค่าอัตราการระเหย 0.10 และ 0.05 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยเท่ากัน 41.60 ชั่วโมง โดยถ้าค่าอัตราการระเหย 0.10 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.54 ชั่วโมง และค่าอัตราการระเหย 0.05 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 41.45 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างถ่วงน้ำหนักกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.44 ชั่วโมง โดยค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยเพิ่มขึ้นเป็น 41.50 ชั่วโมง และถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 และ 0.05 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.58 ชั่วโมง และ 41.66 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างถ่วงน้ำหนักกับค่าพีโรโมนอัพเดต ถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 41.35 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมนอัพเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.60 ชั่วโมง ซึ่งจะเท่ากับค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.50 โดยถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.64 ชั่วโมง ซึ่งเป็นค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุด

ปัจจัยร่วมระหว่างข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลกับทดสอบ ค่าใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 และ 0.10 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุดเท่ากัน 41.49 ชั่วโมง โดยค่าใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ที่มีค่าพีโรโมนอัพเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 41.66 ชั่วโมง ซึ่งถ้าค่าพีโรโมนอัพเดต 0.50 ที่มีค่าใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 41.53 ชั่วโมง

4.2.1.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองของปัจจัยของเวลาเสร็จสิ้น



ภาพที่ 4.7 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer

จากภาพที่ 4.7 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่า ค่าพารามิเตอร์ประชากรมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 5 ถึง 10 ค่าพารามิเตอร์พีโรมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.50 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.10 ถึง 0.5 ค่าพารามิเตอร์อัตรากระเหยมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.1 ค่าพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 1 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 1 ถึง 2 ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.10 และค่าพารามิเตอร์พีโรโมเดิต มีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.90 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.50 ถึง 0.90

4.2.1.7 แบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design, CCD)

จากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ประชากรเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 โดยงานวิจัยนี้จะนำเอาปัจจัยหลักมาพิจารณาเท่านั้น ดังนั้นจึงพิจารณาปัจจัยประชากรที่เป็นปัจจัยหลักเท่านั้น การหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัย โดยนำค่าประชากรมาวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง ซึ่งกำหนดให้จุดกึ่งกลางค่าประชากรมีค่าเท่ากับ 8 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 รอบ ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2

ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

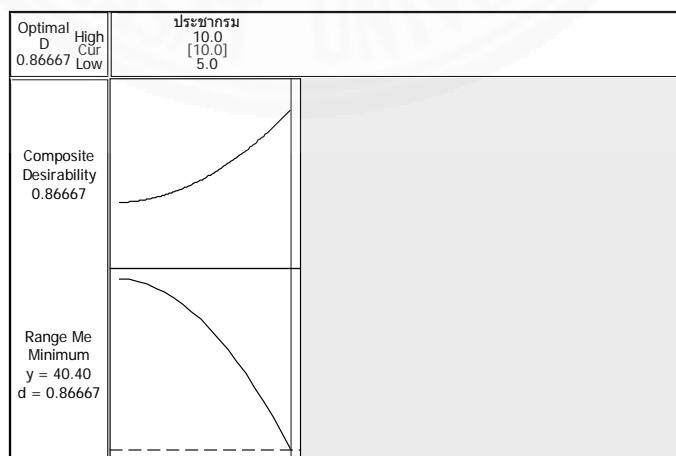
การทดลอง	จำนวนงาน	ค่าพารามิเตอร์					
		ประชากรมด	ค่าฟีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	ค่าฟีโรโมน อัปเดต
1	8	5	0.50	0.10	1	0.10	0.90
2		8	0.50	0.10	1	0.10	0.90
3		10	0.50	0.10	1	0.10	0.90

ตารางที่ 4.3

ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

การทดลอง	Range_1	Range_2	Range_3	Range_4	Range_5	Range Mean
1	42	42	42	42	42	42.00
2	42	40	40	43	42	41.40
3	40	42	40	40	40	40.40

จากตารางที่ 4.2 การออกแบบการทดลองวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองเพิ่มระดับปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลการทดลอง โดยเพิ่มที่ระดับกึ่งกลางอีก 1 ระดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าประชากรมด 10 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสั้นน้อยที่สุด และค่าประชากรมด 5 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด ดังตารางที่ 4.3 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังภาพที่ 4.7



ภาพที่ 4.8 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design

จากการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง สามารถหาค่าพารามิเตอร์ในการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 8 งาน ดังตารางที่ 4.4

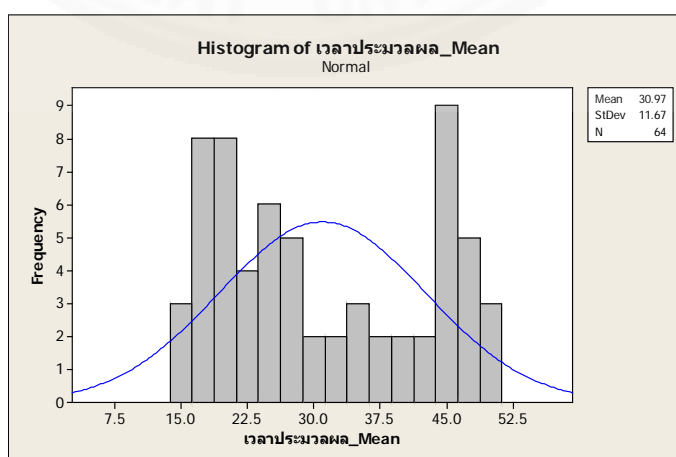
ตารางที่ 4.4

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนของงานจำนวน 8 งาน

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
ประชากรมด	10
ค่าพีโรโมน	0.50
ค่าอัตราการระเหย	0.10
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	0.10
ค่าพีโรโมนอัปเดต	0.90

จากตารางที่ 4.4 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดเพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่เหมาะสมที่สุดนั้น ค่าประชากรมด ค่าพีโรโมน ค่าอัตราการระเหย ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัปเดตจะใช้ค่าที่ดีที่สุดจากการออกแบบการทดลองคือ 10, 0.50, 0.10, 1, 0.10 และ 0.90 ตามลำดับ

4.2.1.8 เวลาที่ใช้ในการทดลองของงานจำนวน 8 งาน



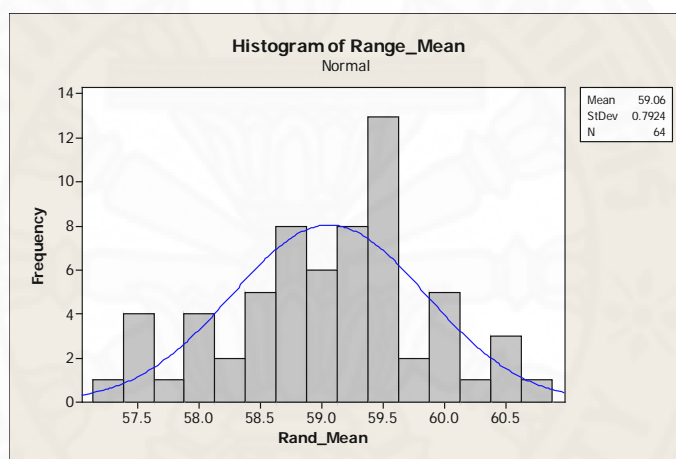
ภาพที่ 4.9 เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลการจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน จากการประยุกต์ใช้วิธีการอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่เร็วที่สุดคือ 14 วินาที และเวลาในการประมวลผลที่ช้าที่สุดคือ 63 วินาที ซึ่งเวลาในการประมวลผลที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 30.97 วินาที

4.2.2 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 12 งาน

ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของงานจำนวน 12 งาน ตัวแปร 6 ตัว การทดลอง 64 การทดลอง การทดลองละ 5 ครั้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.2.1 ผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน

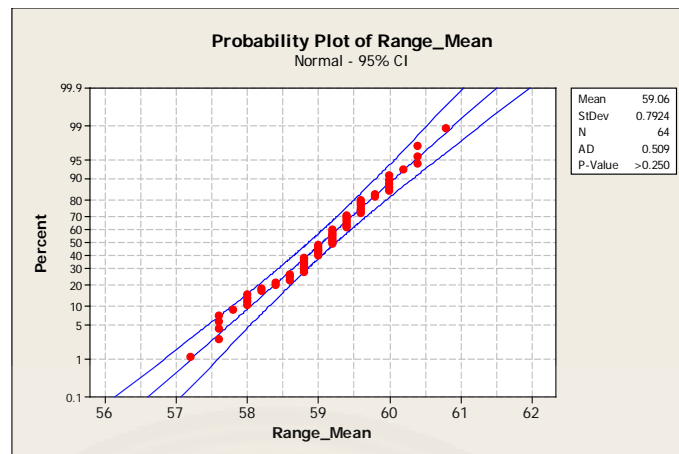


ภาพที่ 4.10 ผลการทดลองพิสัยเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 12 งาน จากผลการทดลองหาเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการจัดลำดับการผลิตเวลาของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุด คือ 54 ชั่วโมง และค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุด คือ 62 ชั่วโมง ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของพิสัยเวลาเสร็จสิ้นได้เท่ากับ 59.06 ชั่วโมง

4.2.2.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติจากการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น กำหนดให้ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลัก มีการแจกแจงของการทดลองครั้งนี้เป็นแบบปกติ



ภาพที่ 4.11 แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ

ผลการทดสอบหาความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ พบว่าค่า P-Value ในช่อง Anderson-Darling Normality Test ของการทดลองจำนวน 12 งาน มีค่ามากกว่า 0.250 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลักมีการแจกแจงของการทดลองเป็นปกติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ต่อไปได้

4.2.2.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) กำหนดให้

H_0 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าแตกต่างกัน

การแปลผล ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับสมมติฐานหลัก

ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก

One-way ANOVA: Range_1, Range_2, Range_3, Range_4, Range_5

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	2.08	0.52	0.21	0.933
Error	315	782.91	2.49		
Total	319	784.99			

S = 1.577 R-Sq = 0.27% R-Sq(adj) = 0.00%

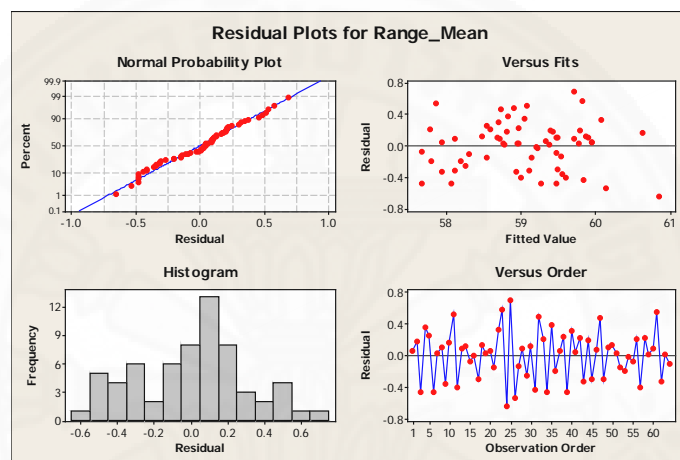
Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev			
Level	N	Mean	StDev
Rand_1	64	59.156	1.673
Rand_2	64	59.109	1.585
Rand_3	64	58.969	1.573

Rand_4	64	59.094	1.571	(-----*-----)
Rand_5	64	58.953	1.474	(-----*-----)

-----+-----+-----+-----+-----
58.75 59.00 59.25 59.50

Pooled StDev = 1.577

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) ผลจากการวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.933 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นมีค่าไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.12 การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตกค้างจำนวน 12 งาน

จากภาพที่ 4.12 แสดงการตรวจสอบข้อสมมติฐานทางด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยการพล็อตค่าความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of The Residuals) จากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการทดสอบสมมติฐานแบบกราฟแท่งของส่วนตกค้าง (Histogram of The Residuals) ซึ่งผลจากการทดสอบด้วยสายตา พบว่าลักษณะของกราฟที่ปรากฏมีลักษณะเป็นรูปทรงระฆังคว่ำและกราฟที่ได้มีความสมมาตรกัน ประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Fitted Values) ข้อมูลมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบการกระจายที่แน่นอน แสดงว่ามีค่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Versus the Order of the Data) จากข้อมูลการพล็อตกราฟ แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในรอบลำดับของการเก็บข้อมูลไม่มีแนวโน้มที่ผิดปกติ ซึ่งการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

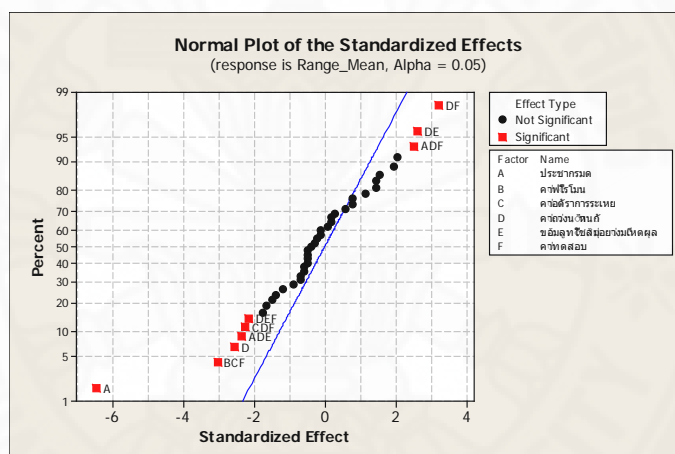
4.2.2.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าผลตอบแทนของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการทดลอง จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อการปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบต่อการปัจจัยร่วม (Interaction) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการปัจจัยร่วมนั้นจะทำการวิเคราะห์ที่ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองผลตอบแทนของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 95% จะสังเกตได้จากค่า P-Value จะมีค่าน้อยกว่า 0.05

Analysis of Variance for Range Mean (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	14.073	14.073	2.345	8.920	0.000
ประชากรรวม	1	10.890	10.890	10.890	41.410	<u>0.000</u>
ค่าพีโรโมน	1	0.010	0.010	0.010	0.040	0.847
ค่าอัตราการระเหย	1	0.123	0.123	0.123	0.470	0.502
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	1.690	1.690	1.690	6.430	<u>0.019</u>
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.360	0.360	0.360	1.370	0.254
ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	1.000	1.000	1.000	3.800	0.064
2-Way Interactions	15	7.925	7.925	0.528	2.010	0.067
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมน	1	0.123	0.123	0.123	0.470	0.502
ประชากรรวม*ค่าอัตราการระเหย	1	0.160	0.160	0.160	0.610	0.444
ประชากรรวม*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.003	0.003	0.003	0.010	0.923
ประชากรรวม*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.023	0.023	0.023	0.090	0.773
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.563	0.563	0.563	2.140	0.158
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	0.810	0.810	0.810	3.080	0.093
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.063	0.063	0.063	0.240	0.631
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.563	0.563	0.563	2.140	0.158
ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.003	0.003	0.003	0.010	0.923
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.490	0.490	0.490	1.860	0.186
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.160	0.160	0.160	0.610	0.444
ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.360	0.360	0.360	1.370	0.254
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	1.823	1.823	1.823	6.930	<u>0.015</u>
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	2.723	2.723	2.723	10.350	<u>0.004</u>
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.063	0.063	0.063	0.240	0.631
3-Way Interactions	20	11.775	11.775	0.589	2.240	0.035
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	0.063	0.063	0.063	0.240	0.631
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.090	0.090	0.090	0.340	0.564
ประชากรรวม*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	1.103	1.103	1.103	4.190	0.053
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.010	0.010	0.010	0.040	0.847
ประชากรรวม*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.563	0.563	0.563	2.140	0.158
ประชากรรวม*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	1.440	1.440	1.440	5.480	<u>0.029</u>
ประชากรรวม*ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.040	0.040	0.040	0.150	0.700
ประชากรรวม*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	0.063	0.063	0.063	0.240	0.631
ประชากรรวม*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟแคต	1	1.690	1.690	1.690	6.430	<u>0.019</u>

ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.640	0.640	0.640	2.430	0.133
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.203	0.203	0.203	0.770	0.390
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.023	0.023	0.023	0.090	0.773
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.010	0.010	0.010	0.040	0.847
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	2.403	2.403	2.403	9.140	<u>0.006</u>
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.090	0.090	0.090	0.340	0.564
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.090	0.090	0.090	0.340	0.564
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.003	0.003	0.003	0.010	0.923
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	1.323	1.323	1.323	5.030	<u>0.035</u>
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.723	0.723	0.723	2.750	0.112
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	1.210	1.210	1.210	4.600	<u>0.043</u>
Residual Error	22	5.785	5.785	0.263		
Total	63	39.558				

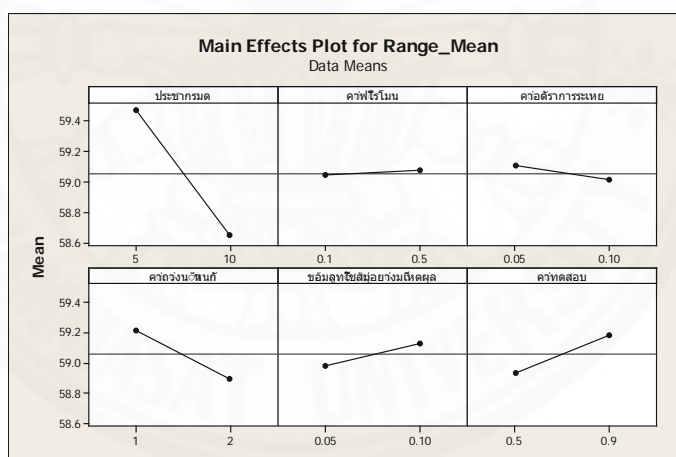


ภาพที่ 4.13 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน

จากภาพที่ 4.13 พบว่าพารามิเตอร์ประชากรมด และค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบในระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level) โดยค่าพารามิเตอร์ประชากรมด ค่าพีโรโมน ค่าอัตราการระเหย ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัทเดตเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) ซึ่งการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ในส่วนของปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมนั้น จะทำการวิเคราะห์ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลัก คือ ค่าประชากรมด และค่าถ่วงน้ำหนักนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยสังเกตได้จากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด และค่า

ถ่วงน้ำหนักนั้นมีค่าเท่ากับ 0.000 และ 0.019 ตามลำดับ ปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดต นั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าเท่ากับ 0.015 และค่า P-value ของปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดตมีค่าเท่ากับ 0.004 และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ประชากรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล, ประชากรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดต, ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนออฟเดต, ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดต และค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนออฟเดตนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าเท่ากับ 0.029 ค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมต*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดตมีค่าเท่ากับ 0.019 ค่า P-value ของปัจจัยค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนออฟเดตมีค่าเท่ากับ 0.006 ค่า P-value ของปัจจัยค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนออฟเดต มีค่าเท่ากับ 0.035 และค่า P-value ของปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนออฟเดตมีค่าเท่ากับ 0.043

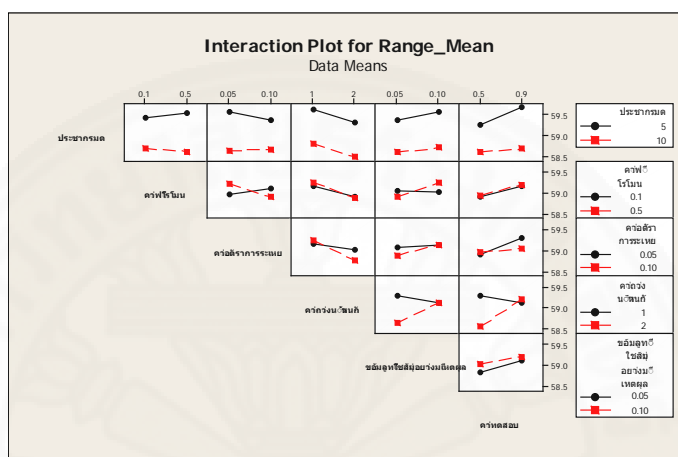
4.2.2.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.14 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลัก พบว่าค่าประชากรมต และค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่องานวิจัย ซึ่งค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.65 ชั่วโมง และค่าประชากรมต 5 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.47 ชั่วโมง และค่าถ่วงน้ำหนัก 1 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.22 ชั่วโมง ค่าถ่วงน้ำหนัก 2 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 58.90 ชั่วโมง โดยค่าพีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.04 ชั่วโมง ค่าพีโรโมน 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลา

เสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.07 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยพีโรโมน 0.05 จะได้ค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.10 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยพีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.01 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใส่สู่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 58.98 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใส่สู่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.13 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 58.93 ชั่วโมง ค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.18 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.15 ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการศึกษาหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 12 งาน

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมตกับพีโรโมน ถ้าค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 58.61 ชั่วโมง ที่มีค่าพีโรโมน 0.50 เมื่อค่าประชากรมตลดลงเหลือ 5 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด คือ 59.53 ชั่วโมง ถ้าค่าประชากรมต 5 และ 10 ของค่าพีโรโมน 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย คือ 59.41 ชั่วโมง และ 58.68 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมตกับอัตราการระเหย ถ้าค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 58.63 ชั่วโมง ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 เมื่อค่าอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย 58.65 ชั่วโมง โดยค่าประชากรมต 5 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 และ 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากกว่า คือ 59.56 ชั่วโมง และ 59.38 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมตกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 58.48 ชั่วโมง ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 2 เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักลดลงเหลือ 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 58.81 ชั่วโมง ถ้าค่า

ประชากรมต 5 ที่มีค่าถ่วงน้ำ 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.63 ชั่วโมง และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.31 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมตกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 58.59 ชั่วโมง ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มเป็น 58.70 ถ้าค่าประชากรมต 5 ของค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.38 ชั่วโมง และค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.56 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมตกับพีโรโมนอัปเดต ถ้าค่าประชากรมต 10 ค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.61 และถ้าค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 58.68 ชั่วโมง ซึ่งค่าประชากรมต 5 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.25 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.69 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับอัตราการระเหย ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 ของค่าอัตราการระเหย 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.91 ชั่วโมง และถ้าค่าอัตราการระเหย 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.23 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.11 ชั่วโมง ซึ่งถ้าค่าอัตราการระเหยลดเหลือ 0.05 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะลดลงเหลือ 58.98 ชั่วโมง

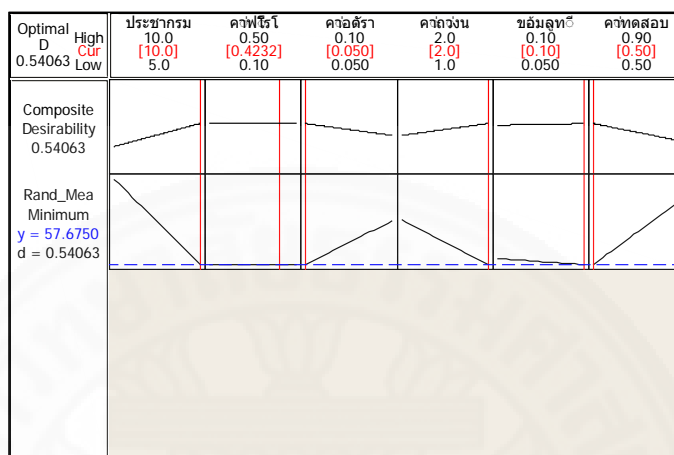
ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.86 ชั่วโมง ถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 59.26 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.18 ชั่วโมง และ 58.91 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.90 ชั่วโมง แต่ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.24 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.06 ชั่วโมง และค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.03 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับค่าพีโรโมนอัปเดต ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 และ 0.50 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 58.94 ชั่วโมง ถ้าค่าพี

58.83 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมนอ็อปเตดมีค่า 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.14 โดยค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ที่มีค่าพีโรโมนอ็อปเตด 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 59.23 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมนอ็อปเตด 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 59.04 ชั่วโมง

4.2.2.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น



ภาพที่ 4.16 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer

จากภาพที่ 4.16 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่า ค่าพารามิเตอร์ประชากรมมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 5 ถึง 10 ค่าพารามิเตอร์พีโรโมนมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.4232 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.10 ถึง 0.50 ค่าพารามิเตอร์อัตรากระเหยมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.05 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.1 ค่าพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 2 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 1 ถึง 2 ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.10 และค่าพารามิเตอร์พีโรโมนอ็อปเตดมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.50 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.50 ถึง 0.90

4.2.2.7 แบบเซ็นทรัลคอมโพสิต (Central Composite Design, CCD)

จากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ประชากรม และพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 โดยงานวิจัยนี้จะนำเอาปัจจัยหลักมาพิจารณาเท่านั้น ดังนั้นจึงพิจารณาปัจจัยประชากรม และปัจจัยถ่วงน้ำหนักที่เป็นปัจจัยหลักเท่านั้น การหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัย โดยนำค่าประชากรม และค่าถ่วงน้ำหนักมาวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง ซึ่งกำหนดให้จุดกึ่งกลางค่าประชากรมมีค่าเท่ากับ 8 และค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 1.5 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 รอบ ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5

ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

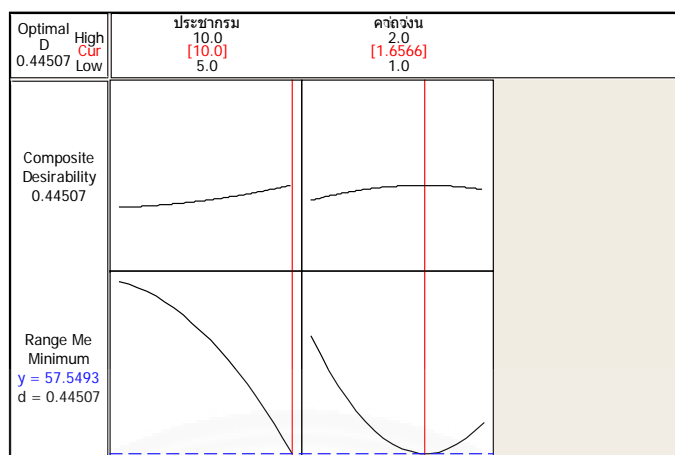
ครั้งที่	จำนวนงาน	ค่าพารามิเตอร์					
		ประชากรมด	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัปเดต
1	12	5	0.42	0.05	1	0.10	0.50
2		5	0.42	0.05	1.50	0.10	0.50
3		5	0.42	0.05	2	0.10	0.50
4		8	0.42	0.05	1	0.10	0.50
5		8	0.42	0.05	1.50	0.10	0.50
6		8	0.42	0.05	2	0.10	0.50
7		10	0.42	0.05	1	0.10	0.50
8		10	0.42	0.05	1.50	0.10	0.50
9		10	0.42	0.05	2	0.10	0.50

ตารางที่ 4.6

ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

การทดลอง	Range_1	Range_2	Range_3	Range_4	Range_5	Range Mean
1	56	60	60	60	60	59.20
2	62	60	58	60	56	59.20
3	58	62	58	60	58	59.20
4	60	60	59	60	60	59.80
5	60	58	58	58	58	58.40
6	57	62	56	58	56	57.80
7	58	58	58	60	57	58.20
8	58	58	56	56	58	57.20
9	58	59	60	59	56	58.40

จากตารางที่ 4.5 การออกแบบการทดลองวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองเพิ่มระดับปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อ การทดลอง โดยเพิ่มที่ระดับกึ่งกลางอีก 1 ระดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าประชากรมด 10 กับค่าถ่วงน้ำหนัก 1.5 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสั้นน้อยที่สุด และค่าประชากรมด 8 กับค่าถ่วงน้ำหนัก 1 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด ดังตารางที่ 4.6 ซึ่งสามารถวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดดังภาพที่ 4.15



ภาพที่ 4.17 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design

จากการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง สามารถหาค่าพารามิเตอร์ในการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 12 งาน ดังตารางที่ 4.7

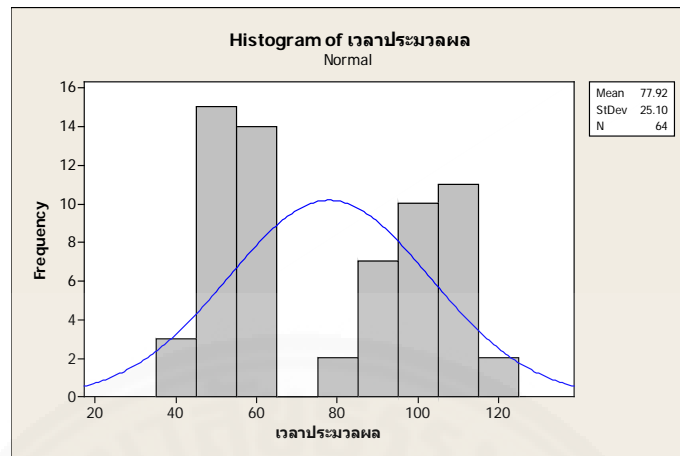
ตารางที่ 4.7

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นของงานจำนวน 12 งาน

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
ประชากร	10
ค่าพีโรโมน	0.42
ค่าอัตราการระเหย	0.05
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1.65
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	0.10
ค่าพีโรโมนอัปเดต	0.50

จากตารางที่ 4.7 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดเพื่อหาลำดับงานที่เหมาะสมที่สุดนั้น ค่าประชากร ค่าพีโมน ค่าอัตราการระเหย ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัปเดตจะใช้ค่าที่ดีที่สุดจากการออกแบบการทดลองคือ 10, 0.42, 0.05, 1.65, 0.10 และ 0.50 ตามลำดับ

4.2.2.8 เวลาที่ใช้ในการทดลองการจำนวน 12 งาน



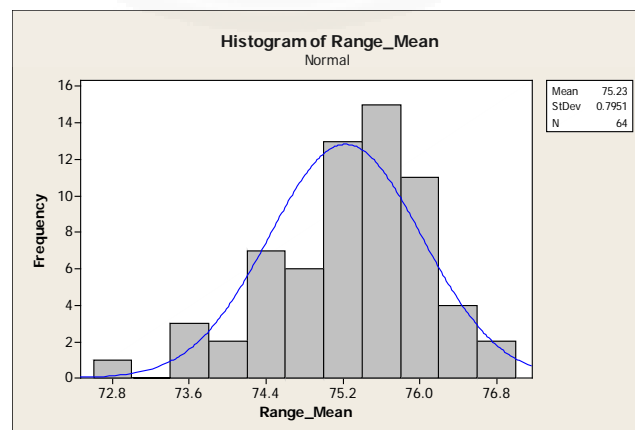
ภาพที่ 4.18 เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งาน

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลการจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งานจากการประยุกต์ใช้วิธีการอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่เร็วที่สุด คือ 21 วินาที และเวลาในการประมวลผลที่ช้าที่สุด คือ 135 วินาที ซึ่งเวลาในการประมวลผลที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 77.92 วินาที

4.2.3 ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวนงาน 16 งาน

ผลการทดลองการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยของงานจำนวน 16 งาน ตัวแปร 6 ตัว การทดลอง 64 การทดลอง การทดลองละ 5 ครั้ง มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.2.3.1 ผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน

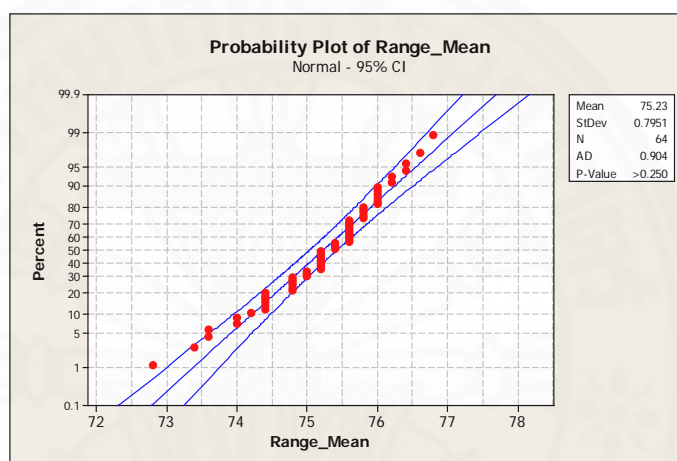


ภาพที่ 4.19 ผลการทดลองพิสัยเวลาเสร็จสิ้นของการจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 16 งาน จากผลการทดลองหาเวลาการผลิตเป็นค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการจัดลำดับการผลิตเวลาของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่น้อยที่สุด คือ 70 ชั่วโมง และค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุด คือ 78 ชั่วโมง ซึ่งสามารถหาค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นได้เท่ากับ 75.23 ชั่วโมง

4.2.3.2 การทดสอบการแจกแจงแบบปกติ

การทดสอบการแจกแจงแบบปกติจากการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น กำหนดให้ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญที่ 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลัก มีการแจกแจงของการทดลองครั้งนี้เป็นแบบปกติ



ภาพที่ 4.20 แผนภาพความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติจำนวน 16 งาน

ผลการทดลองหาความน่าจะเป็นการแจกแจงแบบปกติ พบว่าค่า P-Value ในช่อง Anderson-Darling Normality Test ของการทดลองจำนวน 16 งาน มีค่ามากกว่า 0.250 ซึ่งมีค่ามากกว่าค่าระดับนัยสำคัญที่กำหนด 95% ($\alpha = 0.05$) แสดงว่าสมมติฐานหลักมีการแจกแจงของการทดลองเป็นปกติ ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์ค่าความแปรปรวนทางเดียว (One-Way ANOVA) ต่อไปได้

4.2.3.3 การทดสอบสมมติฐาน ANOVA ของพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) กำหนดให้

H_0 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าไม่แตกต่างกัน

H_1 : ผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้น มีค่าแตกต่างกัน

การแปลผล ถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 ยอมรับสมมติฐานหลัก

ถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก

One-way ANOVA: Range_1, Range_2, Range_3, Range_4, Range_5

Source	DF	SS	MS	F	P
Factor	4	9.14	2.29	0.74	0.566
Error	315	975.20	3.10		
Total	319	984.35			

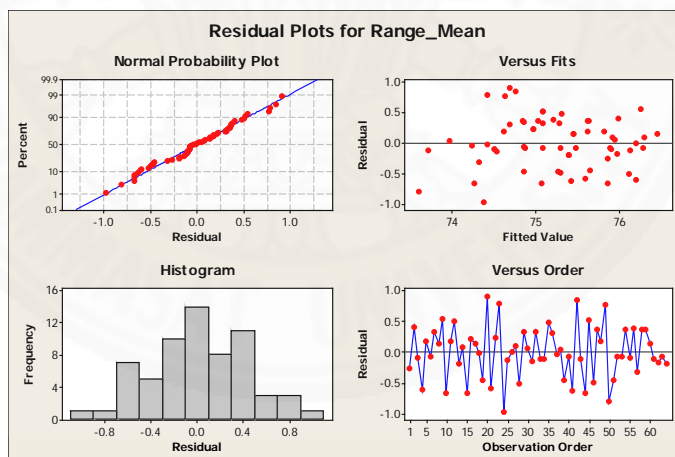
S = 1.760 R-Sq = 0.93% R-Sq(adj) = 0.00%

Individual 95% CIs For Mean Based on Pooled StDev					
Level	N	Mean	StDev		
Range_1	64	75.141	1.772	(- - - - - * - - - - -)	
Range_2	64	75.406	1.832	(- - - - - * - - - - -)	
Range_3	64	75.109	1.615	(- - - - - * - - - - -)	
Range_4	64	75.031	2.008	(- - - - - * - - - - -)	
Range_5	64	75.453	1.532	(- - - - - * - - - - -)	

74.90 75.25 75.60 75.95

Pooled StDev = 1.760

ผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) ผลจากการวิเคราะห์ค่า P-Value มีค่าเท่ากับ 0.566 ซึ่งมีความมากกว่าค่าระดับนัยสำคัญ หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสิ้นมีค่าไม่แตกต่างกัน



ภาพที่ 4.21 การทดสอบสมมติฐานค่าความเป็นปกติของส่วนตกค้างจำนวน 16 งาน

จากภาพที่ 4.21 แสดงการตรวจสอบข้อสมมติฐานทางด้านการกระจายแบบปกติของข้อมูล โดยการพล็อตค่าความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of The Residuals) จากข้อมูลมีลักษณะการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงประมาณได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการทดสอบสมมติฐานแบบกราฟแท่งของส่วนตกค้าง (Histogram of The Residuals) ซึ่งผลจากการทดสอบด้วยสายตา พบว่าลักษณะของกราฟ

ที่ปรากฏมีลักษณะเป็นรูปทรงระฆังคว่ำและกราฟที่ได้มีความสมมาตรกัน ประเมินได้ว่าค่าส่วนตกค้างมีการแจกแจงแบบปกติ ในการตรวจสอบความแปรปรวนคงที่ของข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Fitted Values) ข้อมูลมีแนวโน้มที่มีการกระจายแบบสุ่ม ไม่มีรูปแบบการกระจายที่แน่นอน แสดงว่ามีค่าความแปรปรวนค่อนข้างคงที่ และการทดสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระ (Versus the Order of the Data) จากข้อมูลการพล็อตกราฟ แสดงให้เห็นถึงข้อมูลของการเพิ่มขึ้นหรือลดลงในรอบลำดับของการเก็บข้อมูลไม่มีแนวโน้มที่ผิดปกติ ซึ่งการกระจายตัวของค่าส่วนตกค้างมีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอนแสดงให้เห็นว่าค่าส่วนตกค้างมีความเป็นอิสระต่อกัน

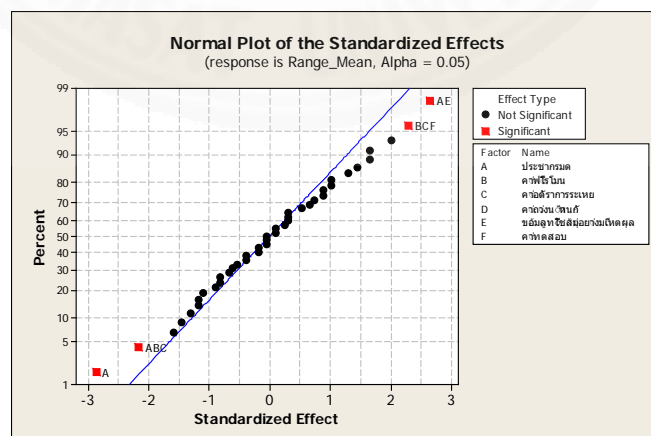
4.2.3.4 การแสดงผลกระทบต่อค่าตอบแทนของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น

การวิเคราะห์ผลกระทบต่อการทดลอง จะทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อบัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบต่อบัจจัยร่วม (Interaction) การวิเคราะห์ผลกระทบต่อบัจจัยร่วมนั้นจะทำการวิเคราะห์บัจจัย 2-Way Interaction และบัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งจากผลการทดลองผลตอบของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ 95% จะสังเกตได้จากค่า P-Value จะมีค่าน้อยกว่า 0.05

Analysis of Variance for Range Mean (coded units)

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Main Effects	6	6.119	6.119	1.020	2.050	0.102
ประชากรมด	1	4.101	4.101	4.101	8.230	<u>0.009</u>
ค่าพีโรโมน	1	0.181	0.181	0.181	0.360	0.553
ค่าอัตราการระเหย	1	1.381	1.381	1.381	2.770	0.110
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.076	0.076	0.076	0.150	0.701
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.051	0.051	0.051	0.100	0.753
ค่าพีโรโมนออฟเดด	1	0.331	0.331	0.331	0.660	0.424
2-Way Interactions	15	12.144	12.144	0.810	1.620	0.147
ประชากรมด*ค่าพีโรโมน	1	2.031	2.031	2.031	4.070	0.056
ประชากรมด*ค่าอัตราการระเหย	1	0.051	0.051	0.051	0.100	0.753
ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	1.381	1.381	1.381	2.770	0.110
ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	3.516	3.516	3.516	7.050	<u>0.014</u>
ประชากรมด*ค่าพีโรโมนออฟเดด	1	0.856	0.856	0.856	1.720	0.204
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	0.526	0.526	0.526	1.050	0.316
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.001	0.001	0.001	0.000	0.972
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.006	0.006	0.006	0.010	0.916
ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนออฟเดด	1	0.031	0.031	0.031	0.060	0.807
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	1.051	1.051	1.051	2.110	0.161
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.681	0.681	0.681	1.370	0.255
ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนออฟเดด	1	0.226	0.226	0.226	0.450	0.508
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.601	0.601	0.601	1.210	0.284

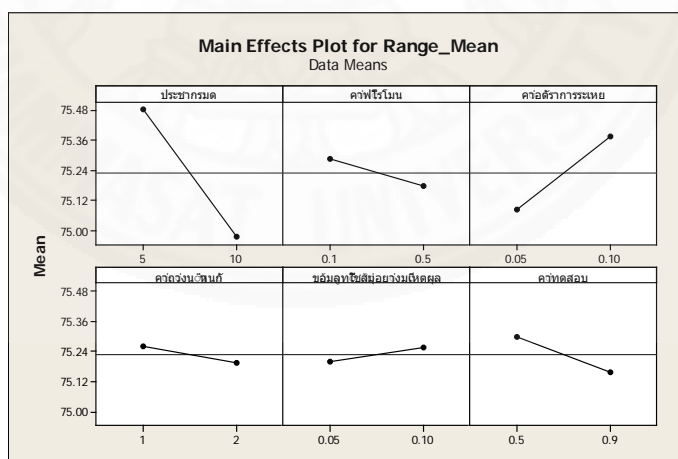
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	1.051	1.051	1.051	2.110	0.161
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.141	0.141	0.141	0.280	0.601
3-Way Interactions	20	10.603	10.603	0.530	1.060	0.442
ประชากรมด*ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย	1	2.326	2.326	2.326	4.670	<u>0.042</u>
ประชากรมด*ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.526	0.526	0.526	1.050	0.316
ประชากรมด*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.276	0.276	0.276	0.550	0.465
ประชากรมด*ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.051	0.051	0.051	0.100	0.753
ประชากรมด*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.226	0.226	0.226	0.450	0.508
ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.001	0.001	0.001	0.000	0.972
ประชากรมด*ค่าพีโรโมน*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.856	0.856	0.856	1.720	0.204
ประชากรมด*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.391	0.391	0.391	0.780	0.386
ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.001	0.001	0.001	0.000	0.972
ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.391	0.391	0.391	0.780	0.386
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก	1	0.331	0.331	0.331	0.660	0.424
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.391	0.391	0.391	0.780	0.386
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.681	0.681	0.681	1.370	0.255
ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	2.641	2.641	2.641	5.300	<u>0.031</u>
ค่าพีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.016	0.016	0.016	0.030	0.861
ค่าพีโรโมน*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.006	0.006	0.006	0.010	0.916
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	1	0.016	0.016	0.016	0.030	0.861
ค่าอัตราการระเหย*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.141	0.141	0.141	0.280	0.601
ค่าอัตราการระเหย*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	1.266	1.266	1.266	2.540	0.125
ค่าถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าพีโรโมนอัทเดต	1	0.076	0.076	0.076	0.150	0.701
Residual Error	22	10.964	10.964	0.498		
Total	63	39.829				



ภาพที่ 4.22 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัยของพิสัยเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน

จากภาพที่ 4.22 พบว่าพารามิเตอร์ประชากรมตเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบในระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level) โดยค่าพารามิเตอร์ประชากรมต ค่าพีโรโมน ค่าอัตราการระเหย ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัปเดตเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมกัน (Interaction) ซึ่งการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบได้ทำการวิเคราะห์ผลกระทบต่อค่าผลตอบส่วนของปัจจัยหลัก (Main Effect) และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วม (Interaction) ในส่วนของปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมนั้น จะทำการวิเคราะห์ปัจจัย 2-Way Interaction และปัจจัย 3-Way Interaction เท่านั้น ซึ่งแสดงให้เห็นว่าปัจจัยหลัก คือ ค่าประชากรมตนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัยที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ โดยสังเกตได้จากค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมตนั้นมีค่าเท่ากับ 0.009 ปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction คือ ประชากรมต*ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมต*ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าเท่ากับ 0.014 และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ค่าประชากรมต*ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย และค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัปเดตนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมต*ค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับ 0.042 และค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัปเดตนั้นมีผลกระทบกับผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-value ของปัจจัยค่าพีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าพีโรโมนอัปเดตมีค่าเท่ากับ 0.031

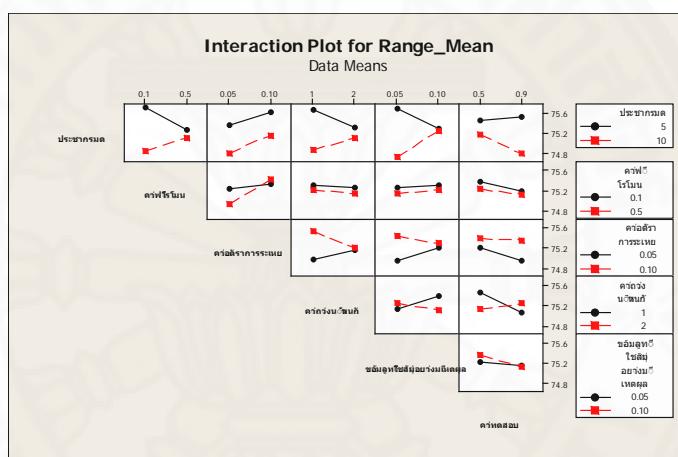
4.2.3.5 การวิเคราะห์ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่เกิดขึ้น



ภาพที่ 4.23 ปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน

การวิเคราะห์อิทธิพลของปัจจัยหลัก พบว่าค่าประชากรมตเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่องานวิจัย ซึ่งค่าประชากรมต 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 74.98 ชั่วโมง และค่าประชากรมต 5 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 75.48

ชั่วโมง โดยค่าพีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.28 ชั่วโมง ค่าพีโรโมน 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.16 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยพีโรโมน 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.08 ชั่วโมง ค่าอัตราการระเหยพีโรโมน 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.36 ชั่วโมง ค่าถ่วงน้ำหนัก 1 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.26 ชั่วโมง ค่าถ่วงน้ำหนัก 2 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.19 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.20 ชั่วโมง ค่าข้อมูลที่ใช้สู่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.26 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 จะสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.30 ชั่วโมง ค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.17 ชั่วโมง



ภาพที่ 4.24 ปัจจัยร่วมที่มีผลกระทบต่อการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 16 งาน

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับพีโรโมน ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 74.85 ชั่วโมง ที่มีค่าพีโรโมน 0.10 เมื่อค่าประชากรมดลดลงเหลือ 5 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะมีค่ามากที่สุด คือ 75.71 ชั่วโมง ค่าประชากรมด 5 และ 10 ของค่าพีโรโมน 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย คือ 75.25 ชั่วโมง และ 75.10 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรมดกับอัตราการระเหย ถ้าค่าประชากรมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 74.80 ชั่วโมง ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 เมื่อค่าอัตราการระเหยเพิ่มขึ้นเป็น 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 75.15 ชั่วโมง โดยค่าประชากรมด 5 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.05 และ 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากกว่า คือ 75.36 ชั่วโมง และ 75.60 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรหมดกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าประชากรหมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 74.86 ชั่วโมง ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 เมื่อค่าถ่วงน้ำหนักเพิ่มขึ้นเป็น 2 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 75.09 ชั่วโมง ถ้าค่าประชากรหมด 5 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 75.66 ชั่วโมง และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะได้ 75.30 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรหมดกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าประชากรหมด 10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด คือ 74.71 ชั่วโมง ที่มีค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มเป็น 75.24 ถ้าค่าประชากรหมด 5 ของค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยสูงที่สุด 75.69 ชั่วโมง และค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.28 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างประชากรหมดกับค่าพีโรโมนอัปเดต ถ้าค่าประชากรหมด 10 ค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 74.79 และถ้าค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 75.16 ชั่วโมง ซึ่งค่าประชากรหมด 5 ที่มีค่าพีโรโมนอัปเดต 0.50 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.44 ชั่วโมง และค่าพีโรโมนอัปเดต 0.90 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.53 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับอัตราการระเหย ถ้าค่าพีโรโมน 0.50 ของค่าอัตราการระเหย 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 74.94 ชั่วโมง และค่าอัตราการระเหย 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 75.41 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ที่มีค่าอัตราการระเหย 0.10 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.34 ชั่วโมง ซึ่งถ้าค่าอัตราการระเหยลดเหลือ 0.05 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะลดลงเหลือ 75.23 ชั่วโมง

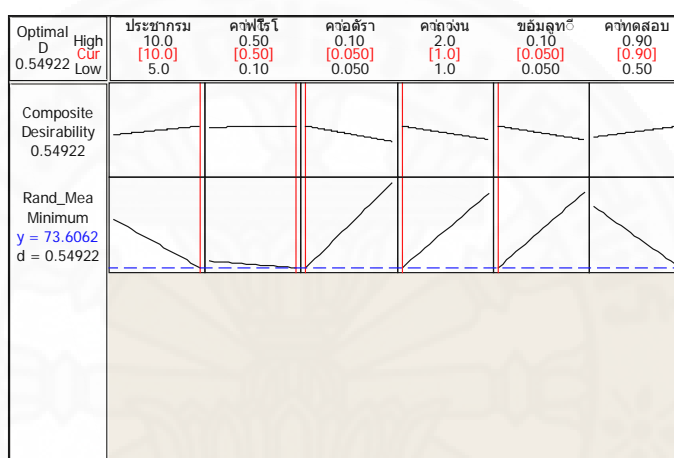
ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับถ่วงน้ำหนัก ถ้าค่าพีโรโมน 0.05 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 75.14 ชั่วโมง ถ้าค่าถ่วงน้ำหนัก 1 ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยจะเพิ่มขึ้นเป็น 75.21 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมน 0.10 ที่มีค่าถ่วงน้ำหนัก 1 และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.31 ชั่วโมง และ 75.25 ชั่วโมง ตามลำดับ

ปัจจัยร่วมระหว่างพีโรโมนกับข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล ถ้าค่าพีโรโมน 0.5 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 75.14 ชั่วโมง แต่ถ้าค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.21 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.26 ชั่วโมง และค่าพีโรโมน 0.10 กับค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.30 ชั่วโมง

ค่าพีโรโมนออฟเดด 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.14 ชั่วโมง และค่าถ่วงน้ำหนัก 2 ที่มีค่าพีโรโมนออฟเดด 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.25 ชั่วโมง

ปัจจัยร่วมระหว่างข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลกับค่าพีโรโมนออฟเดด ค่าใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 ที่มีค่าพีโรโมนออฟเดด 0.90 มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยน้อยที่สุด 75.14 ชั่วโมง ถ้าค่าพีโรโมนออฟเดดมีค่า 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยมากที่สุด 75.38 โดยค่าใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.05 ที่มีค่าพีโรโมนออฟเดด 0.50 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.23 ชั่วโมง และถ้าค่าพีโรโมนออฟเดด 0.90 จะมีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 75.18 ชั่วโมง

4.2.3.6 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลองของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น



ภาพที่ 4.25 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Response Optimizer

จากภาพที่ 4.25 กราฟแสดงการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ซึ่งพบว่า ค่าพารามิเตอร์ประชากรมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 10 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 5 ถึง 10 ค่าพารามิเตอร์พีโรโมนมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.50 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.10 ถึง 0.50 ค่าพารามิเตอร์อัตรากระเหยมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.05 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.10 ค่าพารามิเตอร์การถ่วงน้ำหนักมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 1 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 1 ถึง 2 ค่าพารามิเตอร์ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผลมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.05 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.05 ถึง 0.10 และค่าพารามิเตอร์ค่าพีโรโมนออฟเดดมีค่าที่เหมาะสมที่สุดเท่ากับ 0.90 จากช่วงระดับที่วิเคราะห์ คือ 0.50 ถึง 0.90

4.2.3.7 แบบ เซ็นทรัลคอมโพสิต (Central composite design, CCD)

จากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ประชากร และพารามิเตอร์ถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อค่าผลตอบของงานวิจัย ซึ่งค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 โดยงานวิจัยนี้จะนำเอาปัจจัยหลักมาพิจารณาเท่านั้น ดังนั้นจึงพิจารณาปัจจัยประชากรที่เป็นปัจจัย

หลักเท่านั้น การหาค่าที่ดีที่สุดของพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบของงานวิจัย โดยนำค่าประชากรมาวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองซ้ำที่ จุดกึ่งกลาง ซึ่งกำหนดให้จุดกึ่งกลางค่าประชากรมีค่าเท่ากับ 8 โดยทำการทดลองซ้ำ 5 รอบ ดัง ตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8

ปัจจัยของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

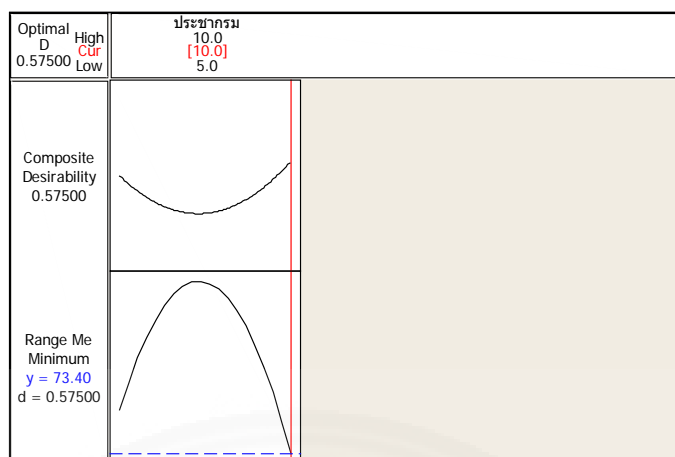
ครั้งที่	จำนวนงาน	ค่าพารามิเตอร์					
		ประชากร	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัปเดต
1	16	5	0.50	0.10	1	0.10	0.90
2		8	0.50	0.10	1	0.10	0.90
3		10	0.50	0.10	1	0.10	0.90

ตารางที่ 4.9

ผลการทดลองการวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD)

การทดลอง	Range_1	Range_2	Range_3	Range_4	Range_5	Range Mean
1	74	76	74	74	72	74.00
2	76	76	76	76	74	75.60
3	70	74	74	75	74	73.40

จากตารางที่ 4.8 การออกแบบการทดลองวิเคราะห์ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองเพิ่มระดับปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบ โดยเพิ่มที่ระดับ กึ่งกลางอีก 1 ระดับ ซึ่งผลการทดลองพบว่าค่าประชากร 10 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยของเวลาเสร็จสั้น น้อยที่สุด และค่าประชากร 8 มีค่าเฉลี่ยของพิสัยเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด ดังตารางที่ 4.9 ซึ่งสามารถ วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ดังภาพที่ 4.23



ภาพที่ 4.26 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดจากการวิเคราะห์ Central Composite Design

จากการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการทดลอง สามารถหาค่าพารามิเตอร์ในการทดลองจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัยจำนวน 16 งานดังตารางที่ 4.10

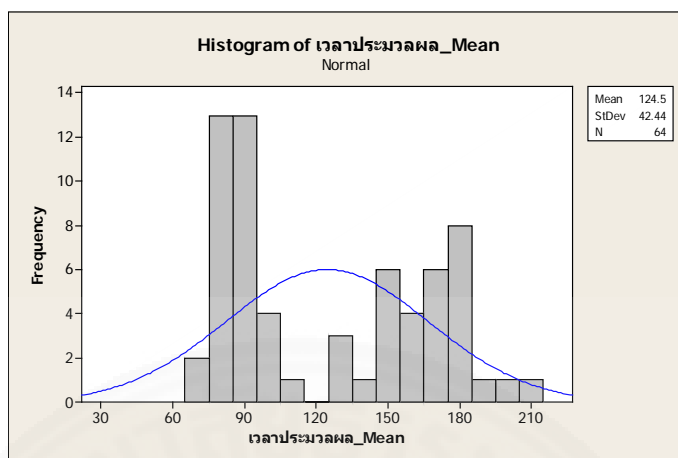
ตารางที่ 4.10

พารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นของงานจำนวน 16 งาน

พารามิเตอร์	ค่าที่เหมาะสม
ประชากรมด	10
ค่าพีโรโมน	0.50
ค่าอัตราการระเหย	0.05
ค่าถ่วงน้ำหนัก	1
ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	0.05
ค่าพีโรโมนอัปเดต	0.90

จากตารางที่ 4.12 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการวิเคราะห์การประยุกต์ใช้วิธีอณูจักษุเพื่อหาลำดับงานที่เหมาะสมที่สุดนั้น ประชากรมด ค่าพีโรโมน ค่าอัตราการระเหย ค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัปเดตจะใช้ค่าที่ดีที่สุดจากการออกแบบการทดลองคือ 10, 0.50, 0.05, 1, 0.05 และ 0.90 ตามลำดับ

4.2.3.8 เวลาที่ใช้ในการทดลองการจำนวน 16 งาน



ภาพที่ 4.27 เวลาการทดลองการจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งาน

เวลาที่ใช้ในการประมวลผลการจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งานจากการประยุกต์ใช้วิธีการอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น เวลาที่ใช้ในการประมวลผลที่เร็วที่สุด คือ 33 วินาที และเวลาในการประมวลผลที่ช้าที่สุด คือ 237 วินาที ซึ่งเวลาในการประมวลผลที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ยเท่ากับ 124.47 วินาที

4.2.4 การทดลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

จากการทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของงานจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จึงทำการทดสอบค่าพารามิเตอร์จำนวน 10 การทดลองต่อชุด ซึ่งผลการทดลองดังตารางที่ 4.11

ตารางที่ 4.11

การทดลองหาค่าพิสัยเวลาเสร็จสั้นจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

งาน	Range_1	Range_2	Range_3	Range_4	Range_5	Range_6	Range_7	Range_8	Range_9	Range_10	ค่าเฉลี่ย
8	41	40	40	42	42	40	40	40	42	42	40.90
12	56	58	59	58	58	60	60	58	58	58	58.30
16	76	74	76	72	76	76	76	74	74	78	75.20

ตารางที่ 4.12

เวลาประมวลผลการทดลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

งาน	Time_1	Time_2	Time_3	Time_4	Time_5	Time_6	Time_7	Time_8	Time_9	Time_10	ค่าเฉลี่ย
8	101	107	115	114	100	129	87	84	122	81	104.00
12	220	137	160	128	163	160	191	176	128	213	167.60
16	281	291	281	269	277	308	243	110	201	228	248.90

จากการทดสอบประสิทธิภาพค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด พบว่าจำนวนงาน 8 งาน สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 40.90 ชั่วโมง โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด คือ 40 ชั่วโมง และสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด คือ 42 ชั่วโมง มีเวลาประมวลผลเฉลี่ย 104.00 วินาที โดยจำนวนงาน 12 งาน สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 167.60 ชั่วโมง โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด คือ 56 ชั่วโมง และสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด คือ 60 ชั่วโมง มีเวลาประมวลผลเฉลี่ย 167.60 วินาที และจำนวนงาน 16 งาน สามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ย 248.90 ชั่วโมง โดยสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุด คือ 72 ชั่วโมง และสามารถหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุด คือ 78 ชั่วโมง มีเวลาประมวลผลเฉลี่ย 248.90 วินาที

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

สรุปผลการวิจัยแบ่งตามขั้นตอนงานวิจัยออกเป็น 3 ส่วน ได้แก่ การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นโดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมต ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อ การทดลอง และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

5.1.1 การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นโดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมต

การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นโดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมต เริ่มจากการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยวิธีเมตาฮีริสติก โดยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตมาแก้ปัญหาในการทดลองและพัฒนาโปรแกรม Microsoft Visual Studio มาช่วยแก้ไขปัญหาในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย เพื่อวิเคราะห์หาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นในการจัดลำดับการผลิตที่น้อยที่สุดระหว่างเวลาเสร็จสิ้นมากที่สุดกับเวลาเสร็จสิ้นน้อยที่สุดที่มีจำนวนงาน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน จากการออกแบบการทดลองทั้งสิ้น 3 ชุด การทดลองชุดละ 64 การทดลองและทำการทดลองซ้ำ 5 ครั้ง ซึ่งผลการทดลองแสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1

ผลการทดลองจัดลำดับการผลิต

งาน	ผลการทดลอง			
	ค่าพิสัยน้อยที่สุด	ค่าพิสัยมากที่สุด	ค่าพิสัยเฉลี่ย	เวลาประมวลผลเฉลี่ย
	(ชม.)	(ชม.)	(ชม.)	(วินาที)
8	40	44	41.54	30.97
12	54	62	59.06	77.92
16	70	78	75.23	124.46

1. การจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด พบว่าการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด คือ 40 ชั่วโมง และการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด คือ 44 ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นเท่ากับ 41.54 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ย 30.97 วินาที

2. การจัดลำดับการผลิตจำนวน 12 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด พบว่าการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด คือ 54 ชั่วโมง และการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด คือ 62 ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นเท่ากับ 59.06 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ย 77.92 วินาที

3. การจัดลำดับการผลิตจำนวน 16 งาน

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อน เพื่อหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด พบว่าการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นที่น้อยที่สุด คือ 70 ชั่วโมง และการจัดลำดับการผลิตที่มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นมากที่สุด คือ 78 ชั่วโมง ซึ่งค่าเฉลี่ยค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นเท่ากับ 75.23 ชั่วโมง เวลาที่ใช้ในการทดลองเฉลี่ย 124.46 วินาที

5.1.1.1 การทดสอบสมมติฐาน

การทดสอบสมมติฐานค่าสัมประสิทธิ์สมการถดถอย (Regression Coefficients) ที่ค่าระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) ถ้าสมมติฐานหลักเป็นจริงผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นจะมีค่าไม่แตกต่างกัน แต่ถ้าสมมติฐานหลักไม่เป็นจริงผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสั้นจะมีค่าแตกต่างกัน ซึ่งถ้าค่า P-Value มีค่ามากกว่า 0.05 หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก และถ้าค่า P-Value มีค่าน้อยกว่า 0.05 หมายความว่าไม่ยอมรับสมมติฐานหลัก

ตารางที่ 5.2

วิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว

ระดับนัยสำคัญ	จำนวนงาน		
	8	12	16
P-Value	0.817	0.933	0.566

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนทางเดียว (One-way ANOVA) ที่ระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) พบว่าจากการทดลองจัดลำดับการผลิตจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน มีค่า P-Value เท่ากับ 0.817, 0.933 และ 0.566 ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากกว่าระดับนัยสำคัญ 95% ($\alpha = 0.05$) ทั้งหมด หมายความว่ายอมรับสมมติฐานหลัก แสดงให้เห็นว่าผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นทั้งหมดมีค่าไม่แตกต่างกัน

5.1.2 ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง

การออกแบบการทดลองจะทำการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ระดับ คือ ระดับสูง และระดับต่ำ มีตัวแปร 6 ตัวในการทดลอง คือ ค่าประชากรมด ค่าฟีโรโมน ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าฟีโรโมนอัปเดต เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง ดังตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3

ปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทดลอง

งาน	ผลการทดลอง		
	ปัจจัยหลัก	2-Way Interaction	3-Way Interaction
8	ประชากรมด	-	ประชากรมด*ฟีโรโมน*ถ่วงน้ำหนัก
12	ประชากรมด	ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	ประชากรมด*ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล
	ถ่วงน้ำหนัก	ถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัปเดต	ประชากรมด*ถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัปเดต
			ฟีโรโมน*อัตราการระเหย*ค่าฟีโรโมนอัปเดต
16	ประชากรมด	ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	อัตราการระเหย*ถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัปเดต
			ถ่วงน้ำหนัก*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล*ค่าฟีโรโมนอัปเดต
			อัปเดต
16	ประชากรมด	ประชากรมด*ข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล	ประชากรมด*ฟีโรโมน*อัตราการระเหย
			ฟีโรโมน*อัตราการระเหย*ค่าฟีโรโมนอัปเดต

1. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวนงาน 8 งาน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการเชิงเส้น (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction ที่มีผลกระทบต่อผลตอบ พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ คือ ประชากรมด โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมดมีค่าเท่ากับ 0.002 และปัจจัยที่มี

ผลกระทบร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ค่าประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนัก โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.034 และปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมแบบ 2-Way Interaction นั้นไม่มีผลกระทบต่อค่าผลตอบใดๆ ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level)

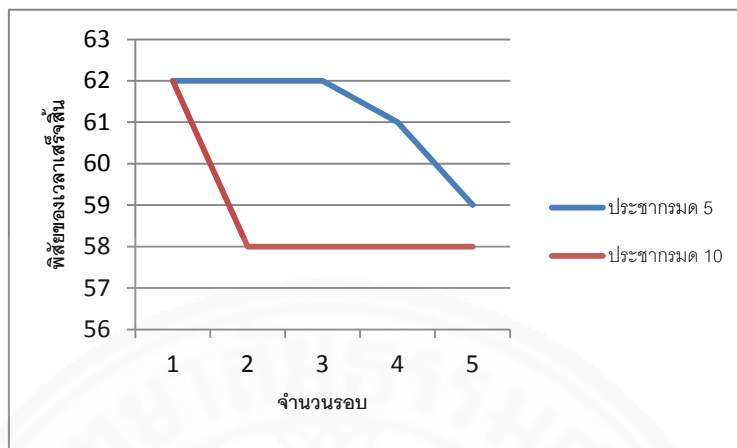
2. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวนงาน 12 งาน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการเชิงเส้น (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction ที่มีผลกระทบต่อผลตอบ พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ คือ ประชากรมด และถ่วงน้ำหนัก โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด และค่าถ่วงน้ำหนักมีค่าเท่ากับ 0.000 และ 0.019 ตามลำดับ ปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมแบบ 2-Way Interaction คือ ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล และค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัพเดท โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล และค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัพเดท มีค่าเท่ากับ 0.015 และ 0.004 ตามลำดับ และปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ค่าประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัพเดท ค่าฟีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าฟีโรโมนอัพเดท และค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล*ค่าฟีโรโมนอัพเดท โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล ประชากรมด*ค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าฟีโรโมนอัพเดท ค่าฟีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย*ค่าฟีโรโมนอัพเดท และค่าถ่วงน้ำหนัก*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล*ค่าฟีโรโมนอัพเดทมีค่าเท่ากับ 0.029, 0.019, 0.006, 0.035 และ 0.043 ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level)

3. ปัจจัยที่มีผลต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวนงาน 16 งาน

จากการวิเคราะห์ความแปรปรวนของสมการเชิงเส้น (ANOVA) เพื่อหาปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 2-Way Interaction และปัจจัยที่มีอิทธิพลร่วมแบบ 3-Way Interaction ที่มีผลกระทบต่อผลตอบ พบว่าปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ คือ ประชากรมด โดยค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมดมีค่าเท่ากับ 0.009 และปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมแบบ 2-Way Interaction คือ ค่าประชากรมด*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผล โดยมีค่า P-value ของปัจจัยค่าประชากรมด*ค่าข้อมูลที่ใช้สุมอย่างมีเหตุผลมีค่าเท่ากับ 0.014 และปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมแบบ 3-Way Interaction คือ ค่าประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าอัตราการระเหย โดยค่า

P-Value ของปัจจัยค่าประชากรมด*ค่าฟีโรโมน*ค่าอัตราการระเหยมีค่าเท่ากับ 0.042 ที่ระดับนัยสำคัญ $\alpha = 0.05$ (95% Confident Level)



ภาพที่ 5.1 ปัจจัยประชากรมดที่มีผลต่อผลตอบ

จากตารางที่ 5.3 พบว่าค่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ ซึ่งมีค่า P-Value น้อยกว่า 0.05 จึงทำให้สามารถสรุปได้ว่าค่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และพบว่าค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อผลตอบ ร่วมกับค่าประชากรมดของงานจำนวน 12 งานที่ทำให้มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเช่นกัน โดยปัจจัย 2-Way Interaction ค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อค่าข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าฟีโรโมนอัปเดตของงานจำนวน 12 งาน ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของปัจจัย 2-Way Interaction รวมไปถึงปัจจัย 3-Way Interaction ของงานจำนวน 12 งานด้วย ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก ค่าอัตราการระเหย และค่าฟีโรโมนอัปเดตเป็นปัจจัยร่วมที่ทำให้มีผลกระทบต่อพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นของทุกจำนวนงานอย่างมีนัยสำคัญที่ระดับ 0.05 และภาพที่ 5.1 แสดงให้เห็นว่าประชากรมดเป็นปัจจัยที่มีผลต่อผลตอบของค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น เมื่อจำนวนประชากรมดและจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้น มีผลทำให้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นวิ่งเข้าหาค่าตอบที่เหมาะสมเร็วมากขึ้น เนื่องจากจำนวนประชากรมดและจำนวนรอบเพิ่มมากขึ้น ทำให้ประชามดมีโอกาเลือกเส้นทางและเพิ่มปริมาณสารฟีโรโมนในแต่ละเส้นทางเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย

5.1.3 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

การทดลองหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด จากการทดลองพบว่าพารามิเตอร์ประชากรเป็นค่าพารามิเตอร์ที่เป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อค่าตอบทั้งหมด ส่วนพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ มีผลกระทบต่อปัจจัย 2-Way Interaction และ 3-Way Interaction การหาค่าพารามิเตอร์ที่

เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้ได้นำปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อการทดลองมาวิเคราะห์แบบ Central Composite Design (CCD) โดยทำการทดลองซ้ำที่จุดกึ่งกลาง จากการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการทดลอง สามารถสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตเป็นพิสัย ดังตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4

ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

งาน	ผลการทดลอง					
	ประชากรมด	พีโรโมน	อัตรา การระเหย	ถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	พีโรโมน อัปเดต
8	10	0.50	0.10	1	0.10	0.90
12	10	0.42	0.05	1.65	0.10	0.50
16	10	0.50	0.05	1	0.05	0.90

จากตารางที่ 5.4 พบว่าประชากรมดเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคำตอบทั้งหมด ซึ่งพบว่าค่าประชากรมด 10 เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาคำตอบของทุกๆ งาน ซึ่งมีค่าถ่วงน้ำหนักของงานจำนวน 12 งานเป็นปัจจัยหลักที่มีผลกระทบต่อคำตอบร่วมกับค่าประชากรมด ซึ่งค่าถ่วงน้ำหนัก 1.65 เป็นพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการค้นหาคำตอบของงานจำนวน 12 งาน โดยค่าถ่วงน้ำหนักของงานจำนวน 8 งาน และ 16 งานนั้นไม่มีผลกระทบใดๆ ต่อการค้นหาคำตอบเช่นเดียวกับปัจจัยหลักของค่าพารามิเตอร์อื่นๆ นั้นไม่มีผลกระทบต่อคำตอบสามารถเลือกใช้ค่าใดก็ได้ ซึ่งในการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ นั้น ปัจจัย 2-Way Interaction และ ปัจจัย 3-Way Interaction ปัจจัยต่างๆ เป็นปัจจัยที่มีผลกระทบร่วมกันในการหาพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น ดังนั้นจึงกำหนดให้ค่าพีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารพีโรโมน ค่าถ่วงน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล และค่าพีโรโมนอัปเดตใช้ค่าพารามิเตอร์มากที่สุด เนื่องจากมีความน่าจะเป็นที่มดแต่ละตัวจะเดินทางไปยังโหนดถัดไปมากขึ้น และทำให้เกิดทางเลือกใหม่ๆ มากขึ้นเช่นกัน ในส่วนค่าอัตราการระเหยของพีโรโมนนั้นจะใช้ค่าพารามิเตอร์ที่น้อยที่สุด เนื่องจากการใช้ค่าอัตราการระเหยของพีโรโมนค่ามาก จะทำให้ปริมาณของสารพีโรโมนระเหยเร็วและระเหยหมดไปในที่สุด

5.1.3.1 การทดลองค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

การทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด และนำไปเปรียบเทียบกับผลการทดลองหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจากค่าพารามิเตอร์ทั่วไป สามารถนำผลการทดลองมาเปรียบเทียบการทดลอง ดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5

เปรียบเทียบผลการทดลองก่อนและหลังการทดลองจากค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด

งาน	ผลการทดลอง					
	ค่าพิสัยที่น้อยที่สุด		ค่าพิสัยที่มากที่สุด		ค่าพิสัยเฉลี่ย	
	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง	ก่อน	หลัง
8	40	40	44	42	41.54	40.90
12	54	56	62	60	59.06	58.30
16	70	72	78	78	75.23	75.20

จากตารางที่ 5.5 พบว่าค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน มีค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยที่ดีขึ้น ซึ่งค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุดในการทดลองมีค่าพิสัยลดลงหรือเท่าเดิม มีเพียงค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อยเท่านั้นที่มีเวลาในการทดลองเท่าเดิมหรือมากขึ้น แสดงให้เห็นว่าการนำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดไปใช้ในการทดลองทำให้ค้นหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยเห็นได้จากค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นเฉลี่ยที่ลดลงและค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่มากที่สุดมีค่าลดลงหรือเท่าเดิมเช่นกัน

5.2 อภิปรายผล

งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการอาณานิคม (Ant Colony Optimization : ACO) มาประยุกต์ใช้ในการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้น (Flow Shop Scheduling) และหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีอาณานิคม เพื่อให้ได้ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น (Makespan Range) มีค่าน้อยที่สุด กล่าวคือ การจัดลำดับงานในกระบวนการผลิตที่มีหลายกระบวนการจะมีความซับซ้อนและมีเงื่อนไขต่างๆ ในการผลิต หากใช้วิธีการจัดลำดับการผลิตโดยใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการแก้ไขปัญหาหรือการค้นหาคำตอบนั้น จะได้ผลตอบที่มีค่าที่ดีที่สุด

(Global Solution) แต่ต้องใช้เวลาในการค้นหาคำตอบหรือคำนวณค่อนข้างนาน เนื่องจากต้องนำทุกคำตอบที่เป็นไปได้นำมาคำนวณทั้งหมด ซึ่งหากทำการจัดลำดับการผลิตด้วยกระบวนการวิธีเมตาฮิวริสติก เช่น วิธีการปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligent) นั้นจะทำให้ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบหรือเวลาในการคำนวณนั้นลดลง จะส่งผลให้สามารถวางแผนการผลิตได้เร็วขึ้น อาจจะไม่ใช่วิธีการที่ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ได้นั้นสามารถยอมรับได้ ซึ่งการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมตเป็นกระบวนการค้นหาคำตอบจากการประมาณค่า มีข้อจำกัดในการวิเคราะห์ปัญหา คือ เป็นการคำนวณโดยใช้การประมาณค่าหรือวิธีการสุ่มหาคำตอบ ดังนั้นผลลัพธ์ที่ได้ อาจจะไม่มีความผิดพลาดและไม่ใช่ว่าคำตอบที่ดีที่สุด แต่คำตอบที่ได้นั้นสามารถยอมรับได้ นอกจากนี้ค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณของวิธีอาณาจักรมตก็มีความสำคัญอย่างยิ่งในการคำนวณหาคำตอบที่ต้องการ จึงเป็นเหตุให้ต้องทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีอาณาจักรมตในการจัดลำดับการผลิต โดยใช้การออกแบบการทดลองมาทำการวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด อีกทั้งในส่วนของคุณค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่ได้จากการประมวลผลของโปรแกรมจะอยู่ในรูปแบบของช่วงเวลาในการผลิต เนื่องจากการประมวลผลของโปรแกรมในแต่ละครั้งจะได้คำตอบที่ไม่เท่ากัน จึงทำการทดลองซ้ำในจำนวนรอบที่เหมาะสม เพื่อศึกษาถึงแนวโน้มความเป็นไปได้และลดค่าความคลาดเคลื่อนของคำตอบ ทั้งนี้เพื่อให้วิธีการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมตที่นำมาประยุกต์ใช้นั้นมีความเหมาะสมและสามารถนำไปใช้จริงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ในการวิเคราะห์การจัดลำดับการผลิตของกรณีศึกษาหาค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่ได้จะมีค่าที่เหมาะสมก็ต่อเมื่อค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอาณาจักรมตได้มาจากการออกแบบการทดลอง ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดลำดับการผลิตโดยใช้วิธีอาณาจักรมตในกรณีศึกษาครั้งนี้ มีดังต่อไปนี้

1. ค่าประชากรมต เป็นปัจจัยหลักมีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่ได้จากการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมตในการแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่น และค่าถ่วงน้ำหนักเป็นปัจจัยหลักร่วมที่มีผลกระทบต่อค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
2. เวลาประมวลผลที่ใช้ในการหาคำตอบของงานจำนวน 8 งาน 12 งาน และ 16 งาน ใช้เวลา 30.97 วินาที 77.92 วินาที และ 124.46 วินาที ตามลำดับ จะเห็นได้ว่าหากจำนวนงานในการผลิตเพิ่มมากขึ้น เวลาที่ใช้ในการค้นหาคำตอบจะเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย
3. ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของของการจัดลำดับการผลิตด้วยวิธีอาณาจักรมต ในการแก้ไขปัญหาการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นจากการวิเคราะห์ Response Optimizer คือ ค่าประชากรมต 10, ค่าฟีโรโมน 0.50, ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน 0.05, ค่าถ่วงน้ำหนักของปริมาณสารฟีโรโมน 1, ค่าน้ำหนักของข้อมูลที่ใช้สุ่มอย่างมีเหตุผล 0.10 และค่าฟีโรโมนอัปเดต 0.90
4. การจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมต โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด พบว่าค่าเฉลี่ยพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นและค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นค่ามากมี

ประสิทธิภาพดีขึ้น มีเพียงค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นค่าน้อยมีประสิทธิภาพลดลงหรือเท่าเดิม แต่ยังคงอยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ ซึ่งจากการทดลองพบว่าการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนด้วยวิธีอาณาจักรมดด้วยการใช้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดเวลาเสร็จสิ้นในการผลิตจะไม่ล่าช้าไปกว่าเดิม

5. ถ้าปัญหาหรือจำนวนงานมีขนาดใหญ่ขึ้นจะใช้เวลาในการประมวลผลในการทดลองมากขึ้นตามขนาดของปัญหา เนื่องในจากการออกแบบการทดลองทุกๆ ตารางงานจะสัมพันธ์กันทั้งหมด ทำให้ใช้เวลาในการค้นหาคำตอบยาวนานตามขนาดของปัญหา และประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบนั้นจะขึ้นอยู่กับการประมาณค่าหรือการสุ่มของการประมวลผล ซึ่งคำตอบที่ออกมา นั้นสามารถยอมรับได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

ผลการวิจัยการประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมดกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลเลื่อนที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน มีข้อเสนอแนะดังนี้

1. ค่าพารามิเตอร์ประชากรมดสามารถเพิ่มจำนวนประชากรมดเข้าไปในระบบได้มากขึ้น เพื่อเพิ่มทางเลือกในการสุ่มหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดได้มากขึ้น และทำให้มีโอกาสได้ผลตอบที่เหมาะสมที่สุดมากขึ้นตามไปด้วย

2. จำนวนรอบในการทดลองสามารถเพิ่มเข้าไปในระบบได้มากขึ้น เพื่อให้หมดปรับปรุงประสิทธิภาพในการสุ่มเลือกเส้นทางในการเดินทางของแต่ละรอบไปหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด และทำให้ผลตอบมีทางเลือกเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากมดแต่ละตัวมีการสุ่มเลือกการเดินทางมากขึ้น

3. สามารถนำเอาวิธีการอาณาจักรมด ไปประยุกต์ใช้กับการจัดลำดับการผลิตรูปแบบอื่นๆ ได้ตามความเหมาะสม

4. สามารถนำเอาวิธีการจัดลำดับการผลิตรูปแบบอื่นๆ มาประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาปัญหาการจัดลำดับการผลิตที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน

รายการอ้างอิง

หนังสือและบทความในหนังสือ

- ปารเมศ ชูติมา. (2551). การประยุกต์เทคนิคการจัดตารางในอุตสาหกรรม. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ปารเมศ ชูติมา. (2555). เทคนิคการจัดตารางการดำเนินงาน. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- ประสงค์ ประณีตพลกรัง. (2547). การบริหารการผลิตและการปฏิบัติการ. กรุงเทพฯ: Business World
- ประไพศรี สุทัศน์ และพงศ์ชนัน เหลืองไพบุลย์. (2551). การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์ท็อป
- พิชิต สุขเจริญพงษ์. (2533). การจัดการวิศวกรรมการผลิต. กรุงเทพฯ: บริษัท ซีเอ็ดดูเคชั่น จำกัด
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮีริสติกส์เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

บทความวารสาร

- คณศ พลอยदनัย และอนันต์ มุ่งวัฒนา. (2555). ขั้นตอนวิธีเมคสแปนตรีสำหรับการแก้ปัญหาการจัดตารางการผลิตแบบตามงาน. วิศวกรรมสาร มก. (ฉบับที่ 81 ปีที่ 25 กรกฎาคม – กันยายน 2555)
- ธีราพรรณ แซ่แห้ว นิวิธ เจริญใจ และวิชัย ฉัตรทินวัฒน์. (2553). การประยุกต์ใช้ระบบมดแบบ แม็ก-มิน ในการจัดสมดุลสายการประกอบ. Engng.J.CMU(2010) 17 (2), 48-54
- ฉันทพร นิมิตรบัญชา อนันต์ มุ่งวัฒนา และวิสุทธิ สุพิทักษ์. (2557). การจัดตารางงานสำหรับการทำงานไหลเลื่อนแบบยืดหยุ่นโดยมีเวลาดังค่าขึ้นกับลำดับงาน. Graduate Research Conference 2014
- อาริต ธรรมโน และอัจฉรา ภู่อ่าง. (2556). การจัดตารางงานการผลิตที่มีความยืดหยุ่นบนเครื่องจักรกลแบบคู่ขนานในอุตสาหกรรมการผลิต. KMITL Information Technology Journal (Jul. – Dec. 2013)

- Ali Allahverdi, Harun Aydilek, Asiye Aydilek. (2014). Single machine scheduling problem with interval processing times to minimize mean weighted completion time. *Computers & Operations Research* 51 (2014) 200–207
- Betul Yagmahan and Mehmet Mutlu Yenisey. (2010). A multi-objective ant colony system algorithm for flow shop scheduling problem. *Expert Systems with Applications* 37 (2010) 1361–1368
- B.M.T. Lin, C.Y. Lu, S.J. Shyu, C.Y. Tsai. (2008). Development of new features of ant colony optimization for flowshop scheduling. *Int. J. Production Economics* 112 (2008) 742–755
- Imran Ali Chaudhry Member, IAENG, Sultan Mahmood. (2012). No-wait Flowshop Scheduling Using Genetic Algorithm. *Proceedings of the World Congress on Engineering 2012 Vol III WCE 2012, July 4 - 6, 2012, London, U.K.*
- P. Pandian and P. Rajendran. (2010). Solving Constrained Flow-Shop Scheduling Problems with Three Machines. *Int. J. Contemp. Math. Sciences*, Vol. 5, 2010, no. 19, 921 - 929
- SurendraKumar & C.S.P.Rao. (2009). Application of ant colony, genetic algorithm and data mining-based techniques for scheduling. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 25 (2009), 901–908
- Yuri N. Sotskov, Natalja M. Matsveichuk, Andrei A. Kasiankou, Frank Werner. (2014). Time management based on two-machine flowshop scheduling with uncertain job processing time. *International Journal "Information Technologies Knowledge" Volume 8, Number 3, 2014*

วิทยานิพนธ์

- ณัฐธยาน์ โสกุล. (2555). การจัดลำดับการผลิตและการจัดตารางการผลิตแบบหลายวัตถุประสงค์สำหรับโรงงานผลิตชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยใช้กระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโล่อุปทานแบบบูรณาการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์

- พงษ์สวัสดิ์ เปรมเพชร. (2555). การจัดการรายการผลิตของโรงงานประกอบชิ้นส่วนอิเล็กทรอนิกส์โดยวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบอานานิคมมต. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
- โสภิตา ท่วมมี. (2550). การลดปริมาณของเสียในกระบวนการผลิตพลาสติกแผ่น โดยการประยุกต์ใช้การออกแบบการทดลอง กรณีศึกษา บริษัทในอุตสาหกรรมผลิตพลาสติก. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
- สวัสดิ์ ภาวราช. (2550). การจัดทำหนดการของระบบผลิตแบบโพลีวอปรณิเวลางานไม่แน่นอน. ปริญญาวิทยาศาสตรดุษฎีบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
- อนุวิทย์ สนศิริ. (2553). ส่วนผสมที่เหมาะสมของวัสดุผสมสำหรับแม่พิมพ์ขึ้นรูปด้วยความร้อนของพลาสติกแผ่น. วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

สื่ออิเล็กทรอนิกส์

<http://community.stern.nyu.edu/om/faculty/pinedo/scheduling/shakhlevich/handout08.pdf>

<http://www.chulapedia.chula.ac.th/index.php/สายการประกอบแบบขนานผลิตภัณฑ์ผสม>

<http://www.edu.tsu.ac.th/major/administration/data>

http://www.psr.u.ac.th/download/pm/PM/PERT-_CPM.doc

<https://sites.google.com/site/mystatistics01/chapter3/hypothesis-testing>

ภาคผนวก



ภาคผนวก ก

ค่าพิสัยของเวลาเสร็จสิ้นที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของงานจำนวน 5 งาน

ลำดับ	ลำดับการผลิต					พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
1	1	2	3	4	5	34
2	1	2	3	5	4	34
3	1	2	4	3	5	34
4	1	2	4	5	3	34
5	1	2	5	3	4	34
6	1	2	5	4	3	34
7	1	3	2	5	4	34
8	1	3	2	4	5	34
9	1	3	4	5	2	34
10	1	3	4	2	5	34
11	1	3	5	4	2	34
12	1	3	5	2	4	34
13	1	4	2	3	5	34
14	1	4	2	5	3	34
15	1	4	3	2	5	34
16	1	4	3	5	2	34
17	1	4	5	2	3	34
18	1	4	5	3	2	34
19	1	5	2	4	3	34
20	1	5	2	3	4	34
21	1	5	3	2	4	34
22	1	5	3	4	2	34
23	1	5	4	2	3	34
24	1	5	4	3	2	34
25	2	3	5	1	4	32

ลำดับ	ลำดับการผลิต					พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
26	2	3	5	4	1	32
27	2	3	1	5	4	33
28	2	3	1	4	5	33
29	2	3	4	1	5	33
30	2	3	4	5	1	32
31	2	4	5	3	1	31
32	2	4	5	1	3	30
33	2	4	1	5	3	32
34	2	4	1	3	5	32
35	2	4	3	1	5	33
36	2	4	3	5	1	32
37	2	5	4	3	1	31
38	2	5	4	1	3	30
39	2	5	1	4	3	30
40	2	5	1	3	4	30
41	2	5	3	1	4	31
42	2	5	3	4	1	31
43	2	1	4	3	5	34
44	2	1	4	5	3	34
45	2	1	5	3	4	34
46	2	1	5	4	3	34
47	2	1	3	5	4	34
48	2	1	3	4	5	34
49	3	4	5	1	2	34
50	3	4	5	2	1	34

ลำดับ	ลำดับการผลิต					พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
51	3	4	1	5	2	35
52	3	4	1	2	5	35
53	3	4	2	1	5	34
54	3	4	2	5	1	34
55	3	5	4	1	2	34
56	3	5	4	2	1	34
57	3	5	1	4	2	34
58	3	5	1	2	4	34
59	3	5	2	1	4	34
60	3	5	2	4	1	34
61	3	1	4	2	5	35
62	3	1	4	5	2	35
63	3	1	5	2	4	35
64	3	1	5	4	2	35
65	3	1	2	5	4	35
66	3	1	2	4	5	35
67	3	2	4	5	1	34
68	3	2	4	1	5	34
69	3	2	5	4	1	34
70	3	2	5	1	4	34
71	3	2	1	5	4	34
72	3	2	1	4	5	34
73	4	5	2	3	1	30
74	4	5	2	1	3	30
75	4	5	3	2	1	30

ลำดับ	ลำดับการผลิต					พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
76	4	5	3	1	2	31
77	4	5	1	3	2	30
78	4	5	1	2	3	30
79	4	1	2	5	3	32
80	4	1	2	3	5	32
81	4	1	3	5	2	32
82	4	1	3	2	5	32
83	4	1	5	3	2	32
84	4	1	5	2	3	32
85	4	2	1	5	3	32
86	4	2	1	3	5	32
87	4	2	3	5	1	32
88	4	2	3	1	5	32
89	4	2	5	3	1	31
90	4	2	5	1	3	30
91	4	3	1	2	5	33
92	4	3	1	5	2	33
93	4	3	2	1	5	32
94	4	3	2	5	1	32
95	4	3	5	1	2	32
96	4	3	5	2	1	32
97	5	1	2	3	4	32
98	5	1	2	4	3	32
99	5	1	3	2	4	32
100	5	1	3	4	2	32

ลำดับ	ลำดับการผลิต					พิสัยของเวลาเสร็จสิ้น
101	5	1	4	3	2	32
102	5	1	4	2	3	32
103	5	2	1	3	4	32
104	5	2	1	4	3	32
105	5	2	3	1	4	32
106	5	2	3	4	1	32
107	5	2	4	3	1	32
108	5	2	4	1	3	32
109	5	3	1	2	4	33
110	5	3	1	4	2	33
111	5	3	2	1	4	32
112	5	3	2	4	1	32
113	5	3	4	2	1	32
114	5	3	4	1	2	33
115	5	4	1	3	2	32
116	5	4	1	2	3	32
117	5	4	2	1	3	32
118	5	4	2	3	1	32
119	5	4	3	2	1	32
120	5	4	3	1	2	33

ภาคผนวก ข
โปรแกรมการจัดลำดับการผลิต

FORM_INPUT

ตารางแม่ข่ายการผลิต A B C

เวลาการผลิต

ส่วนต่อเวลาการผลิต

id	a	b	c	sumabc
1	21	27	28	76
2	12	20	23	55
3	14	25	27	66
4	12	22	22	56
5	13	28	23	64

จำนวนรอบ 5
 ระยะเวลาการผลิต 10
 พิโรโธม 0.5 (ทุก)
 อัตราการระเหยของพิโรโธม 0.05
 ส่วนที่หนักของปริมาณสารพิโรโธม 1
 ข้อมูลที่ใช้ดูขยามีเหตุผล 0.1
 พิโรโธมอีกผล 0.9

74

id	a	b	c
1	3	3	2
2	2	2	2
3	3	3	2
4	2	2	2
5	3	2	3

ค่า MIN

id	a	b	c
1	18	24	26
2	10	18	21
3	11	22	25
4	10	20	20
5	10	26	20
6	13	24	26
7	19	17	21
8	17	18	20

ค่า MAX

id	a	b	c
1	24	30	30
2	14	22	25
3	17	28	29
4	14	24	24
5	16	30	26
6	19	28	30
7	25	23	25
8	23	26	24

ค่าที่น้อยสุด

id	1	2	3
2	12	20	23
8	20	22	22
1	21	27	28
7	22	20	23

ค่าที่น้อยสุด

id	1	2	3
2	12	32	55
8	32	54	77
1	53	81	109
7	75	101	132

MAX

id	1	2	3
5	16	46	72
6	35	74	104
2	49	96	129
8	72	122	153

MIN

id	1	2	3
5	10	36	56
6	23	60	86
2	33	78	107
8	54	96	127

Ans 261 - 219 = 42

ภาคผนวก ค

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมตจำนวน 8 งาน

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมต	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน ฮัทเคด	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
1	5	0.1	0.05	1	0.05	0.5	42	23	42	15	42	18	40	27	42	20
2	5	0.1	0.05	1	0.05	0.9	42	28	40	20	42	17	42	19	42	15
3	5	0.1	0.05	1	0.1	0.5	42	28	40	28	43	25	42	30	40	23
4	5	0.1	0.05	1	0.1	0.9	42	26	42	24	42	25	40	26	40	31
5	5	0.1	0.05	2	0.05	0.5	40	25	42	25	42	28	42	24	44	21
6	5	0.1	0.05	2	0.05	0.9	40	31	42	32	42	27	42	25	40	20
7	5	0.1	0.05	2	0.1	0.5	42	20	40	28	42	26	42	23	42	16
8	5	0.1	0.05	2	0.1	0.9	42	27	40	27	42	25	40	27	42	24
9	5	0.1	0.1	1	0.05	0.5	42	16	40	23	42	26	40	28	42	26
10	5	0.1	0.1	1	0.05	0.9	42	23	42	24	40	25	40	24	42	25
11	5	0.1	0.1	1	0.1	0.5	42	28	42	24	42	25	42	21	40	24
12	5	0.1	0.1	1	0.1	0.9	42	23	43	26	41	24	42	24	40	24
13	5	0.1	0.1	2	0.05	0.5	40	24	42	23	44	24	43	23	42	23
14	5	0.1	0.1	2	0.05	0.9	42	23	43	23	44	21	42	14	42	16
15	5	0.1	0.1	2	0.1	0.5	42	15	42	18	42	22	42	20	42	17
16	5	0.1	0.1	2	0.1	0.9	43	17	42	15	40	16	44	21	40	18
17	5	0.5	0.05	1	0.05	0.5	43	15	42	15	40	15	40	16	40	17
18	5	0.5	0.05	1	0.05	0.9	42	15	40	16	42	16	42	15	43	24
19	5	0.5	0.05	1	0.1	0.5	42	23	42	18	42	23	42	25	42	19
20	5	0.5	0.05	1	0.1	0.9	42	26	42	23	43	24	42	21	42	17

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมด	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัตรา	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
21	5	0.5	0.05	2	0.05	0.5	42	15	42	22	42	22	40	16	42	20
22	5	0.5	0.05	2	0.05	0.9	42	19	42	15	42	15	42	17	42	19
23	5	0.5	0.05	2	0.1	0.5	42	15	42	14	42	23	42	15	42	17
24	5	0.5	0.05	2	0.1	0.9	42	14	42	21	42	21	44	18	42	20
25	5	0.5	0.1	1	0.05	0.5	42	14	40	15	42	16	42	15	42	18
26	5	0.5	0.1	1	0.05	0.9	42	18	40	14	42	17	42	16	42	15
27	5	0.5	0.1	1	0.1	0.5	40	15	42	15	42	18	42	23	42	22
28	5	0.5	0.1	1	0.1	0.9	42	25	42	18	40	23	42	17	42	15
29	5	0.5	0.1	2	0.05	0.5	43	16	42	17	41	21	42	18	42	19
30	5	0.5	0.1	2	0.05	0.9	42	17	42	15	41	14	41	26	42	25
31	5	0.5	0.1	2	0.1	0.5	42	22	40	19	42	24	42	23	42	15
32	5	0.5	0.1	2	0.1	0.9	42	19	44	15	42	15	42	23	42	16
33	10	0.1	0.05	1	0.05	0.5	42	28	43	45	40	45	42	26	40	42
34	10	0.1	0.05	1	0.05	0.9	40	40	42	47	40	33	42	30	40	56
35	10	0.1	0.05	1	0.1	0.5	40	40	42	27	40	22	42	31	42	32
36	10	0.1	0.05	1	0.1	0.9	42	27	42	34	42	24	42	26	40	27
37	10	0.1	0.05	2	0.05	0.5	42	38	41	47	42	36	40	57	42	43
38	10	0.1	0.05	2	0.05	0.9	42	48	42	46	40	47	40	40	42	40
39	10	0.1	0.05	2	0.1	0.5	40	46	42	46	40	45	42	46	42	48
40	10	0.1	0.05	2	0.1	0.9	40	45	40	45	40	45	40	46	42	46
41	10	0.1	0.1	1	0.05	0.5	42	42	42	34	42	30	42	38	42	35
42	10	0.1	0.1	1	0.05	0.9	42	30	42	35	40	26	42	41	40	42

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากร	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้ อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัตรา	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
43	10	0.1	0.1	1	0.1	0.5	42	28	42	42	43	41	42	26	42	29
44	10	0.1	0.1	1	0.1	0.9	42	38	42	34	40	61	42	63	40	55
45	10	0.1	0.1	2	0.05	0.5	40	35	41	35	40	28	44	35	42	42
46	10	0.1	0.1	2	0.05	0.9	42	30	42	28	42	26	42	26	41	28
47	10	0.1	0.1	2	0.1	0.5	40	47	40	45	40	41	42	38	42	46
48	10	0.1	0.1	2	0.1	0.9	40	34	40	32	42	31	42	27	42	36
49	10	0.5	0.05	1	0.05	0.5	42	33	42	26	42	28	42	29	42	33
50	10	0.5	0.05	1	0.05	0.9	41	29	40	32	42	45	40	33	42	57
51	10	0.5	0.05	1	0.1	0.5	40	53	42	31	42	53	40	53	42	40
52	10	0.5	0.05	1	0.1	0.9	40	50	42	48	42	53	41	47	42	48
53	10	0.5	0.05	2	0.05	0.5	42	52	40	47	42	45	40	45	40	46
54	10	0.5	0.05	2	0.05	0.9	42	45	42	47	40	46	42	46	42	50
55	10	0.5	0.05	2	0.1	0.5	42	50	41	34	42	39	42	39	42	22
56	10	0.5	0.05	2	0.1	0.9	40	35	42	40	42	44	42	45	42	43
57	10	0.5	0.1	1	0.05	0.5	42	46	40	44	42	51	42	47	42	45
58	10	0.5	0.1	1	0.05	0.9	42	45	40	45	40	46	42	47	42	47
59	10	0.5	0.1	1	0.1	0.5	40	48	42	45	41	45	40	45	40	47
60	10	0.5	0.1	1	0.1	0.9	42	47	40	46	40	45	40	57	40	44
61	10	0.5	0.1	2	0.05	0.5	42	47	42	43	40	45	42	47	42	45
62	10	0.5	0.1	2	0.05	0.9	42	46	42	47	40	51	42	48	42	50
63	10	0.5	0.1	2	0.1	0.5	42	48	40	48	42	43	42	47	42	59
64	10	0.5	0.1	2	0.1	0.9	42	47	42	45	40	42	42	46	42	46

ภาคผนวก ง

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลสั้นด้วยวิธีอาณาจักรมตจำนวน 12 งาน

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมต	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าถ่วงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัปเดต	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
1	5	0.1	0.05	1	0.05	0.5	60	44	60	39	60	44	58	52	62	27
2	5	0.1	0.05	1	0.05	0.9	58	48	60	48	60	36	60	47	60	54
3	5	0.1	0.05	1	0.1	0.5	54	54	56	52	62	59	60	52	62	57
4	5	0.1	0.05	1	0.1	0.9	58	57	60	56	58	24	60	21	61	57
5	5	0.1	0.05	2	0.05	0.5	58	55	58	47	58	55	58	66	62	70
6	5	0.1	0.05	2	0.05	0.9	58	61	58	63	60	64	59	59	60	63
7	5	0.1	0.05	2	0.1	0.5	60	63	62	61	62	62	57	61	58	62
8	5	0.1	0.05	2	0.1	0.9	60	44	60	56	60	48	60	46	60	52
9	5	0.1	0.1	1	0.05	0.5	60	54	60	53	58	53	60	53	58	50
10	5	0.1	0.1	1	0.05	0.9	62	50	58	51	62	52	62	52	60	54
11	5	0.1	0.1	1	0.1	0.5	58	57	61	54	60	58	59	53	60	53
12	5	0.1	0.1	1	0.1	0.9	60	60	60	58	56	54	60	57	60	62
13	5	0.1	0.1	2	0.05	0.5	60	54	57	53	56	55	58	54	60	56
14	5	0.1	0.1	2	0.05	0.9	60	52	60	52	58	53	62	53	58	66
15	5	0.1	0.1	2	0.1	0.5	59	63	58	50	60	54	58	51	62	54
16	5	0.1	0.1	2	0.1	0.9	60	51	60	53	58	65	60	49	58	48
17	5	0.5	0.05	1	0.05	0.5	58	54	60	54	60	53	60	40	58	21
18	5	0.5	0.05	1	0.05	0.9	62	51	60	49	62	53	58	55	58	59
19	5	0.5	0.05	1	0.1	0.5	60	56	60	52	60	51	58	54	57	58
20	5	0.5	0.05	1	0.1	0.9	60	55	61	57	60	57	62	50	57	46

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมด	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัตรา	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
21	5	0.5	0.05	2	0.05	0.5	60	49	56	45	58	50	60	51	58	54
22	5	0.5	0.05	2	0.05	0.9	62	53	62	53	58	54	60	54	60	54
23	5	0.5	0.05	2	0.1	0.5	60	54	60	52	62	57	60	53	60	54
24	5	0.5	0.05	2	0.1	0.9	62	64	59	59	60	68	60	53	60	54
25	5	0.5	0.1	1	0.05	0.5	60	50	62	49	58	53	62	54	60	39
26	5	0.5	0.1	1	0.05	0.9	60	55	62	53	58	54	60	61	58	70
27	5	0.5	0.1	1	0.1	0.5	61	66	60	60	58	71	62	65	56	60
28	5	0.5	0.1	1	0.1	0.9	61	66	58	51	60	65	60	63	60	56
29	5	0.5	0.1	2	0.05	0.5	58	65	56	61	58	54	60	54	58	55
30	5	0.5	0.1	2	0.05	0.9	58	54	58	56	60	56	58	55	60	58
31	5	0.5	0.1	2	0.1	0.5	60	59	58	61	61	60	58	63	60	52
32	5	0.5	0.1	2	0.1	0.9	60	69	56	66	60	60	62	53	59	60
33	10	0.1	0.05	1	0.05	0.5	62	112	60	100	60	115	58	103	60	106
34	10	0.1	0.05	1	0.05	0.9	58	103	58	106	56	107	58	103	58	98
35	10	0.1	0.05	1	0.1	0.5	60	105	58	106	60	107	58	104	60	102
36	10	0.1	0.05	1	0.1	0.9	56	115	60	100	58	105	60	67	56	103
37	10	0.1	0.05	2	0.05	0.5	56	101	60	113	58	105	56	106	60	106
38	10	0.1	0.05	2	0.05	0.9	60	103	60	105	59	105	59	102	58	105
39	10	0.1	0.05	2	0.1	0.5	56	101	58	108	56	107	58	110	58	41
40	10	0.1	0.05	2	0.1	0.9	60	110	60	109	57	107	60	108	58	109
41	10	0.1	0.1	1	0.05	0.5	59	111	60	107	58	42	58	124	60	90
42	10	0.1	0.1	1	0.05	0.9	60	121	58	106	58	110	60	105	58	121

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรต	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สุ่ม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัตรา	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
43	10	0.1	0.1	1	0.1	0.5	58	102	60	106	59	106	58	125	58	94
44	10	0.1	0.1	1	0.1	0.9	58	104	60	105	60	103	58	105	59	109
45	10	0.1	0.1	2	0.05	0.5	60	110	58	107	58	106	55	104	58	109
46	10	0.1	0.1	2	0.05	0.9	58	119	59	103	60	104	58	97	62	103
47	10	0.1	0.1	2	0.1	0.5	62	72	58	96	58	94	60	103	58	104
48	10	0.1	0.1	2	0.1	0.9	60	103	58	102	60	105	58	97	58	116
49	10	0.5	0.05	1	0.05	0.5	60	117	60	117	60	119	58	117	60	125
50	10	0.5	0.05	1	0.05	0.9	58	106	58	107	58	106	61	110	58	76
51	10	0.5	0.05	1	0.1	0.5	58	99	62	97	58	95	58	90	58	112
52	10	0.5	0.05	1	0.1	0.9	58	101	60	107	58	104	60	98	59	109
53	10	0.5	0.05	2	0.05	0.5	57	107	56	107	58	108	59	108	58	106
54	10	0.5	0.05	2	0.05	0.9	58	40	60	98	58	100	62	100	58	103
55	10	0.5	0.05	2	0.1	0.5	60	105	58	104	56	100	58	96	56	85
56	10	0.5	0.05	2	0.1	0.9	60	45	58	55	60	79	60	103	60	105
57	10	0.5	0.1	1	0.05	0.5	58	95	58	103	60	58	60	96	57	106
58	10	0.5	0.1	1	0.05	0.9	58	96	58	107	58	62	58	53	58	61
59	10	0.5	0.1	1	0.1	0.5	61	73	60	90	60	104	58	105	58	87
60	10	0.5	0.1	1	0.1	0.9	58	93	60	100	58	89	58	77	60	126
61	10	0.5	0.1	2	0.05	0.5	60	125	60	135	56	129	56	110	60	110
62	10	0.5	0.1	2	0.05	0.9	56	96	56	111	60	49	58	97	58	111
63	10	0.5	0.1	2	0.1	0.5	58	114	60	108	60	112	58	125	58	110
64	10	0.5	0.1	2	0.1	0.9	58	129	58	111	60	109	57	106	58	109

ภาคผนวก จ

ผลการทดลองการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นด้วยวิธีอาณาจักรมตจำนวน 8 งาน

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมต	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้ อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัปเดต	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
1	5	0.1	0.05	1	0.05	0.5	76	86	74	110	76	34	76	86	76	81
2	5	0.1	0.05	1	0.05	0.9	78	69	78	97	78	85	74	65	74	95
3	5	0.1	0.05	1	0.1	0.5	76	82	74	89	74	91	76	89	76	87
4	5	0.1	0.05	1	0.1	0.9	76	89	74	88	74	91	78	88	76	89
5	5	0.1	0.05	2	0.05	0.5	77	89	76	90	76	64	74	79	76	82
6	5	0.1	0.05	2	0.05	0.9	77	88	78	85	76	86	76	85	74	87
7	5	0.1	0.05	2	0.1	0.5	74	33	76	83	78	86	74	84	76	85
8	5	0.1	0.05	2	0.1	0.9	77	80	78	80	76	83	74	83	78	83
9	5	0.1	0.1	1	0.05	0.5	78	67	78	90	78	84	72	88	78	89
10	5	0.1	0.1	1	0.05	0.9	76	89	78	88	74	88	72	84	76	88
11	5	0.1	0.1	1	0.1	0.5	76	90	76	84	72	88	78	91	78	90
12	5	0.1	0.1	1	0.1	0.9	78	59	72	57	74	108	76	83	78	79
13	5	0.1	0.1	2	0.05	0.5	70	70	74	67	76	86	78	100	78	89
14	5	0.1	0.1	2	0.05	0.9	76	92	72	102	76	107	78	90	78	66
15	5	0.1	0.1	2	0.1	0.5	74	62	74	49	78	47	72	88	74	91
16	5	0.1	0.1	2	0.1	0.9	74	51	78	114	74	91	76	91	74	87
17	5	0.5	0.05	1	0.05	0.5	76	90	78	66	74	59	76	112	74	77
18	5	0.5	0.05	1	0.05	0.9	74	103	72	107	78	97	74	117	74	108
19	5	0.5	0.05	1	0.1	0.5	74	96	74	74	74	107	76	46	74	95
20	5	0.5	0.05	1	0.1	0.9	76	104	76	74	76	75	74	75	76	85

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรมด	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตราการระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สม่ออย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมนอัตราตัด	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
21	5	0.5	0.05	2	0.05	0.5	76	50	75	90	76	72	72	90	76	80
22	5	0.5	0.05	2	0.05	0.9	72	96	78	93	74	103	74	102	78	97
23	5	0.5	0.05	2	0.1	0.5	74	93	76	107	76	92	74	86	76	108
24	5	0.5	0.05	2	0.1	0.9	76	115	74	107	72	84	71	66	74	63
25	5	0.5	0.1	1	0.05	0.5	78	80	76	94	78	86	74	112	74	97
26	5	0.5	0.1	1	0.05	0.9	74	82	78	87	76	88	76	87	77	88
27	5	0.5	0.1	1	0.1	0.5	78	87	76	89	74	82	78	83	76	86
28	5	0.5	0.1	1	0.1	0.9	74	70	76	76	74	101	78	61	76	72
29	5	0.5	0.1	2	0.05	0.5	74	97	78	96	75	103	78	111	72	94
30	5	0.5	0.1	2	0.05	0.9	76	97	76	88	76	34	75	89	77	87
31	5	0.5	0.1	2	0.1	0.5	76	85	76	84	72	93	74	88	74	109
32	5	0.5	0.1	2	0.1	0.9	74	71	74	88	76	103	76	90	76	89
33	10	0.1	0.05	1	0.05	0.5	74	119	74	176	76	155	74	88	74	125
34	10	0.1	0.05	1	0.05	0.9	74	177	72	177	74	171	74	179	74	177
35	10	0.1	0.05	1	0.1	0.5	77	175	76	179	76	176	74	176	76	187
36	10	0.1	0.05	1	0.1	0.9	74	222	75	172	76	170	74	170	76	157
37	10	0.1	0.05	2	0.05	0.5	76	140	74	139	74	113	73	120	74	129
38	10	0.1	0.05	2	0.05	0.9	74	186	74	218	70	174	76	173	76	180
39	10	0.1	0.05	2	0.1	0.5	74	175	76	176	76	173	74	177	74	172
40	10	0.1	0.05	2	0.1	0.9	74	175	78	144	76	134	72	106	74	82
41	10	0.1	0.1	1	0.05	0.5	74	97	72	84	78	127	74	111	76	101
42	10	0.1	0.1	1	0.05	0.9	74	97	76	133	76	135	78	151	74	237

ครั้งที่	ค่าพารามิเตอร์						การทดลอง 1		การทดลอง 2		การทดลอง 3		การทดลอง 4		การทดลอง 5	
	ประชากรคน	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตรา การระเหย	ค่าวงน้ำหนัก	ข้อมูลที่ใช้สม อย่างมีเหตุผล	ค่าพีโรโมน อัตรา	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time	Range	Time
43	10	0.1	0.1	1	0.1	0.5	77	159	74	170	74	151	78	151	76	150
44	10	0.1	0.1	1	0.1	0.9	72	208	76	164	74	145	74	84	72	148
45	10	0.1	0.1	2	0.05	0.5	74	129	74	133	76	164	76	120	78	197
46	10	0.1	0.1	2	0.05	0.9	72	210	76	198	76	190	74	165	76	117
47	10	0.1	0.1	2	0.1	0.5	78	207	76	200	76	195	74	145	76	167
48	10	0.1	0.1	2	0.1	0.9	76	185	76	105	74	169	72	167	76	195
49	10	0.5	0.05	1	0.05	0.5	78	188	76	223	74	214	75	205	74	228
50	10	0.5	0.05	1	0.05	0.9	74	191	72	173	74	171	70	118	74	146
51	10	0.5	0.05	1	0.1	0.5	74	170	76	190	74	175	76	175	76	178
52	10	0.5	0.05	1	0.1	0.9	74	117	76	168	76	161	74	164	74	119
53	10	0.5	0.05	2	0.05	0.5	76	136	72	176	75	156	78	100	76	148
54	10	0.5	0.05	2	0.05	0.9	76	159	74	135	74	147	74	189	78	204
55	10	0.5	0.05	2	0.1	0.5	76	188	78	201	75	166	76	225	74	198
56	10	0.5	0.05	2	0.1	0.9	74	166	76	166	74	224	78	182	76	124
57	10	0.5	0.1	1	0.05	0.5	72	120	74	130	74	168	76	177	74	172
58	10	0.5	0.1	1	0.05	0.9	74	180	78	180	74	180	74	178	77	180
59	10	0.5	0.1	1	0.1	0.5	76	181	74	174	76	179	78	185	76	68
60	10	0.5	0.1	1	0.1	0.9	78	178	76	180	76	172	74	152	74	167
61	10	0.5	0.1	2	0.05	0.5	74	168	76	184	74	171	74	171	74	66
62	10	0.5	0.1	2	0.05	0.9	74	168	76	179	76	174	77	174	76	167
63	10	0.5	0.1	2	0.1	0.5	74	166	76	170	74	165	77	167	74	232
64	10	0.5	0.1	2	0.1	0.9	76	174	74	169	74	173	76	171	76	182

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ	นายจิระศักดิ์ ชาบาง
วันเดือนปีเกิด	13 พฤศจิกายน 2527
ตำแหน่ง	-
ทุนการศึกษา (ถ้ามี)	ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากสำนักวิจัย คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ทุนสนับสนุนงานวิจัยจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์

ผลงานทางวิชา

การประยุกต์ใช้วิธีอาณาจักรมตกับการจัดลำดับการผลิตแบบไหลลื่นที่มีเวลาการผลิตไม่แน่นอน
จากวารสารวิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต ปีที่ 6 ฉบับที่ 2 กรกฎาคม - ธันวาคม 2559