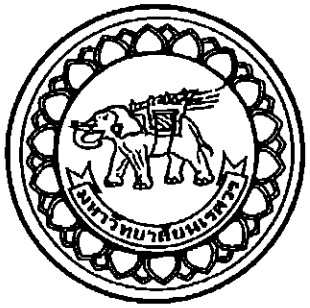


การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีการแบทอัลกอริทึม

A BAT ALGORITHM FOR THE SINGLE ROW AND MULTIPLE ROWS LAYOUT PROBLEM IN FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEMS

นายกิตติพงษ์ ดาพา รหัส 52360041

นางสาวพรภัทร โล่ห์เรืองทรัพย์ รหัส 52360423

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 24 ก.ค. 2556
เลขทะเบียน 16317169
เลขเรียกหนังสือ วส.
มหาวิทยาลัยนเรศวร จ674 จ 2555

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีการแบทอัลกอริทึม

ผู้ดำเนินโครงงาน นายกิตติพงษ์ ดาพา รหัส 52360041

นางสาวพรภัทร โล่ห์เรืองทรัพย์ รหัส 52360423

ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2555

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

ชื่อเรื่อง	การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีการแบทอัลกอริทึม
ผู้ศึกษา	นายกิตติพงษ์ ดาพา รหัส 52360041
	นางสาวพรภัทร โล่ห์เรืองทรัพย์ รหัส 52360423
ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2555

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม มีการแข่งขันทางด้านการผลิตค่อนข้างสูง โดยมีวิธีการและรูปแบบการผลิตที่แตกต่างกันออกไป ตามลักษณะของความต้องการทางด้านปริมาณ ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ และความต้องการของลูกค้า จึงได้นำระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System: FMS) มาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรมผลิต ซึ่งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ ดังนั้น การจัดเรียงเครื่องจักรเพื่อใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีหลากหลาย โดยใช้ระยะทางที่สั้นที่สุด จัดได้ว่ามีความจำเป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากการจัดเรียงเครื่องจักรที่ดีจะมีส่วนช่วยในเรื่องของกระบวนการผลิต จะสามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้มากขึ้น และลดระยะเวลาในการขนถ่ายในแต่ละกระบวนการผลิต ดังนั้นในการศึกษาจึงได้ศึกษาถึงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการแบทอัลกอริทึม (BA) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ในการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรเพื่อให้การเดินทางของกระบวนการผลิตแบบหลากหลายผลิตภัณฑ์มีระยะทางที่สั้นที่สุด (Minimize Total Distance)

ในการศึกษาได้อธิบายถึงการจัดเรียงเครื่องจักรในแบบหลายแถว (Multiple Rows) โดยใช้ข้อมูลของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ จำนวนประเภทของผลิตภัณฑ์ จำนวน 4 ชุดข้อมูล มาใช้ในการศึกษาค้นคว้า โดยได้มีการพัฒนาโปรแกรม Bat Algorithm for Modeling Layout Problem ขึ้นมาเพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น และหาระยะทางที่สั้นที่สุด

ผลของการศึกษาพบว่าการพัฒนาระบบ BAMLP โดยอาศัยหลักการแบทอัลกอริทึม สามารถช่วยในการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาค้นคว้าฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความช่วยเหลือจาก ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่ปรึกษาการโครงงาน ซึ่งกรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา แนะนำเอกสาร หนังสือที่เป็นประโยชน์ต่อการศึกษาค้นคว้า รวมถึงการปรึกษาในเรื่องการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Tcl/Tk ตลอดจนช่วยตรวจทานแก้ไขข้อบกพร่องให้เสร็จสมบูรณ์ ทางผู้ศึกษาจึงขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

ขอขอบคุณ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง ผศ.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และดร.สุธนิตย์ พุทธพนม อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร กรรมการผู้ทรงคุณวุฒิที่กรุณาสละเวลามาเป็นคณะกรรมการสอบ และให้คำแนะนำเพื่อให้การศึกษาค้นคว้ามีความสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัว ที่ช่วยสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาค้นคว้าให้สำเร็จลุล่วง

คณะผู้จัดทำโครงงาน
กิตติพงษ์ ดาพา
พรภัทร โล่ห์เรืองทรัพย์
มกราคม 2556

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์.....ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....ข
กิตติกรรมประกาศ.....ค
สารบัญ.....ง
สารบัญตาราง.....ฉ
สารบัญรูป.....ช

บทที่ 1 บทนำ.....1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน.....1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน.....2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output).....2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน.....3
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน.....3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน.....3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน.....4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น.....5
2.1 รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม.....5
2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น.....8
2.3 ความหมายของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น.....8
2.4 วิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithm).....11
2.5 แบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm).....12
2.6 การออกแบบการทดลอง (The Design of the Experiment).....14
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA).....15

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน.....17
3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร.....17
3.2 ศึกษาการทำงานของแบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm).....19
3.3 ศึกษาการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำแบทอัลกอริทึมมาใช้ในการหาคำตอบ.....22
3.4 การทดสอบความถูกต้องของโปรแกรม.....22

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม 22
3.6 วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ 22
3.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 23

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์ 24
4.1 การประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมในการจัดเรียงเครื่องจักร 24
4.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม 25
4.3 ส่วนของโปรแกรม 26
4.4 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง 31
4.5 ผลการทดลอง 32
4.6 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างโจทย์ชุดที่ 1 และโจทย์ชุดที่ 5 44
4.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม 44
4.8 เวลาเฉลี่ยในการทดสอบโปรแกรม 44

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 43
5.1 สรุปผลการดำเนินงาน 43
5.2 ข้อเสนอแนะ 43

เอกสารอ้างอิง 44

ภาคผนวก ก 45
ภาคผนวก ข 47
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 55

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....4

3.1 แสดงข้อมูล จำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโครงงาน....17

3.2 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท....18

3.3 แสดงข้อมูลตัวอย่างการคำนวณ....20

4.1 แสดงปัจจัยและระดับการทดลอง....31

4.2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 1....32

4.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 2....35

4.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 3....37

4.5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 4....39

4.6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลโจทย์เพิ่มเติม....42

4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของโจทย์ชุดที่ 1 และโจทย์เพิ่มเติม....44

4.8 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึมที่ดีที่สุด....44

4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึมที่ดีที่สุด....45

4.10 แสดงเวลาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

5.1 ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ....46

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การวางผังการผลิตแบบอยู่กับที่ (Fixed Product Layout) 6
2.2 การวางผังการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ (Production Line Layout) 6
2.3 การวางผังการผลิตแบบตามกระบวนการ (Process Layout) 7
2.4 แสดงขอบเขตการใช้งานของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น 8
2.5 แสดงรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น
กับความแตกต่างของอุปกรณ์ขนย้ายวัตถุดิบในแต่ละรูปแบบ 10
3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบทอัลกอริทึม 19
4.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมในการทดลอง 24
4.2 ข้อมูลระยะทางของเครื่องจักร และข้อมูลการใช้เครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์ 26
4.3 การนำเข้าข้อมูลของเครื่องจักร 27
4.4 การนำเข้าข้อมูลของผลิตภัณฑ์ 27
4.5 ขั้นตอนการกรอกค่าพารามิเตอร์ 28
4.6 แสดงผลของข้อมูล 30
4.7 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค 30
4.8 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1 33
4.9 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 1 34
4.10 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2 35
4.11 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 2 36
4.12 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3 38
4.13 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 3 38
4.14 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4 40
4.15 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 4 40

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปี ค.ศ. 1960 วิศวกรและนักวิจัยชาวอังกฤษ ชื่อ D.N.T Williamson ได้คิดค้นแนวคิดเกี่ยวกับระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System) ซึ่งในปัจจุบันระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ถูกพัฒนามาอย่างต่อเนื่องโดยได้นำเอาเทคโนโลยีเข้ามาช่วยเพื่อให้ระบบมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยเครื่องจักรซีเอ็นซี ระบบขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติ และอุปกรณ์เสริมต่างๆ มาเชื่อมต่อระบบเข้าด้วยกันโดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นศูนย์กลางตัวคุมควบ เพื่อสะดวกต่อการวางแผน ควบคุม และแก้ไขในระบบการผลิตกรณีที่เกิดเหตุการณ์ที่ไม่ได้คาดการณ์ไว้ล่วงหน้า

ปัจจุบันโรงงานอุตสาหกรรม มีการแข่งขันทางด้านการผลิตสูงมากแต่จะมีลักษณะ และกระบวนการผลิตที่แตกต่างกันออกไปตามลักษณะทางด้านความต้องการของลูกค้า ลักษณะความต้องการทางด้านปริมาณ ลักษณะความต้องการทางด้านผลิตภัณฑ์ ในการผลิตแบบต่างๆ มักจะเกิดปัญหาขึ้นจึงมีการนำเอาการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System) เข้ามาใช้เพื่อเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในกระบวนการผลิตซึ่งเป็นที่ยอมรับของผู้ประกอบการโรงงานอุตสาหกรรมว่าสามารถช่วยขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการผลิต

ระบบการผลิตแบบยืนหยุ่นจะทำให้เกิดประโยชน์อย่างมากต่อกระบวนการผลิต ความสำคัญ คือ การชีดความสามารถของกระบวนการผลิต และการตอบสนองต่อความต้องการของตลาดที่ในปัจจุบันมีการเปลี่ยนแปลงไปอย่างรวดเร็ว ทั้งในด้านจำนวน และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์โดยไม่ต้องลงทุนเพิ่ม ประโยชน์อีกประการ คือ ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นทำให้เครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆ ใช้งานได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ นอกจากนี้ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นยังเป็นตัวกลางสำคัญที่ทำให้เกิดกระบวนการผลิตแบบไม่ใช้มนุษย์ (Unmanned Manufacturing) คือ โรงงานผลิตแบบอัตโนมัติ

ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นที่เริ่มนำเข้ามาใช้ในอุตสาหกรรมจะใช้เครื่องจักรอัตโนมัติที่ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์มาประกอบรวมกันเป็นโรงงานผลิตที่ทันสมัย แต่ปัญหาอย่างหนึ่งคือ ความซับซ้อนในการลำเลียงที่เกิดขึ้นจากขั้นตอนการผลิตที่เปลี่ยนแปลงตามรูปแบบของสินค้าตลอดเวลา เส้นทางการลำเลียงในขบวนการผลิตจึงต้องปรับเปลี่ยนอยู่เสมออย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ซึ่งถ้าระบบลำเลียงไม่สามารถเปลี่ยนแปลงเส้นทางลำเลียงได้อย่างคล่องตัว ความล่าช้าในการผลิตก็จะเกิดขึ้น ส่งผลให้ต้นทุนการผลิตควบคุมได้ยาก

ด้วยเหตุผลดังกล่าว เพื่อเป็นการตอบสนองวัตถุประสงค์ทางด้านกระบวนการผลิตจึงเป็นเหตุผลสำคัญที่ทำให้ผู้ศึกษามุ่งเน้นศึกษาวิธีการแก้ปัญหาการผลิตด้วยวิธีการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้ศาสตร์หนึ่งทางวิทยาการคอมพิวเตอร์ประยุกต์เข้ากับความรู้ด้านวิศวกรรมศาสตร์ที่กำลังได้รับความสนใจและเป็นที่นิยมศึกษา คือ ปัญญาประดิษฐ์ (Artificial Intelligence : AI) มีความเกี่ยวข้องกับการ

นำเสนอองค์ความรู้ (Knowledge) การประมวลผลสารสนเทศด้วยสัญลักษณ์ และวิธีการแบบฮิวริสติก (Heuristic) หรือที่เรียกว่า วิธีการแบบสามัญสำนึก โดยศึกษามุ่งเน้นไปที่อัลกอริทึมเชิงสุ่ม (Stochastic) ซึ่งเป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่มีรูปแบบไม่แน่นนอน และจะไม่ได้คำตอบเดิมทุกครั้งที่แก้ปัญหาเดิมมักประยุกต์ใช้ในปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ที่ไม่สามารถแก้ได้ด้วยวิธีมาตรฐานทางด้านคณิตศาสตร์ และวิศวกรรมการออกแบบวางผังโรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้ศึกษาเลือกที่จะศึกษานิวฮิวริสติกแบทสไปร์อัลกอรึทึม (A New Heuristic Bat - Inspired Algorithm : BA) เป็นการประยุกต์นำเอาแนวคิดด้านพฤติกรรมทางธรรมชาติของค้างคาวมาใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านคณิตศาสตร์และคอมพิวเตอร์ และแบทอัลกอริทึมยังมีความสามารถในการตรวจสอบคำตอบที่ดีที่สุดจากหลายๆ ล้านคำตอบได้ในเวลาอันรวดเร็ว ซึ่งจะนำมาประยุกต์ใช้ในการลดหรือขจัดปัญหาการวางผังการผลิตที่ประสบในโรงงานอุตสาหกรรม

จากการศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เนื่องจากคำตอบทั้งหมดที่สามารถเป็นไปได้ขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องจักรที่ทำการจัดเรียง (n!) เช่น ถ้ามีเครื่องจักรที่ทำการจัดเรียง 10 เครื่อง วิธีในการจัดเรียงเครื่องจักรจะมีถึง 10! หรือ 3,628,800 วิธี ฉะนั้นปัญหานี้จึงเป็นปัญหาที่น่าสนใจเป็นอย่างยิ่ง ดังนั้นการนำแบทอัลกอริทึมมาช่วยในการแก้ปัญหาจึงเป็นอีกทางเลือกที่น่าสนใจ เพราะสามารถหาคำตอบได้ดีและรวดเร็วอย่างที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

1.2.2 เพื่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึมที่เหมาะสมในการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรและระยะการขนถ่ายวัสดุระหว่างเครื่องจักรน้อยที่สุด (Minimize Total Distance)

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 โปรแกรมช่วยการออกแบบจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว

1.3.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึมที่เหมาะสม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมสามารถแสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ข้อมูลจากการทดลองอ้างอิงจาก Nearchou, (2005)

1.5.2 โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นใช้ข้อมูลจำลองในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมแบบยืดหยุ่น

1.5.3 ผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในการทดสอบมีมากกว่า 3 ผลิตภัณฑ์และใช้เครื่องจักรจำนวน 10 เครื่องขึ้นไป

1.5.4 เครื่องจักรทุกเครื่องมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Shpes) และมีการจัดการ (Operate) อยู่บริเวณศูนย์กลาง (Centroid) ของรูปทรงสี่เหลี่ยม

1.5.5 เครื่องจักรมีการจัดเรียงแบบหลายแถว (Multiple Rows Layout)

1.5.6 เครื่องจักรแถวเดียวกันจะมีการจัดเรียงบนระนาบเดียวกันในแกน X

1.5.7 การขนถ่ายวัสดุเป็นการขนถ่ายแบบอัตโนมัติ (Automated Guided Vechicle : AGV) เดินทางเป็นเส้นตรง จากซ้ายไปขวาหรือจากขวาไปซ้าย และจากบนลงล่างและจากล่างขึ้นบน

1.5.8 เวลาที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุจะไม่นำมาพิจารณา

1.5.9 ไม่พิจารณาลำดับการใช้เครื่องจักร

1.5.10 การจัดเรียงเครื่องจักรทั้งหมดบนพื้นที่ของโรงงาน (Layout) ถ้ามีขนาดเกินกว่าพื้นที่ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะทำการคำนวณและแสดงผลลัพธ์ต่อไปจนเสร็จสิ้น แต่จะมีการแจ้งเตือนว่าการจัดเรียงได้มีขนาดใหญ่เกินกว่าพื้นที่ของโรงงาน

1.5.11 เครื่องจักรทั้งหมดไม่สามารถหมุนเปลี่ยนทิศทางการวางได้

1.5.12 ความกว้างและความยาวของพื้นที่โรงงานกำหนดขนาดได้ไม่เกินด้านละ 1,000 เมตร

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

หอสมุด คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน มิถุนายน พ.ศ. 2555 ถึง มกราคม พ.ศ. 2556

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา						
		ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย	ธ.ค.	ม.ค
1.8.1	ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น	←	→					
1.8.2	ศึกษาโครงสร้างการทำงาน, วิธีการใช้, ค่าพารามิเตอร์และการประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมในการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น	←		→				
1.8.3	พัฒนาโปรแกรมเพื่อนำแบทอัลกอริทึมมาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น				←		→	
1.8.4	ทดสอบและแก้ไขโปรแกรม						←	→
1.8.5	ออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม						←	→
1.8.6	วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ							← →
1.8.7	สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ							← →

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

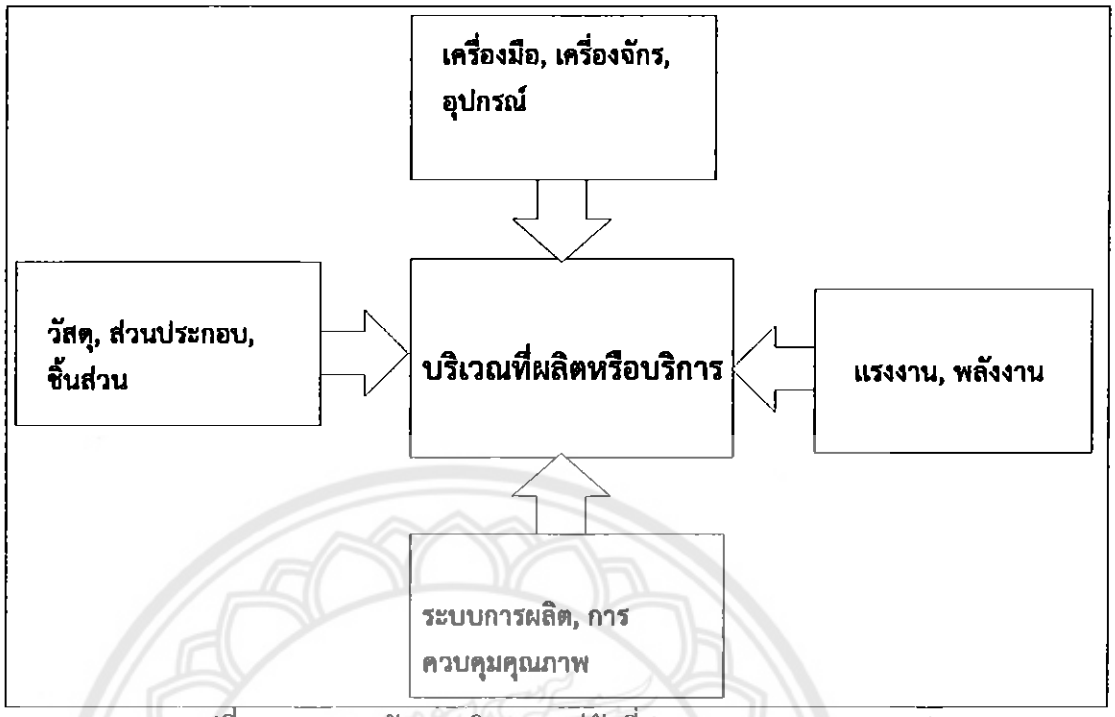
ในบทนี้จะกล่าวถึงหลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวกับการจัดเรียงเครื่องจักร ซึ่งกล่าวถึงรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ด้วยวิธีแบทอัลกอริทึม

2.1 การจัดรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

เนื่องจากรูปแบบของกระบวนการผลิตส่งผลต่อปัจจัยหลายๆ ด้าน ทรัพยากรที่นำเข้าใช้ในการผลิต (คน เครื่องจักร วัตถุดิบ เงินลุงทุน) ปริมาณการผลิตของผลิตภัณฑ์ ความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เวลาที่ใช้ในการผลิต รวมไปถึงคุณภาพของผลิตภัณฑ์ ซึ่งการจัดหารูปแบบที่เหมาะสมในกระบวนการผลิตนั้นเป็นปัญหาที่โรงงานอุตสาหกรรมประสบอยู่เสมอ ปัญหาที่พบได้แก่ การออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่ การสร้างโรงงานใหม่ ปริมาณการผลิตเปลี่ยนแปลง และการเปลี่ยนเครื่องจักรที่ล้าสมัย เป็นต้น ปัญหาเหล่านี้ได้ส่งผลให้เกิดการเปลี่ยนแปลงรูปแบบการผลิตภายในโรงงาน การเปลี่ยนแปลงดังกล่าวทำให้เกิดค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และใช้เวลานานในการจัดรูปแบบการผลิตใหม่ รูปแบบพื้นฐานของการจัดวางเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมโดยทั่วไป แบ่งออกได้เป็น 4 รูปแบบ ดังนี้

2.1.1 การวางผังการผลิตแบบอยู่กับที่ (Fixed Product Layout)

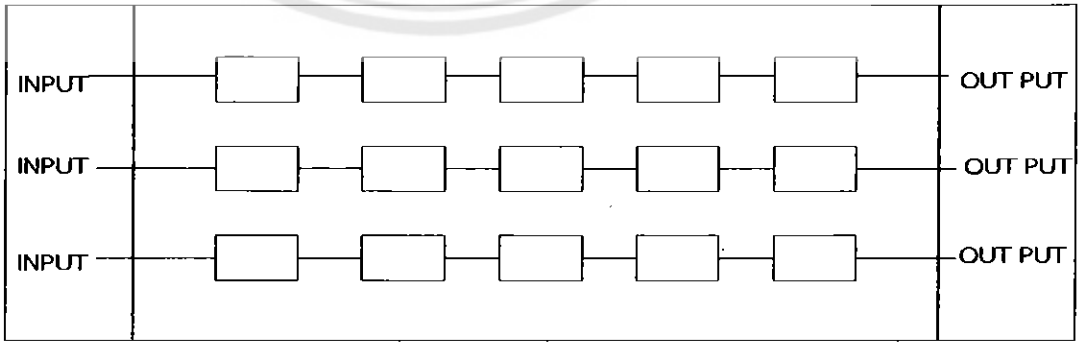
การวางผังการผลิตแบบนี้ ผลิตภัณฑ์ที่ผลิตจะมีขนาดค่อนข้างใหญ่ ไม่สะดวกในการเคลื่อนย้าย และจำนวนการผลิตน้อย จะเป็นลักษณะของโครงการ เช่น การต่อเรือเดินสมุทร การก่อสร้างเขื่อน การก่อสร้างอาคาร การวางผังจะเป็นลักษณะ ดังรูปที่ 2.1 การวางผังลักษณะนี้เป็นการวางผังโดยการให้ชิ้นงานอยู่กับที่หรือผลิตส่วนย่อยๆ เป็นลักษณะชิ้นส่วนสำคัญจากภายนอกนำเข้ามาประกอบ โดยนำเอาทรัพยากร เช่น แรงงาน วัตถุดิบ อุปกรณ์/เครื่องจักร พลังงานและกระบวนการผลิตเข้าไปหา ซึ่งจะใช้เวลานานในการผลิต เนื่องจากผลิตภัณฑ์มีขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนในกระบวนการผลิต



รูปที่ 2.1 การวางผังการผลิตแบบอยู่กับที่ (Fixed Product Layout)

2.1.2 การวางผังการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ (Production Line Layout)

การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์จะมีความเหมาะสมสำหรับการผลิตที่มี**ผลิตภัณฑ์ชนิดเดี่ยว**หรือน้อยชนิด เป็นการผลิตที่มีจำนวนเป็นการผลิตที่มีจำนวนมาก (Mass Product) **และเป็นการผลิต**แบบต่อเนื่อง ดังรูปที่ 2.2 เช่น การผลิตเครื่องดื่ม การผลิตอาหารกระป๋อง การผลิต**โทรศัพท์** เป็นต้น การจัดวางสายการผลิตแบบนี้จะเห็นได้ว่าเป็นการผลิตที่มีปริมาณมากๆ มีการใช้**สายการผลิตลักษณะ**แบบ สายพาน มีการส่งวัตถุดิบทางสายพานหรือท่อ มีการผลิตตลอดเวลาการเ**ตรียมการผลิตจะใช้**เวลานาน

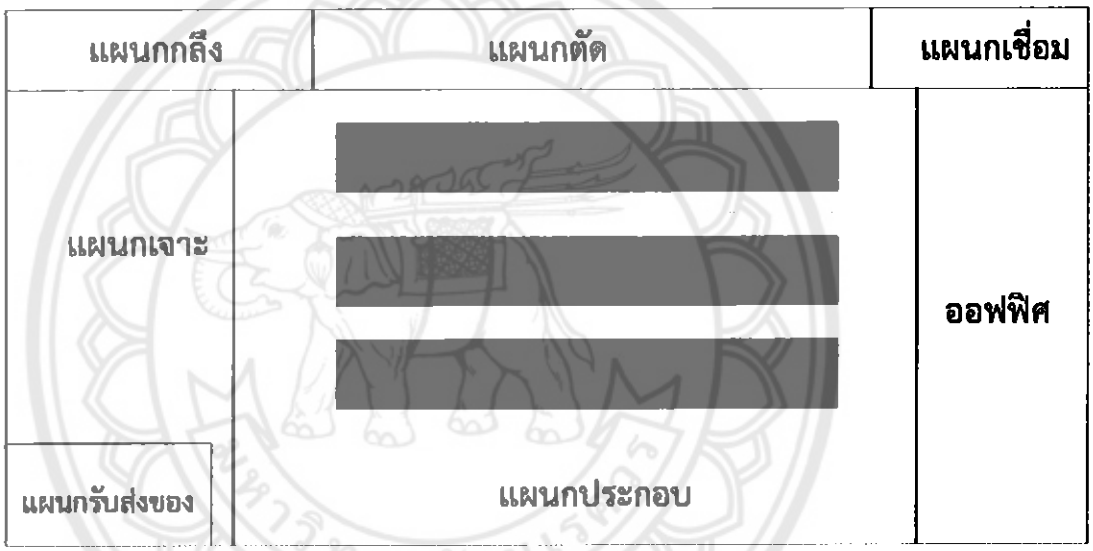


รูปที่ 2.2 การวางผังการผลิตแบบตามผลิตภัณฑ์ (Production Line Layout)

ที่มา : สุรัส ตั้งไพฑูรย์, 2547.

2.1.3 การวางผังการผลิตแบบตามกระบวนการ (Process Layout)

การวางผังตามชนิดผลิตภัณฑ์ จะทำการวางผังตามกลุ่มของเครื่องจักร หรือตามหน้าที่ของงาน (Functional Layout) โดยที่อุปกรณ์และเครื่องจักรที่ใช้งานประเภทเดียวกันจะจัดให้อยู่ในกลุ่มเดียวกันหรือในแผนกเดียวกันที่เรียกว่า การผลิตตามงาน (Job Shops) ดังรูปที่ 2.3 เช่น โรงงานในการขึ้นรูป กลึง ไส ตัด เจาะ เชื่อม มีการแยกแผนกในการทำงานอย่างชัดเจนโดยจะจัดเครื่องมือประเภทเดียวกันไว้ในกลุ่มเดียวกัน โรงงานผลิตเฟอร์นิเจอร์ หรือโรงพยาบาลก็มีการจัดวางผังการผลิตและการให้บริการแบบตามขั้นตอนการผลิตเช่นกัน โดยจะเหมาะสมกับการผลิตผลิตภัณฑ์ในปริมาณไม่มาก ขนาดของการผลิตภัณฑ์ไม่แน่นนอน แต่สามารถผลิตได้หลายชนิด หลายขนาด ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความสามารถในการผลิตของเครื่องจักรที่มีอยู่ในโรงงาน



รูปที่ 2.3 การวางผังการผลิตแบบตามกระบวนการ (Process Layout)
ที่มา : สุรัส ตั้งไพฑูรย์, 2547.

2.1.4 การวางผังการผลิตตามกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Product Family Layout)

การวางผังการผลิตแบบนี้จะอาศัยกลุ่มของชิ้นงานซึ่งแบ่งย่อยออกจากตัวผลิตภัณฑ์มาช่วยในการจัดกลุ่มเครื่องจักร โดยภายในกลุ่มเครื่องจักรเหล่านั้น โดยมากแล้วชิ้นงานจะถูกผลิตเสร็จสิ้นโดยกลุ่มเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่ง บางครั้งอาจจะพิจารณาว่าการวางผังเครื่องจักรแบบกลุ่มนี้เหมือนกับการสร้างโรงงานเล็กๆ หลายๆ โรงงานให้อยู่ภายใต้โรงงานใหญ่โรงงานใดโรงงานหนึ่งก็ได้ เราอาจเรียกว่า การวางผังการผลิตแบบ กลุ่มเทคโนโลยี (Group Technology Layout) หรือ ระบบการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System)

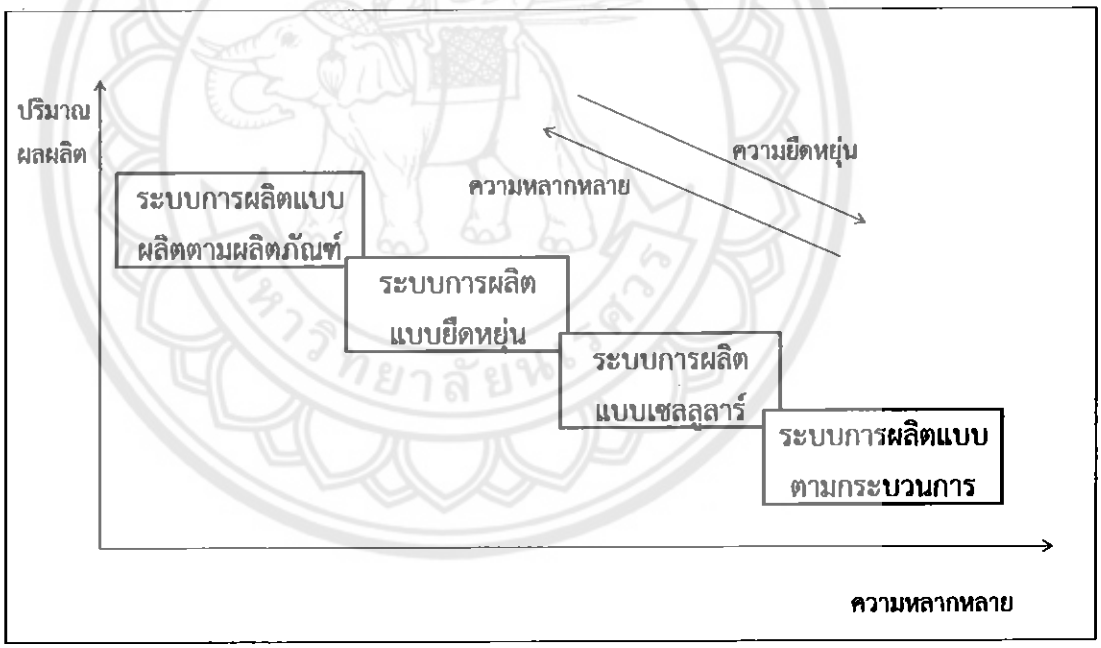
การจัดเรียงเครื่องจักรให้มีปริมาณ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า การจัดเรียงเครื่องจักรนั้นจะต้องมีความยืดหยุ่นของรูปแบบการวางผังของโรงงาน

ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ศึกษา ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS) มาเป็นแนวคิดในการจัดเรียงเครื่องจักร ซึ่งจะกล่าวถึงระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นในหัวข้อต่อไป

2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น คือ กลุ่มของเครื่องจักรเอ็นซี (NC Machine Tools) ซึ่งสามารถผลิตชิ้นส่วนกลุ่มหนึ่งได้อย่างสุ่ม ระบบนี้จะมีระบบเครื่องย้ายวัสดุอัตโนมัติ และระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เพื่อที่จะผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนของการผลิต และความหลากหลายปานกลาง โดยมีลำดับการผลิตเป็นแบบสุ่ม

ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นอาจจะเป็นหรือไม่เป็นคำตอบที่ต้องการสำหรับการผลิตสินค้าประเภทใดประเภทหนึ่งก็ได้ ดังรูปที่ 2.4 แสดงให้เห็นถึงขอบเขตซึ่งระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถถูกนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะเน้นการผลิตในระดับปานกลาง และมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ที่ไม่มากเกินไป



รูปที่ 2.4 แสดงขอบเขตการใช้งานของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

ที่มา : ปารเมศ ชุติมา, (2544)

2.3 ความหมายของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

คำนิยามของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นมีมากมาย คำนิยามเหล่านี้ขึ้นอยู่กับมุมมองของผู้ใช้ว่าระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นประกอบด้วยอะไรและระบบนี้จะถูกนำไปใช้ประโยชน์อย่างไร สามารถยกตัวอย่างคำนิยามของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ดังนี้

2.3.1 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น คือ ระบบการผลิตที่ซึ่งตั้งเอาระบบเครื่องจักร และระบบการเคลื่อนย้ายวัสดุที่คล้ายหุ่นยนต์ (Robot) หรือรถขนถ่ายวัสดุแบบอัตโนมัติ เป็นต้น มาเชื่อมต่อและควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ศูนย์กลาง (Solimanpur et al., 2005)

2.3.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นการนำเอาระบบท่อลมขนส่ง เช่น รถขนถ่ายวัสดุแบบอัตโนมัติเข้ามาช่วยในการเคลื่อนย้ายวัสดุไปยังกลุ่มเครื่องจักรกล โดยใช้คอมพิวเตอร์เป็นตัวควบคุม (Ficko et al., 2004)

2.3.3 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเป็นการจัดรูปแบบของการเครื่องจักรในกระบวนการผลิต ให้เครื่องจักรทำงานอย่างมีประสิทธิภาพตามเงื่อนไขความแตกต่างของการผลิต ชนิดของผลิตภัณฑ์ที่มีการเคลื่อนย้าย และอุปกรณ์ที่นำมาใช้ในการขนย้าย ซึ่งทั้งหมดจะอยู่ภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์ในการสั่งการ (Nearchou, 2006)

2.3.4 Graham (1988) ให้ความหมายของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น คือ การผลิตของเครื่องจักรหนึ่งเครื่องหรือหลายเครื่องจักรที่รวมเข้าด้วยกันโดยใช้ระบบอัตโนมัติในการขนถ่ายวัสดุ ซึ่งลำดับงานจะถูกจัดการด้วยระบบคอมพิวเตอร์ควบคุม (Rehg and Kraebber, 2001)

2.3.5 Kearney และ Tracker (1997) ได้ให้ความหมายของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น คือ กลุ่มของเครื่องจักรกลเอ็นซี (Numerical Control : NC) ที่สามารถผลิตแบบสุ่มของกลุ่มชิ้นงาน โดยมีการขนถ่ายด้วยรถวัสดุแบบอัตโนมัติ และส่วนกลางคอยควบคุมให้เกิดความสมดุลในการเคลื่อนที่ของทรัพยากรให้มีประโยชน์สูงสุด ดังนั้นระบบสามารถปรับอัตโนมัติจากการเปลี่ยนแปลงของการผลิตชิ้นงาน ความหลากหลายและระดับของผลิตภัณฑ์ (Rehg and Kraebber, 2001)

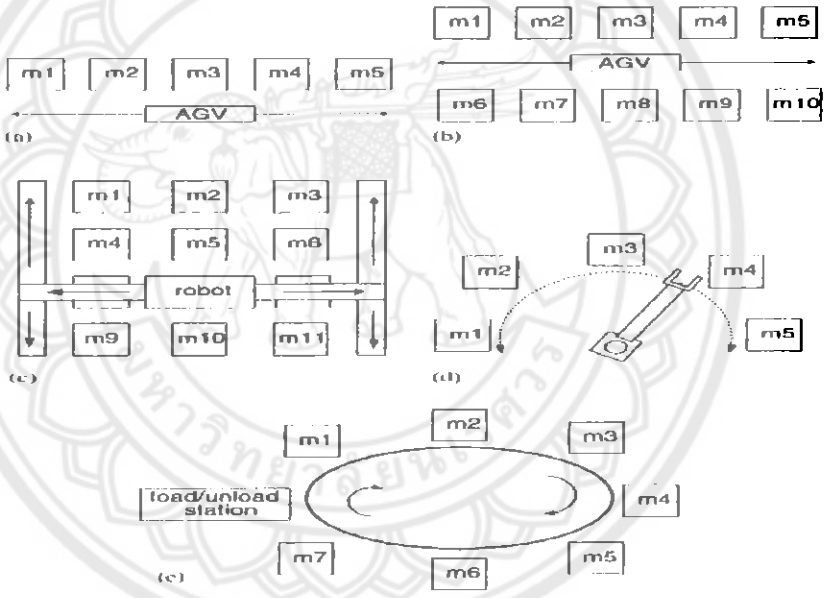
2.3.6 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น หมายถึง ระบบที่ประกอบไปด้วยเครื่องจักรเอ็นซี ระบบเคลื่อนย้ายวัสดุอัตโนมัติ และอุปกรณ์เสริมต่างๆ อีกมากมาย อุปกรณ์ต่างๆที่ประกอบขึ้นเป็นระบบนี้จะถูกควบคุมและเชื่อมโยงเข้าด้วยกันโดยคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง เพื่อที่จะผลิตชิ้นส่วนที่มีจำนวนของการผลิตและความหลากหลายปานกลาง โดยมีลำดับในการผลิตแบบสุ่ม (ปารเมศ ชุติมา, 2544. หน้า 13)

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่แท้จริงจะต้องมีความสามารถในการผลิตชิ้นส่วนอย่างหลากหลายที่มีความแตกต่างกันได้ โดยที่ระบบจะทำการผลิตชิ้นส่วนกลุ่มหนึ่งในเวลาใดเวลาหนึ่ง โดยไม่คำนึงถึงลำดับในการผลิตของชิ้นส่วน และการผลิตจะเป็นไปตามความต้องการที่เกิดขึ้นในขณะนั้น ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะต้องนำความยืดหยุ่นที่มีอยู่หลายชนิดมาใช้เพื่อที่จะทำให้การผลิตแบบนี้เป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่นนี้เองจะเป็นตัวการที่ทำให้ระบบสามารถดัดแปลงตัวเองให้เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงปริมาณในการผลิต การเปลี่ยนแปลงในส่วนคละผลิตภัณฑ์ การเพิ่มขึ้นในชนิดของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงในด้านวิศวกรรมและการออกแบบ เป็นต้น นอกจากนั้นความยืดหยุ่นยังทำให้ระบบสามารถที่จะจัดการกับสิ่งก่อกวนต่างๆ (Disturbances) ที่จะเกิดขึ้นในระบบซึ่งไม่สามารถจะพยากรณ์ หรือคาดเดาได้ เช่น การเสียอย่างกะทันหันของเครื่องกล การเปลี่ยนแปลงกำหนดการผลิตอย่างกะทันหัน เป็นต้น ความ

ยืดหยุ่นเหล่านี้เกิดขึ้นได้ สืบเนื่องมาจากประสิทธิภาพของคอมพิวเตอร์และซอฟแวร์ที่ใช้ในการควบคุมระบบผลิตแบบยืดหยุ่นทั้งระบบ ซอฟแวร์เหล่านี้จะหาเกณฑ์ที่เหมาะสมในการตัดสินใจเกี่ยวกับความต้องการของทรัพยากรต่างๆ การจัดทำกำหนดการผลิต และการตอบสนองต่อเหตุการณ์ต่างๆ ที่กำลังเกิดขึ้นในระบบทั้งที่คาดหมาย และไม่ได้คาดหมายเอาไว้

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะนำมาซึ่งความสามารถในการพยากรณ์การทำงานต่างๆ ของระบบได้อย่างมีความถูกต้องค่อนข้างสูง ทั้งนี้เพราะการทำงานทั้งหมดของระบบนี้อยู่ภายใต้การควบคุมของคอมพิวเตอร์ซึ่งมีหน้าที่ควบคุมการผลิตผลิตภัณฑ์ที่มีความหลากหลายให้เป็นไปตามกำหนดการที่ได้ตั้งไว้ล่วงหน้าภายใต้ความสามารถของระบบที่กำหนดให้ ด้วยเหตุนี้เองระบบนี้จึงมีความสามารถในการตัดสินใจ และปฏิบัติงานได้เองโดยปราศจากการช่วยเหลือจากมนุษย์หรือมีก็น้อยมาก (ปารเมศ ชุติมา, 2544. หน้า 14 - 15)

รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นมีหลายรูปแบบ ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นกับความแตกต่างของอุปกรณ์ขนย้ายวัตถุดิบในแต่ละรูปแบบ

a) Single - Row Layout b) Double - Row Layout c) Cluster Layout

d) Semi - Circular e) Closed Unidirectional Loop Layout

ที่มา : Nearchou, (2006)

2.4 วิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithm)

วิธีการแก้ปัญหาในการหาคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithm) สามารถที่จะจำแนกได้ 2 ประเภท ดังนี้

2.4.1 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithm : COAs)

วิธีการนี้ถูกพัฒนาขึ้นมา มีจุดประสงค์เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาทางด้านการทหารที่มีความซับซ้อน ต่อมาได้มีการนำวิธีการเหล่านี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น ปัญหาการจัดตาราง (Scheduling Problems) หรือปัญหาการบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์ลงในคอนเทรนเนอร์ (Container Packing Problems) จากการศึกษางานวิจัยหลายๆ งานทำให้ทราบว่าวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าคำตอบนั้นมีอยู่หลายวิธี ตัวอย่างเช่น วิธีการสร้างโปรแกรมเชิงเส้น (Integer Linear Programming) วิธีการสร้างโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) และวิธีบรานช์แอนด์บาวด์ (Branch and Bound Algorithm) เป็นต้น ซึ่งมีนักวิจัยหลายท่านได้นำวิธีการในกลุ่มหลักการทางคณิตศาสตร์นี้ไปใช้ในการแก้ปัญหา

2.4.2 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณ (Approximation Optimization Algorithm : AOAs)

วิธีการในกลุ่มนี้จะมีรูปแบบการค้นหาแบบสุ่ม (Stochastic Search) จึงมีความเหมาะสม และทำได้ดีเมื่อนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ที่มีความซับซ้อนสูง เมื่อพิจารณาปัญหาในการหาค่าที่ดีที่สุดโดยอาศัยการจัดเรียง (Seguencing Optimization Problem) คือ แต่ละคำตอบจะแตกต่างกันเมื่อลำดับของทรัพยากรนั้นแตกต่างกัน เช่น งานในปัญหา Scheduling หรือการวางผังเครื่องจักร (Machine Layout) ของโรงงาน จะพบว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ การจะหาและนำค่าคำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดมาเปรียบเทียบกันแล้วเลือกคำตอบที่ดีที่สุดนั้นเป็นเรื่องที่ยากมาก เหตุนี้จึงทำให้มีวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยวิธีการประมาณขึ้น (Pongcharoen, 2001) ได้แก่ วิธีการเมทต้าฮิวริสติก (Metaheuristics) ซึ่งเป็นสาขาหนึ่งของหลักการประมาณที่ประสบความสำเร็จอย่างมากในการจัดการกับปัญหาที่มีความซับซ้อนสูงๆ โดยวิธีการในกลุ่ม Metaheuristics นี้มีรูปแบบของการวนซ้ำ (Iterative) เป็นลักษณะเด่นที่เหมือนกัน แต่จะแตกต่างกันตรงกลไกที่ถูกนำมาใช้ในการค้นหา และสำรวจกลุ่มของค่าคำตอบที่เป็นไปได้ให้มีประสิทธิภาพ เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าคำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (Near Optimum Solution) วิธีการต่างๆ ที่อยู่ในกลุ่มของ Metaheuristics มีหลายวิธี เช่น ซิมูเลทเทดแอนนีลลิง (Simulated Annealing : SA), ทาบูเสิร์จ (Taboo Search : TS), นิวรอลเน็ทเวิร์ค (Neural Network : NN), เจนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic Algorithm : GA) และแบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm : BA)

2.5 แบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm)

กระบวนการทำงานของแบทอัลกอริทึม (Bat Algorithm : BA) เป็นแนวคิดที่ได้จากการหาตำแหน่งเหยื่อของค้างคาว มีหลักการและแนวคิดที่พัฒนาขึ้นโดย Xin She Yang (2010) โดยใช้หลักการอุดมคติ ดังนี้

2.5.1 ค้างคาวทั้งหมดใช้กระบวนการ Echolocation ในการหาระยะทาง ซึ่งค้างคาวจะรู้ถึงความแตกต่างระหว่างอาหารหรือเหยื่อแม้จะอยู่ในที่มืดหรือมีสิ่งกีดขวางอยู่รอบๆ

2.5.2 ค้างคาวบินสุ่มด้วยความเร็ว v_i ที่ตำแหน่ง x_i ด้วยความเร็วคงที่ $f_{\min}$ มีค่าความแปรผันตามความยาวคลื่น λ และเสียงในการค้นหาเหยื่อ โดยที่พวกมันสามารถปรับเปลี่ยนค่าความยาวคลื่นได้โดยอัตโนมัติของค่าความถี่ และอัตราการส่งคลื่นเสียงโดยขึ้นอยู่กับเป้าหมาย

2.5.3 แม้ว่าเสียงจะมีการแปรเปลี่ยนไปตามเส้นทางต่างๆ เราจะสมมติว่าเสียงนั้นเปลี่ยนแปลงจากเสียงเริ่มต้นที่ดัง A_0 สู่ค่าคงที่ของเสียงที่น้อยกว่า $A_{\min}$

กระบวนการทำงานของวิธีแบทอัลกอริทึมดังนี้

2.5.3.1 การกำหนดฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function) เป็นการกำหนดค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์หรือสมการเป้าหมายที่ใช้ในการหาค่าคำตอบสำหรับปัญหาที่ต้องการ เพื่อใช้ในการประเมินผลที่ได้จากปัญหานั้นซึ่งจะแทนด้วย $f(x)$

2.5.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initialize the Bat Population) กำหนดตัวประชากรค้างคาว 1 ตัวเสมือนกันเป็นตัวแทนของคำตอบ 1 คำตอบ ดังนั้นการสร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นจึงเป็นการสร้างตัวแทนของกลุ่มคำตอบเริ่มต้นเช่นกัน ในการเริ่มต้นนั้นจะทำการสุ่มคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) 1 คำตอบต่อค้างคาว 1 ตัว ทั้งนี้การกำหนดจำนวนค้างคาวจะถูกสุ่มสร้างขึ้นตามจำนวนประชากร (n) ที่กำหนดไว้ เช่น กำหนดให้มีค้างคาวในการหาทั้งหมด 10 ตัว ก็จะได้คำตอบเริ่มต้นทั้งหมด 10 คำตอบ

2.5.3.3 การกำหนดค่าความถี่ (Frequency) เป็นการกำหนดค่าความถี่จะขึ้นอยู่กับการกำหนดตามขนาดหรือชนิดของปัญหาแต่ละปัญหาที่เราสนใจ (Yang, 2010) ในระยะเริ่มต้นค้างคาวแต่ละตัวต้องกำหนดช่วงค่าความถี่ต่ำสุดและค่าความถี่สูงสุด $[f_{\min}, f_{\max}]$ ของค้างคาว

2.5.3.4 กำหนดค่าการเสียง A_i และคลื่น r_i เริ่มต้นเป็นการกำหนดคลื่นเสียง r_i (Rate of Pulse Emission) และการกำหนดความดังของเสียง (Loudness) เริ่มต้นให้กับค้างคาวแต่ละตัวโดยการสุ่มค่าของคลื่นและเสียงของตนเอง หลังจากที่ค้างคาวได้กำหนดทิศทางที่เป็นผลมาจากค่าความถี่ที่ส่งออกไปหาเป้าหมาย ก็จะทำการส่งเสียงเพื่อหาเหยื่อหรืออาหารที่เป็นเป้าหมาย ซึ่งค้างคาวแต่ละตัวย่อมมีการส่งเสียงที่แตกต่างกันไป ถ้านำพฤติกรรมของค้างคาวมาใช้เพื่อหาคำตอบค้างคาวจะเป็นตัวแทนคำตอบย่อมอยู่ในจุดใดจุดหนึ่งในพื้นที่ทั้งหมดของคำตอบที่สุ่มได้ การส่งเสียงรวมถึงคลื่นเสียงที่ไม่เท่ากันก็ย่อมมีผลทำให้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดแตกต่างกันไปด้วย

ในการกำหนดค่าคลื่น r_i และเสียง A_i ให้กับค้างคาวแต่ละตัวควรมีค่าที่แตกต่างกันทำได้โดยการสุ่มค่าช่วงที่เรากำหนดช่วงสูงสุดและต่ำสุดเอาไว้ ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าเริ่มต้นการส่งเสียงให้กับค้างคาวแต่ละตัว A_i^0 มีการสุ่มค่าอยู่ระหว่าง [1,2] ในขณะที่กำหนดการส่งคลื่นของค้างคาวแต่ละตัวนั้นจะมีการสุ่มค่าที่อยู่ระหว่าง $r_i^0 \in [0,1]$ (Yang, 2010) จึงทำให้ค้างคาวที่เป็นตัวแทนของคำตอบมีค่าเริ่มต้นของเสียงและคลื่นที่ต่างกัน จะมีผลทำให้ค้างคาวแต่ละตัวเข้าใกล้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดได้ไม่เท่ากัน ซึ่งทั้งสองค่านี้จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าเมื่อมีการปรับปรุงคำตอบใหม่เป็นการบ่งบอกว่าได้เข้าใกล้ค่าคำตอบที่เป็นเป้าหมายหรือคำตอบที่ดีที่สุด (Optimal Solution)

2.5.3.5 การหาคำตอบใหม่โดยอาศัยค่าความถี่และการเปลี่ยนแปลงความเร็ว

โดยค้างคาวทุกตัวสร้างคำตอบเพื่อพิจารณาการเปลี่ยนคำตอบใหม่ (Generate New Solutions) หลังจากที่ได้กระจายการหาคำตอบจากการสร้างประชากรเริ่มต้นให้กับค้างคาว (x_i) สามารถเปรียบเทียบและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากคำตอบของค้างคาวทุกตัว (x_*) ถ้าค้างคาวที่กำลังพิจารณามีคำตอบการจัดตารางซึ่งมีคำตอบที่แย่กว่าคำตอบของค้างคาวที่มีคำตอบที่ดีที่สุด ค้างคาวตัวนั้นก็จะทำการเคลื่อนที่หรือปรับปรุงคำตอบของตนเองเพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุดโดยใช้สมการที่ 2.1, 2.2 และ 2.3

β คือ ค่าที่ใช้ในการสุ่มทิศทางจะมีค่าระหว่าง [0,1] มีการสุ่มแบบ Uniform Distribution ในสมการที่ 2.1 จะทำให้ได้ค่าความถี่ของค้างคาวแต่ละตัว แม้ว่าจะมีการกำหนดค่าความถี่ต่ำสุดและค่าความถี่สูงสุดของค้างคาวจะเหมือนกัน แต่เมื่อมีค่า β เข้ามาเกี่ยวข้องแล้วจะทำให้ค้างคาวมีทิศทางการค้นหาคำตอบที่แตกต่างกันเสมือนกับการกระจายหาคำตอบที่แตกต่างกัน ความเร็ว v_i^t จากสมการที่ 2.2 เป็นตัวกำหนดว่าจะใช้ความเร็วในการเคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายเท่าใด เสมือนกับการที่ค้างคาวที่เป็นตัวแทนของคำตอบปรับปรุงคำตอบของตน x_i^t เพื่อให้เข้าใกล้คำตอบที่ดีที่สุด x_* จากสมการที่ 2.2 $(x_i^t - x_*)$ จะสามารถหาคำตอบได้จากวิธีการ Swap Operator และ Adjustment Operator ซึ่งเป็นวิธีในการย้ายตำแหน่งของคำตอบ ซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

$$f_i = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min})\beta \quad (2.1)$$

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x_*)f_i \quad (2.2)$$

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (2.3)$$

2.5.3.6 ขั้นตอนการตัดสินใจเข้าใกล้กลุ่มคำตอบที่ดีที่สุด

เริ่มต้นโดยทำการสุ่มค่า Rand ซึ่งมีกำหนดค่าของ Rand กรณีที่มีการสุ่มค่าออกมาแล้วค่า Rand มีค่ามากกว่า r_i ให้เลือกคำตอบที่ดีที่สุด หากพบว่ามีคำตอบที่ดีที่สุดมีหลายคำตอบให้ทำการสุ่มเลือกได้เพียง 1 คำตอบจากคำตอบที่ดีที่สุดทั้งหมด (Select a Solution Among the

Best Solutions) จากนั้นทำการสุ่มเลือกคำตอบที่อยู่ใกล้ๆ กับคำตอบที่ดีที่สุดออกมา (Generate a Local Solution Around the Selected Best Solution) โดยใช้สมการที่ 2.4 โดยที่จะทำการสุ่มค่า $\varepsilon \in [0,1]$ ขณะที่ $A^t =< A_i^t >$ เป็นค่าเฉลี่ยของเสียงของค้างคาวในรอบนั้น

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \tag{2.4}$$

2.5.3.7 ขั้นตอนการเลือกคำตอบใหม่

กำหนดให้ค้างคาวแต่ละตัวทำการบินสุ่มหาคำตอบของตนเองขึ้นอีกครั้ง

2.5.3.8 ขั้นตอนการตัดสินใจยอมรับคำตอบ

กำหนดให้มีการพิจารณาเงื่อนไข 2 เงื่อนไข โดยเงื่อนไขแรก คือ การทำการสุ่มค่า Rand ที่จะตัดสินใจยอมรับคำตอบปัจจุบันเมื่อค่า Rand ที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่า A_i ของตัวที่พิจารณา เงื่อนไขที่สองที่จะพิจารณาว่าผลของการประเมินค่าคำตอบของค้างคาวตัวปัจจุบันนั้นมีค่าของคำตอบน้อยกว่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ก็จะเลือกตัดสินใจยอมรับคำตอบปัจจุบันเมื่อค่า Rand ที่สุ่มได้มีค่าน้อยกว่า A_i ผลการประเมินของฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของค้างคาวตัวปัจจุบัน $f(x_i)$ มีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบผลการประเมินคำตอบที่ดีที่สุด $f(x_*)$ หากทั้งสองเงื่อนไขนั้นเป็นจริงก็จะยอมรับคำตอบใหม่ (Accept New Solution) จะทำการยอมรับคำตอบนั้นโดยที่จะมีการปรับปรุงค่าเสียงและคลื่นใหม่ดังสมการ 2.5 ค่าของเสียงจะลดลงในขณะที่ค่าของคลื่นนั้นเพิ่มขึ้น

$$A_i^{t+1} = \alpha A_i^t,\ r_i^{t+1} = r_i^0[1 - \exp(-\gamma t)] \tag{2.5}$$

2.5.3.9 ขั้นตอนของการจัดอันดับค่าของคำตอบ

เมื่อค้างคาวทุกตัวที่กำหนดได้ผ่านกระบวนการหาค่าคำตอบเบื้องต้นมาแล้วจึงนำมาจัดอันดับค่าของค้างคาวและหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

2.6 การออกแบบการทดลอง (The Design of the Experiment)

เชาวนี สำราญพันธุ์ (2548) กล่าวว่า การออกแบบการทดลองทางสถิติ (Statistical Design of Experiment) หมายถึง กระบวนการในการวางแผนการทดลอง เพื่อจะได้มาซึ่งข้อมูลที่เหมาะสมที่สามารถนำไปใช้วิเคราะห์โดยวิธีการทางสถิติทำให้ผู้ศึกษาสามารถหาข้อสรุปที่สมเหตุสมผลได้ ส่วนคำว่า การทดลอง (Experiment) หมายถึง การทดสอบ (Test) หรือชุดของการทดสอบที่มีการเปลี่ยนแปลงกับตัวแปรขาเข้า (Input Variable) ของกระบวนการหรือระบบ เพื่อสังเกตหรือบ่งชี้ถึงเหตุการณ์เปลี่ยนแปลงที่จะเกิดขึ้นกับผลตอบสนองขาออก (Output Response) การทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัวและหลายวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลอง ก็คือ หาผลกระทบ

ของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบสนองของระบบ จะเรียกการวางแผนและดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลอง มีวิธีการที่หลากหลายซึ่งผู้ทดลองสามารถเลือกนำไปใช้ได้ ดังนั้นในการวางแผนและดำเนินการทดลองใดๆ จึงจำเป็นจะต้องมีการเลือกใช้กลยุทธ์ของการทดลองให้เหมาะสม ซึ่งในการศึกษานี้จะขอกล่าวถึงเฉพาะกลยุทธ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่านั้นซึ่งแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยดังนี้ การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

2.6.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล หมายถึง การทดลองที่พิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Level) ของปัจจัยทั้งหมดที่เป็นไปได้ในการทดลองนั้น การทดลองส่วนใหญ่จะเกี่ยวข้องกับการศึกษาถึงผลปัจจัย (Factor) ตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีเช่นนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลจะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่นกรณีที่มี 2 ปัจจัย คือ A และ B ถ้าปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้นในการทดลอง 1 การทำซ้ำ (Replicate) จะประกอบด้วยการทดลองร่วมปัจจัยทั้งหมด ab การทดลอง และกล่าวได้ว่าปัจจัยเหล่านี้มีการไขว้ซึ่งกันและกัน เมื่อปัจจัยที่เกี่ยวข้องถูกนำมาจัดให้อยู่ในรูปแบบของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล ผลที่เกิดจากปัจจัยนั้นๆ ซึ่งเรียกว่า ผลหลัก (Main Effect) และในบางการทดลองอาจจะพบว่าความแตกต่างของผลตอบสนองที่เกิดขึ้นบนระดับต่างๆ ของปัจจัยหนึ่งจะมีค่าไม่เท่ากันที่ระดับอื่นๆ ทั้งหมดของปัจจัยอื่น หมายความว่า ผลตอบสนองของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นกับระดับของปัจจัยอื่นๆ นั่นเอง และเรียกเหตุการณ์แบบนี้ว่า Interaction คือ การมีปฏิสัมพันธ์ต่อกันระหว่างปัจจัยที่เกี่ยวข้อง

2.6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Designs)

การออกแบบกรณีที่มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา k ปัจจัย และปัจจัยทุกตัวประกอบด้วย 3 ระดับ เรียกการออกแบบนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k ซึ่งระดับทั้งสามของแต่ละปัจจัยมีค่าเป็น ต่ำ กลาง และสูง สัญลักษณ์ที่ใช้แทนระดับทั้งสามอาจใช้เป็นตัวเลข 0, 1, 2 แทน ต่ำ กลาง และสูง ตามลำดับ หรือเป็นตัวเลข -1, 0, 1 ก็ได้ ในการทดลอง 1 เรพลิเคตที่สมบูรณ์สำหรับการออกแบบเช่นนี้จะประกอบด้วยข้อมูลทั้งสิ้น $3 \times 3 \times 3 \times \ldots \times 3 = 3^k$ ข้อมูล โดยการทดลองร่วมปัจจัยในการออกแบบ 3^k จะแทนด้วยตัวเลข k ตัว ซึ่งตัวเลขตัวแรกแทนระดับของปัจจัย A ตัวเลขตัวที่สองแทนระดับของปัจจัย B, ..., และตัวเลขตัวที่ k แทนระดับของปัจจัย k

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between-Group Variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within - Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ย

ระหว่างกลุ่มต่างๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าคะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน

การวิเคราะห์ความแปรปรวนโดยทั่วไปจะใช้เพื่อวิเคราะห์ผลจากการทดลองเชิงแฟคทอเรียล ตัวอย่างเช่น การทดลองเชิงแฟคทอเรียลในกรณีที่มีปัจจัยที่จะทำการศึกษา 2 ปัจจัย คือ A และ B โดยปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ซึ่งทั้งหมดนี้จะถูกจัดให้อยู่ในรูปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียลนั่น คือ ในแต่ละเรพลิเคตของการทดลองจะประกอบด้วยในแต่ละเรพลิเคตของการทดลอง ab การทดลอง โดยปกติจะมีจำนวนเรพลิเคตทั้งหมด n ครั้ง รูปแบบทั่วไปของการออกแบบเชิงแฟคทอเรียล 2 ปัจจัยและมีการซ้ำทั้งหมด n ครั้ง เมื่อกำหนดให้ y_{ijk} คือ ผลตอบสนองที่เกิดจากระดับที่ i ของปัจจัย A (เมื่อ i = 1, 2, ..., n) และลำดับที่ j ของปัจจัย B (เมื่อ j = 1, 2, ..., b) สำหรับเรพลิเคตที่ k (เมื่อ k = 1, 2, ..., n) (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

เนื่องจากโครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรเพื่อให้ค่าคำตอบที่ได้เป็นค่าของระยะทางการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายอัตโนมัติที่มีค่าน้อยที่สุด ในขั้นตอนแรกจึงต้องมีการศึกษาปัญหา และหลักการของการจัดเรียงเครื่องจักร ต่อมาจึงเป็นการศึกษาวิธีการสร้างแบบจำลองของปัญหา และการแก้ปัญหาโดยใช้แบทอัลกอริทึม

3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

ในโครงงานชุดนี้ได้นำเอาปัญหาการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรมาตรฐานที่ได้ตีพิมพ์ในระดับนานาชาติ มาประยุกต์ใช้ศึกษาในโครงงาน โดยข้อมูลดังกล่าวถูกศึกษาโดย Nearchou (2005) ซึ่งข้อมูลจะระบุจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์, จำนวนประเภทของผลิตภัณฑ์ (ดังตารางที่ 3.1) โดยผลิตภัณฑ์แต่ละผลิตภัณฑ์ได้กำหนดความต้องการในการใช้เครื่องจักรแต่ละเครื่องมาแล้ว (ดังตารางที่ 3.2) ซึ่งข้อมูลมี 4 ชุดดังต่อไปนี้

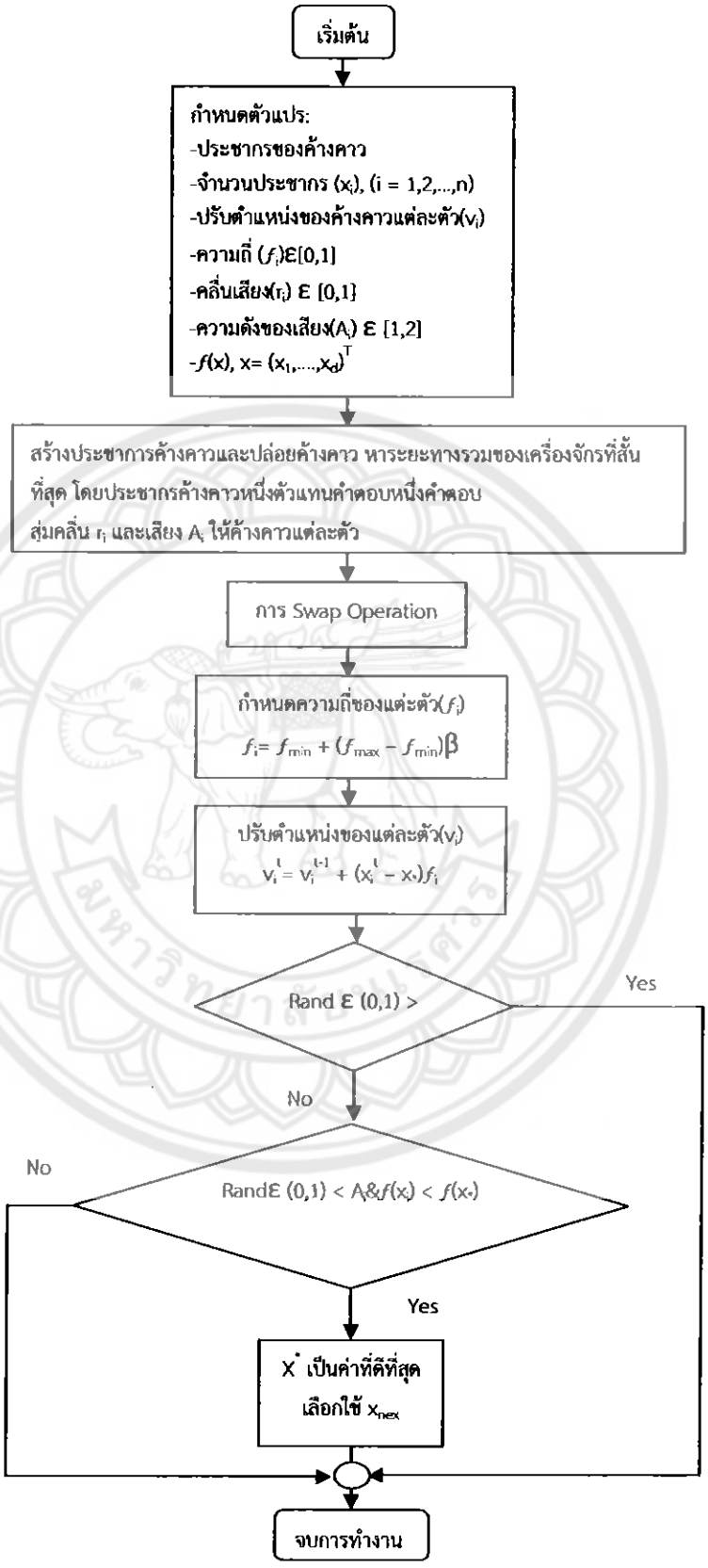
ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูล จำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโครงงาน

ชุดข้อมูล	จำนวนเครื่องจักร	จำนวนผลิตภัณฑ์
1	10	3
2	20	5
3	15	9
4	30	10

ตารางที่ 3.2 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

Part	Required machine sequence
	(a) 10-machine, 3-part
1	2-1-6-5-8-9-3-4
2	10-8-7-5-9-6-1
3	9-2-7-4
	(b) 20-machine, 5-part
1	4-2-3-12-1-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11
2	10-9-1-3-18-17-5-6-2-11-4
3	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
4	14-17-11-3-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
5	6-18-8-4-2-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	(c) 15-machine, 9-part
1	4-2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
2	3-2-15-14-11-1-7-10-4-5-13-6-9
3	5-6-11-15-2-12-3-4
4	10-9-4-14-2-3-15-8
5	11-2-4-14-5-3-15
6	8-10-12-11-15-13-1-14-4-5-3
7	5-11-10-3-7-13-8
8	7-3-2-8-4-10-6-15-13-9-1
9	11-13-3-1-12-14-4-8-9-2
	(d) 30-machine, 10-part
1	6-3-4-18-5-1-14-24-26-7-11-30-23-21-13-27-9-16-17-2-25-8-15
2	17-9-11-8-10-22-24-13-2-29-23-21-25-16-4-20-26-18-15-12-27-6-3-7-28
3	13-2-6-29-21-3-14-24-12-15-17-8-1-22-28-10-7-30-20-19
4	7-2-6-11-21-8-16-30-1
5	3-17-12-20-22-8-6-26-19-14-11-15-12-7-16-21-10-28-23-18-4-27-24-25-13-30-9-5
6	30-9-2
7	15-9-30-19-12-3-6-5-8-14-7-28-23-1-29-24-27-2-13-4-26-16-11-10-25-21-22-20-18
8	7-19-5-4-9-16-3-14-28-13-11-2-21-10-17-22-26-23-29-30
9	21-4-1-6-11-22
10	12-6-17-15-13-30-26-18-14-9-7-11-23-2-4-25-2

3.2 ศึกษาการทำงานของแบทอัลกอริทึม



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการทำงานของแบทอัลกอริทึม

ตารางที่ 3.3 แสดงข้อมูลตัวอย่างของการคำนวณ

เครื่องจักร	ระยะห่างของเครื่องจักร			
	1	2	3	4
1	-	3	4	5
2	3	-	2	4
3	4	3	-	6
4	5	2	6	-

$x_1 = [1, 2, 3, 4]$, $x_2 = [1, 3, 2, 4]$, $x_3 = [1, 2, 4, 3]$, $x_4 = [4, 2, 1, 3]$

$f(x_1) = x_1 = 11$

$f(x_2) = x_2 = 9$ ..... x^*

$f(x_3) = x_3 = 13$

$f(x_4) = x_4 = 11$

สูตร $f_i = f_{min} + (f_{max} - f_{min})\,\beta$

$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*)\, f_i$

$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$

$\beta = 0.29, 0.48, 0.59, 0.75$

หา f_i

$f_1 = 0 + (1 - 0) * 0.29 = 0.29$

$f_2 = 0 + (1 - 0) * 0.48 = 0.48$

$f_3 = 0 + (1 - 0) * 0.59 = 0.59$

$f_4 = 0 + (1 - 0) * 0.75 = 0.75$

หา v_i

เป็นการหาจำนวนครั้งในการสลับโดย $(x_i^t - x^*)$ มีขั้นตอนหาการสลับที่ ดังภาคผนวก ก.

$v_i^t = v_i^{t-1} + (x_i^t - x^*)\, f_i$

$v_1^1 = v_1^{1-1} + (x_1^0 - x^*)\, f_1$

$= 0 + \{[1, 2, 3, 4] - [1, 3, 2, 4]\} * 0.29$

$= 0 + (2) * 0.29$

$= 0.58 \approx 1$

$v_2^1 = v_2^{1-1} + (x_2^0 - x^*) f_2$

$= 0 + \{[1, 3, 2, 4] - [1, 3, 2, 4]\} * 0.48$

$= 0$

$v_3^1 = v_3^{1-1} + (x_3^0 - x^*) f_3$

$= 0 + \{[1, 2, 4, 3] - [1, 3, 2, 4]\} * 0.59$

$= 1.77 \approx 2$

$v_4^1 = v_4^{1-1} + (x_4^0 - x^*) f_4$

$= 0 + \{[4, 2, 1, 3] - [1, 3, 2, 4]\} * 0.75$

$= 3$

หา x_{new}

$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t$

$x_1^1 = x_1^{1-1} + v_1^1$

$= [1, 2, 3, 4] + 1$

$X_1 = [1, 3, 2, 4]$

$f(x_1) = 9$

$x_2^1 = x_2^{1-1} + v_2^1$

$= [1, 3, 2, 4] + 0$

$X_2 = [1, 3, 2, 4]$

$f(x_2) = 9$

$x_3^1 = x_3^{1-1} + v_3^1$

$= [1, 2, 4, 3] + 2$

$X_3 = [1, 3, 4, 2] \longrightarrow [1, 3, 2, 4]$

$f(x_3) = 9$

$x_4^1 = x_4^{1-1} + v_4^1$

$= [4, 2, 1, 3] + 3$

$X_4 = [4, 1, 2, 3] \longrightarrow [1, 4, 2, 3] \longrightarrow [1, 3, 2, 4]$

$f(x_4) = 9$

หมายเหตุ เครื่องหมาย + ไม่ได้หมายถึงการบวกในทางคณิตศาสตร์

เครื่องหมาย + - หมายถึงจำนวนครั้งในการสลับตำแหน่งของเครื่องจักร

ค่า A ที่ได้จากการสุ่ม

$A_1^1 = 1.6$

$A_2^1 = 1.32$

$A_3^1 = 1.37$

$A_4^1 = 1.48$

เงื่อนไขถ้าค่า Rand $< A_i$ & $f(x_i) < f(x^*)$ ให้ยอมรับ New Solution

ถ้ากำหนด $A_i = 1.5$

$A_1^1 = 1.6 > A_i = 1.5$, $f(x_1) = 9 = f(x^*) = 9$

Accept x^*

$A_2^1 = 1.32 < A_i = 1.5$, $f(x_2) = 9 = f(x^*) = 9$

Accept x_2

$A_3^1 = 1.37 < A_i = 1.5$, $f(x_3) = 9 = f(x^*) = 9$

Accept x_3

$A_4^1 = 1.48 < A_i = 1.5$, $f(x_4) = 9 = f(x^*) = 9$

Accept x_4

3.3 ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำแบทอัลกอริทึมมาใช้ในการหาคำตอบ

โปรแกรมถูกพัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อผู้ใช้ได้ดี

3.4 การทดสอบและการแก้ไขโปรแกรม

ทำการทดสอบเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดจากการหาคำตอบของการใช้โปรแกรม Tcl and the Tk ที่นำเอาแบทอัลกอริทึมมาใช้ในการหาคำตอบที่ถูกต้อง

3.5 ออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม

ทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าของประชาการค้างคาวที่ใช้ในการหาคำตอบที่เป็นไปได้และมีค่าที่ดีที่สุด

3.6 วิเคราะห์ผลการทดลองทางสถิติ

ทำการวิเคราะห์เพื่อหาข้อมูลที่เป็นไปได้ และได้ผลยอมรับออกมาเป็นค่าที่ดีที่สุดจากจำนวนประชากรที่มีการสุ่มค่าในการหาคำตอบ

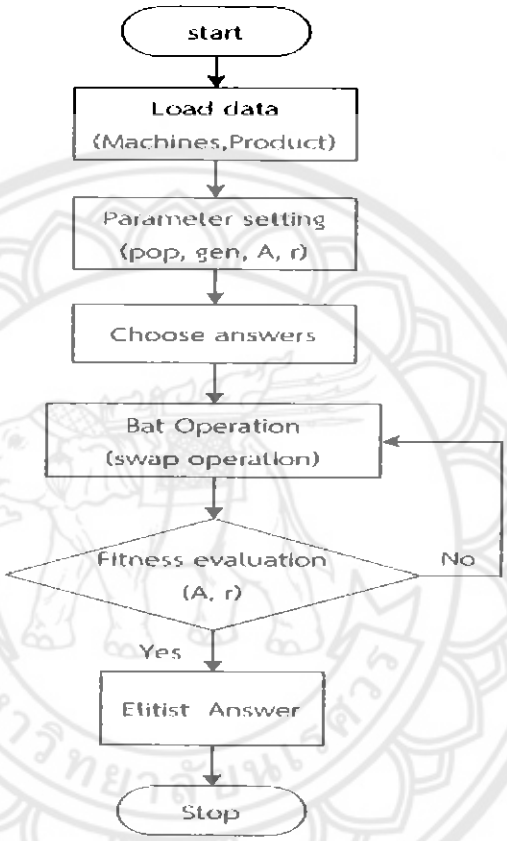
3.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ทำการสรุปผลการทดลองที่ได้เพื่อเปรียบเทียบกับผลงานวิจัยชิ้นอื่นๆ ที่มีหลักการและโจทย์ปัญหาเดียวกันเพื่อหาอัลกอริทึมที่ดีที่สุดสำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

4.1 การประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมในการจัดเรียงเครื่องจักร

4.1.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึม



รูปที่ 4.1 แสดงการประยุกต์ใช้แบทอัลกอริทึมในการทดลอง

4.1.1.1 นำเข้าข้อมูลโจทย์ปัญหาจากแฟ้มข้อมูลเครื่องจักรและข้อมูลผลิตภัณฑ์

4.1.1.2 ทำการกำหนดค่าของตัวแปร ได้แก่

ก. กำหนดขนาดของประชากร (Population : Pop) โดยที่ค้างคาว 1 ตัวแทนคำตอบของการจัดเรียงเครื่องจักร 1 คำตอบ

ตัวอย่างเช่น

1, 2, 3, 4, 5 คือ คำตอบของการจัดเรียงเครื่องจักร 1 คำตอบ เท่ากับจำนวนค้างคาว 1 ตัว

ข. กำหนดจำนวนรุ่น (Number of Generations : Gen)

ค. กำหนดค่าความดังของเสียง (Loudness : A)

ง. กำหนดค่าคลื่นเสียง (Pulse Rate : r)

4.1.1.3 ทำการเลือกค่าคำตอบที่ดีที่สุดจากข้อมูลที่ได้จากการนำเข้าข้อมูล และการกำหนดค่าของตัวแปร

4.1.1.4 เมื่อได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจะนำค่าคำตอบนั้นเข้าสู่กระบวนการของแบทอัลกอริทึม

4.1.1.5 ในขั้นตอนของกระบวนแบทอัลกอริทึมนั้น ขั้นตอนการทำงานตามหลักการได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 (รูปที่ 3.1) จะมีการทำการสลับค่าโดยวิธีการของ Swap Operator (ภาคผนวก ก.)

4.1.1.6 เมื่อได้ค่าของคำตอบจากการเข้ากระบวนการของแบทอัลกอริทึมแล้ว ขั้นต่อมาจะเป็นการเลือกค่าของคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าค่าคำตอบที่ได้ออกมาเมื่อเทียบกับค่าของคำตอบเดิมในข้อที่ 4.1.1.3 เป็นคำตอบที่ดีกว่า คือ คำตอบมีค่าที่น้อยกว่าเดิม ก็จะถือว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุด ถ้าค่าของคำตอบที่ได้ออกมามีค่าที่มากกว่าเดิม จะถือว่าค่าคำตอบที่ได้จากข้อที่ 4.1.1.3 เป็นคำตอบที่ดีที่สุด และถ้าค่าของคำตอบที่ได้ออกมา มีค่าของคำตอบที่น้อยกว่าคำตอบที่ได้จากข้อ 4.1.1.3 มากกว่า 1 คำตอบก็จะนำคำตอบที่ได้เข้าสู่กระบวนการของแบทอัลกอริทึมอีกครั้ง

4.1.1.7 เมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดจากกระบวนการก็จะถือว่าเป็นการสิ้นสุดของกระบวนการของแบทอัลกอริทึม

4.1.2 โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

จากตารางที่ 3.1 แสดงโจทย์ที่ใช้ในการทดลองมีจำนวน 4 ชุด รายละเอียดของการใช้เครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์ ทางผู้ศึกษาได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 (ตารางที่ 3.2)

4.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม

4.2.1 ขนาดของประชากรค้างคาว (Population Size : Pop) คือ จำนวนของประชากรค้างคาวที่มีการปล่อยเพื่อหาระยะทางระหว่างของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง โดยที่ค้างคาว 1 ตัว แทนจำนวนการจัดเรียงเครื่องจักร 1 คำตอบ

4.2.2 จำนวนรุ่น (Number of Generations : Gen) คือ จำนวนครั้งต่อการวนรอบของโปรแกรม

4.2.3 ค่าความดังของเสียง (Loudness : A) คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มโดยค่าเสียงจะอยู่ในช่วง [1, 2] ซึ่งค่าการสุ่มของเสียงจะมีผลเมื่อค่าคำตอบที่ได้มีค่าคำตอบที่ดีมากกว่า 1 ค่าคำตอบ

4.2.4 ค่าคลื่นเสียง (Pulse Rate : r) คือ ค่าที่ได้จากการสุ่มโดยค่าเสียงจะอยู่ในช่วง [0, 1] ซึ่งค่าการสุ่มของคลื่นจะมีผลเมื่อค่าคำตอบที่ได้มีค่าคำตอบที่ดีมากกว่า 1 ค่าคำตอบ

4.3 ส่วนของโปรแกรม

จากการศึกษาทฤษฎีของวิธีการแบทอัลกอริทึม แล้วนำมาพัฒนาเป็นโปรแกรมสำหรับการจัดผังเครื่องจักรที่ให้ค่าคำตอบของระยะทางการเคลื่อนของรถขนถ่ายอัตโนมัติที่เหมาะสมนั้น ตัวโปรแกรมประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก นั้นคือ ส่วนของข้อมูลนำเข้า ส่วนการประมวลผล และส่วนของข้อมูลนำออก ซึ่งได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 3 โดยรูปแบบของส่วนต่างๆ มีลักษณะดังนี้

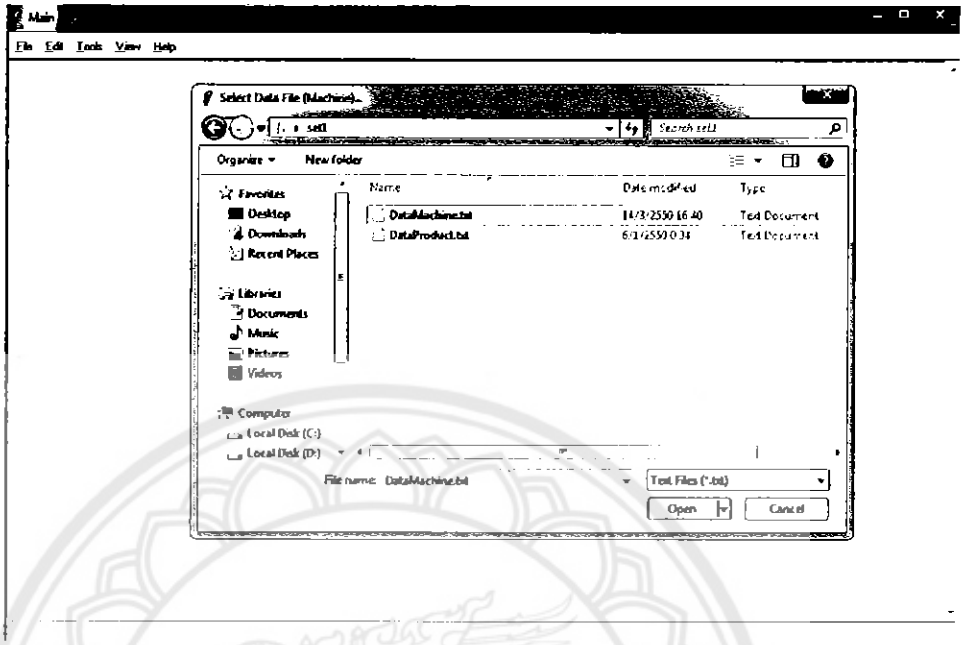
4.3.1 ข้อมูลการนำเข้า (Input Data)

4.3.1.1 การนำเข้าแฟ้มข้อมูล

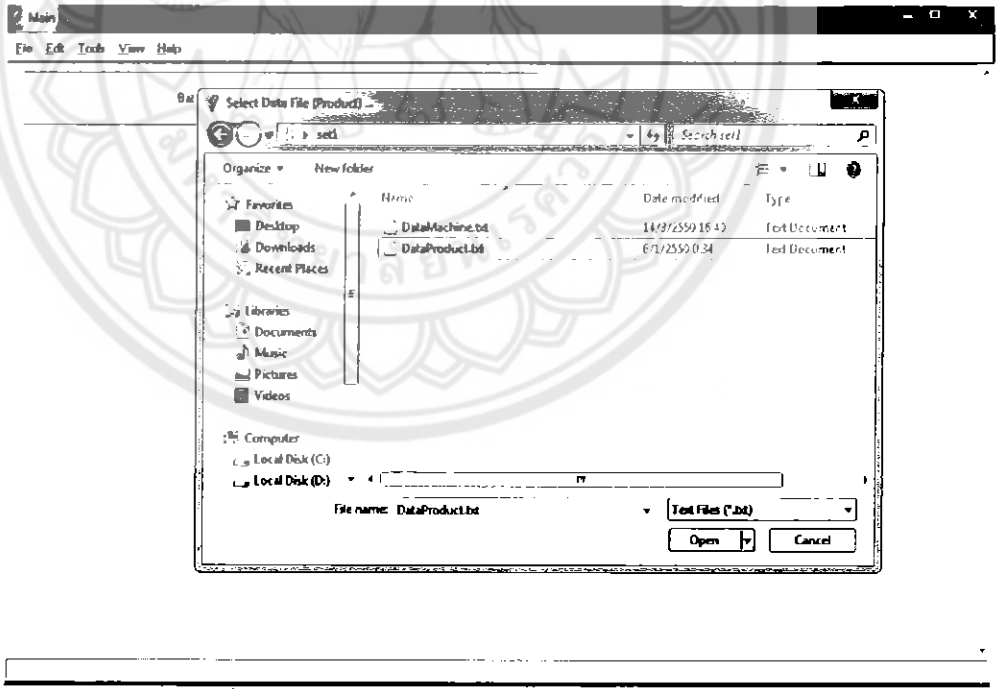
รูปที่ 4.2 ข้อมูลของระยะทางของเครื่องจักร และข้อมูลการใช้เครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์

รูปแบบแฟ้มข้อมูลนำเข้า เป็นแฟ้มข้อมูลที่มีค่าระยะทางระหว่างเครื่องจักร และการใช้เครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์

4.3.1.2 วิธีการนำเข้าแฟ้มข้อมูล



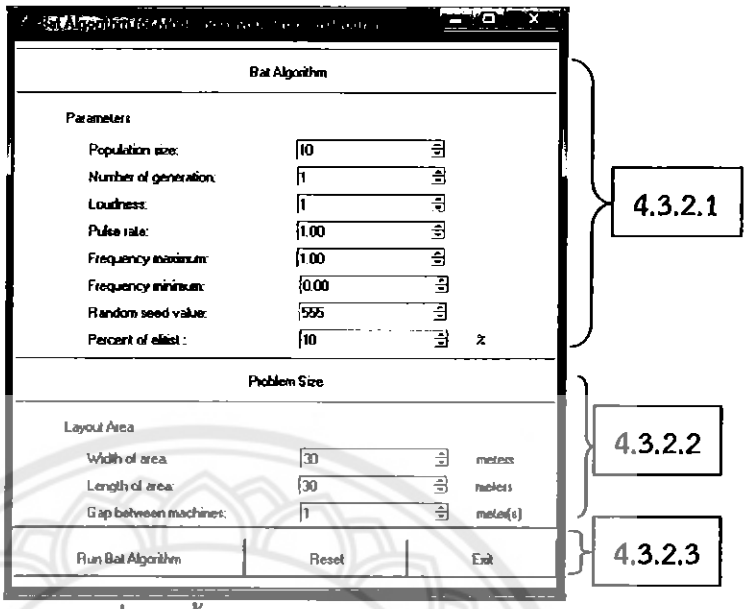
รูปที่ 4.3 การนำเข้าข้อมูลเครื่องจักร (Machine Data)



รูปที่ 4.4 การนำเข้าข้อมูลผลิตภัณฑ์ (Product Data)

วิธีการนำเข้าข้อมูลจากแฟ้มข้อมูล เพื่อนำเข้าสู่ในหน้าของ Main Program เพื่อการประมวลผลระยะทางที่เหมาะสมที่สุดในการวางผังเครื่องจักร

4.3.2 การประมวลผล (Processing)



รูปที่ 4.5 ขั้นตอนการกรอกค่าพารามิเตอร์

ขั้นตอนการกรอกค่าพารามิเตอร์ ให้คลิกไปที่ Tools จึงทำการเลือกที่ปุ่ม Run Bat Alogorithm โปรแกรมจะทำการประมวลผลออกมา ขั้นตอนนี้ผู้ใช้จะต้องทำการเลือกกรอกค่าที่ต้องการในการกำหนดการประมวลผล โดยสามารถกรอกค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด และสามารถเลือกกำหนดความกว้าง ความยาว ความสูง ของพื้นที่ในการประมวลผล เมื่อทำการกรอกค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดเรียบร้อย

4.3.2.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกอริทึม ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นจะต้องถูกกำหนดให้โปรแกรมสามารถทำงานได้ โดยมีคำอธิบายวิธีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังนี้

ก. Population Size การกำหนดค่าต้องทำการกำหนดให้เป็นจำนวนเต็มบวก เช่น กำหนดไว้ที่ 10 หมายความว่าจะมีจำนวนประชากรเท่ากับ 10 ตัวต่อการทำงานใน 1 รอบ

ข. Number of Generations การกำหนดค่านี้จะแสดงถึงจำนวนรุ่นที่ต้องการให้ค้างคาวค้นหาคำตอบ และทำให้ทราบว่าจำนวนรอบการทำงานโปรแกรมโดยการกำหนดค่านั้นจะต้องเป็นเลขจำนวนเต็มบวก เช่น ถ้ากำหนดไว้ 1 หมายความว่าจะมีรอบการทำงานเท่ากับ 1 รอบในการทำงาน และเมื่อสิ้นสุดรอบที่ 1 โปรแกรมจะสิ้นสุดการทำงาน

ค. Loudness การกำหนดค่านี้จะแสดงถึงการปรับปรุงเรื่องค่าของคำตอบค่านี้จะต้องเป็นค่าจำนวนจริงบวกที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 1 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 2

ง. Pulse Rate การกำหนดค่านี้จะแสดงถึงการปรับปรุงค่าของคำตอบเช่นเดียวกับ Loudness จะต้องเป็นค่าจำนวนจริงบวกที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 และน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1

จ. Frequency Maximum การกำหนดค่านี้จะแสดงถึงค่าของความถี่ในการปรับปรุงค่าที่มีค่ามากที่สุด ค่านี้จะต้องมีค่าเท่ากับ 1

ฉ. Frequency Minimum การกำหนดค่านี้จะแสดงถึงค่าของความถี่ในการปรับปรุงค่าที่มีค่าน้อยที่สุด ค่านี้จะต้องมีค่าเท่ากับ 0

ช. Random Seed Value การกำหนดค่านี้จะมีความสัมพันธ์เกี่ยวกับประสิทธิภาพในการหาค่าตอบของแบทอัลกอริทึม โดยการสุ่มชุดหนึ่งจะให้ค่าเหมือนเดิมทุกครั้ง เมื่อใช้หมายเลขเดิม ซึ่งในโปรแกรมมีการกำหนดค่าการสุ่มที่แน่นอน ทำให้การประมวลในแต่ละครั้งที่กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ รวมถึงหมายเลขการสุ่มด้วยค่าเดิม จะให้ผลลัพธ์ที่มีค่าเท่าเดิม

4.3.2.2 การกำหนดค่าสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

ก. การกำหนดพื้นที่สำหรับวางเครื่องจักร แบ่งได้ 2 ค่า คือ Width of Area (ความกว้าง) และ Length of Area (ความยาว) มีหน่วยเป็นเมตร จะบอกให้ทราบว่ามีพื้นที่เพียงพอสำหรับเครื่องจักรทั้งหมดหรือไม่

ข. Gap Between Machines การกำหนดระยะห่างระหว่างเครื่องจักร เพื่อเว้นช่องว่างไว้ให้รถขนถ่ายวัสดุแบบอัตโนมัติเดินทาง และขนถ่ายผลิตภัณฑ์ มีหน่วยเป็นเมตร ในที่นี้กำหนดค่าเบื้องต้นไว้เท่ากับ 1 เมตร

4.3.2.3 ส่วนของปุ่มต่างๆ มีไว้เพื่อสั่งงานตามรายละเอียดที่ได้ระบุอยู่ตามปุ่มนั้นๆ โดยโปรแกรมนี้จะมีอยู่ทั้งสิ้น 4 ปุ่ม ดังรูปที่ 4.6

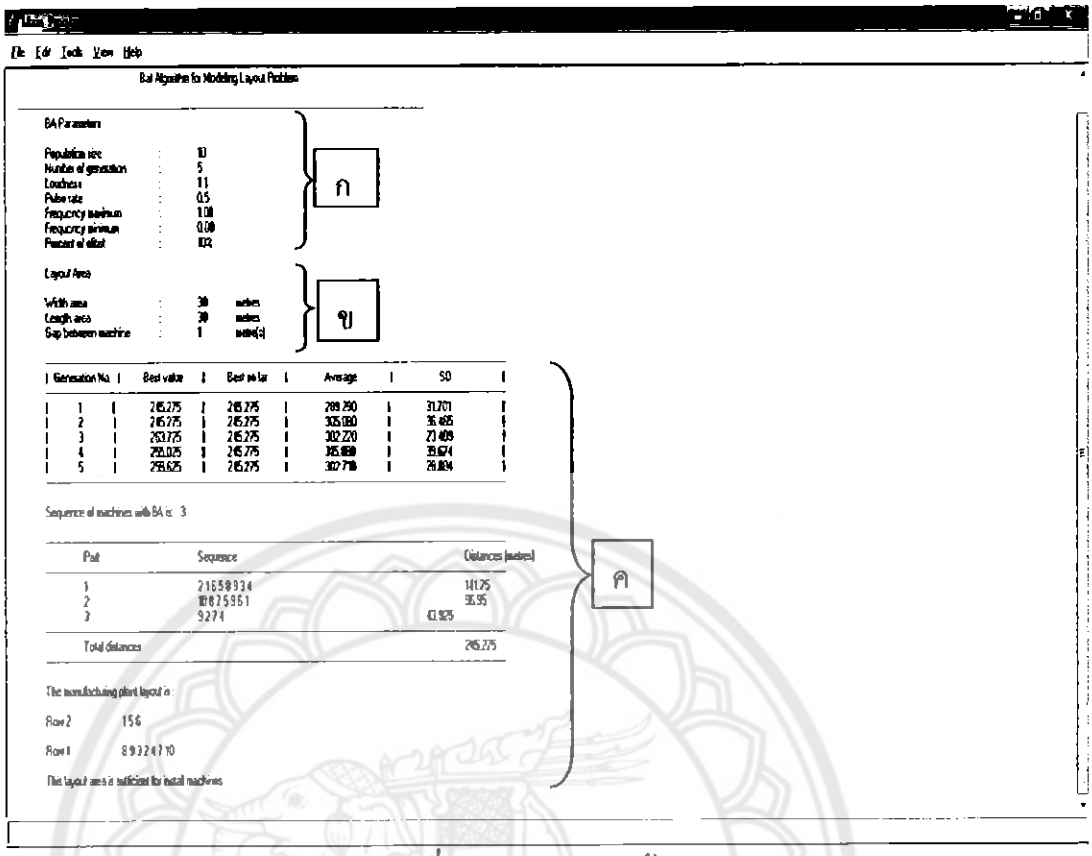
4.3.3 ข้อมูลนำออก (Output Data)

4.3.3.1 หน้าจอแสดงผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ก. แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์

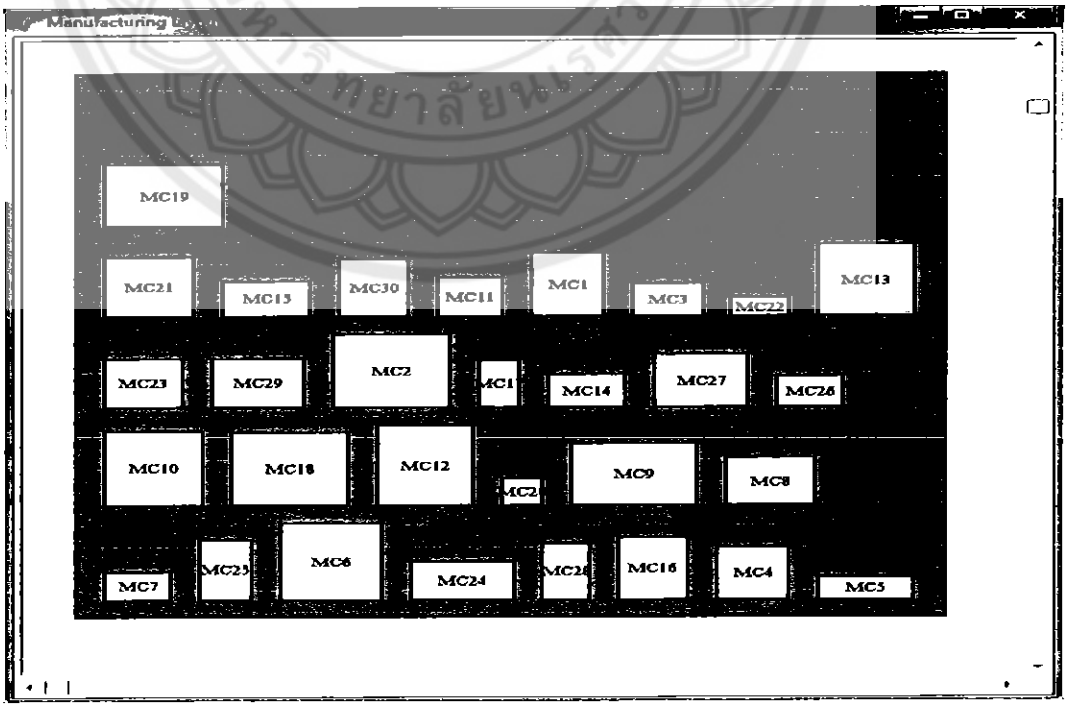
ข. แสดงการกำหนดค่าของปัญหา

ค. แสดงส่วนของผลลัพธ์ที่ได้



รูปที่ 4.6 แสดงผลของข้อมูล

4.3.3.2 หน้าจอแสดงผลแบบรูปภาพ



รูปที่ 4.7 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค

4.4 ปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง

จากการทดลองในการนำแบทอัลกอริทึม มาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยเลือกใช้กลุ่มตัวอย่างข้อมูลชุดที่ 4 (ที่นำเสนอในบทที่ 3 ข้อ 3.1) เพื่อทำการศึกษาและทดสอบ เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบ (Screening Experiment) ต่อการทำงานของ BA เกี่ยวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ (Population Size, Number of Generation, Loudness, Rate of Pulse Emission) ซึ่งผลการทดลองจะนำไปวิเคราะห์ทางสถิติ และทำการอภิปรายผล

การทดลองจะมีการทดสอบโปรแกรมเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ และกระบวนการทำงานของแบทอัลกอริทึม ที่เหมาะสมประกอบด้วย ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความดังของเสียง (Loudness) และคลื่นเสียง (Rate of Pulse Emission: r_i) ซึ่งจะทำการทดสอบกับกลุ่มตัวอย่างของข้อมูลชุดที่ 4 การทดลองมีการทำซ้ำ (Replications) 30 ครั้ง โดยแต่ละครั้งจะมีการสุ่มค่าที่แตกต่างปัจจัยและระดับที่ใช้ในการทดลอง (แสดงตารางที่ 4.1)

ตารางที่ 4.1 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ (level)	ค่า (Values)		
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น	3	25/100	50/50	100/25
ความดังของเสียง	3	1.1	1.5	1.9
คลื่นเสียง	3	0.1	0.5	0.9

จากตารางที่ 4.2 ปัจจัยที่นำมาศึกษาและทดสอบในการทดลองมีทั้งหมด 3 ปัจจัยดังนี้

ปัจจัยที่ 1 ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen) กำหนดขนาดของประชากรอ้างอิงข้อมูลจากปริญญานิพนธ์ของ นางสาวพัชราภรณ์ อริยะวงษ์ (2550) โดยกำหนดให้ขนาดของประชากรโดยรวมมีจำนวนเท่ากัน คือ 2500 ตัว แบ่งเป็น 3 ระดับ คือ 25/100, 50/50 และ 100/25 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 2 ความดังของเสียงในการปรับค่าทิศทาง (Loudness) ได้ทำการกำหนดค่าเพื่อให้เกิดความครอบคลุม แบ่งออกเป็น 1.1, 1.5 และ 1.9 ตามลำดับ

ปัจจัยที่ 3 คลื่นเสียงในการหาทิศทาง (Rate of Pulse Emission) ได้ทำการกำหนดค่าให้ครอบคุลม แบ่งออกเป็น 0.1, 0.5 และ 0.9 ตามลำดับ

จากปัจจัยและระดับของการทดลอง ใช้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Design: FD) จะทำการทดสอบทั้งสิ้น 27 การทดลอง โดยทำการทดสอบซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการซุ่ม (Random Seed) ที่ต่างกัน ดังนั้นจำนวนการทดลองทั้งหมดจึงเป็น 137 ครั้ง

4.5 ผลการทดลอง

จากผลการทดลองรันทั้งหมด ชุดละ 30 ครั้ง (แสดงดังตารางในภาคผนวก ข.) ตามปัจจัยที่กำหนดไว้ และจำนวนที่ให้ในการสุ่ม (Random) ทั้งหมด 30 หมายเลข คือ 11, 22, 33, 44, 55, 66, 77, 88, 99, 101, 102, 103, 111, 200, 222, 300, 333, 400, 444, 500, 555, 600, 666, 700, 777, 800, 888, 900, 999 และ 1010 ตามลำดับ

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ คือ โปรแกรม Minitab 14 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบการจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA : General Linear Model) โดยจะทำการพิจารณาให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่พบ (ระยะทางในการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุอัตโนมัติที่น้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะมีการพิจารณาแค่ผลกระทบของปัจจัยหลัก (Main Factor) ทั้ง 3 ปัจจัยเท่านั้น ดังตารางที่ 4.1

4.5.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

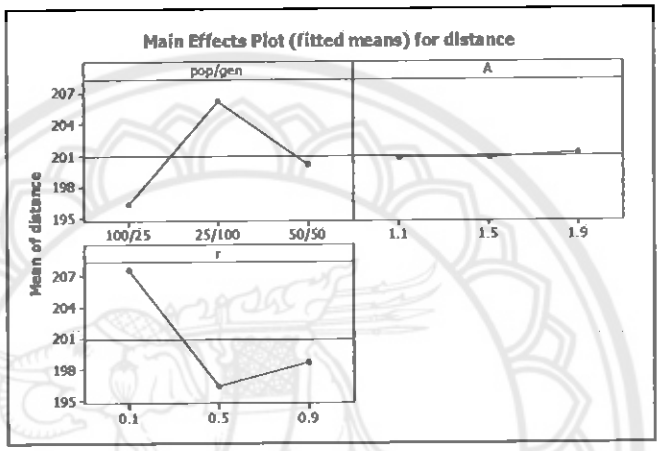
จากการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ (ตารางที่ 4.3 – 4.5) เมื่อพิจารณาค่าที่ได้แต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความดังของเสียง (Loudness), อัตราการสะท้อนกลับของเสียง (Rate of Pulse Emission) และหมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) มีความสำคัญทางสถิติ ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ซึ่งได้ผลการทดลองจากข้อมูลทั้งหมด 5 ชุด ในตารางที่ 3.2 และ ตารางในภาคผนวก ก. ดังนี้

4.5.1.1 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 1

ตารางที่ 4.2 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 1

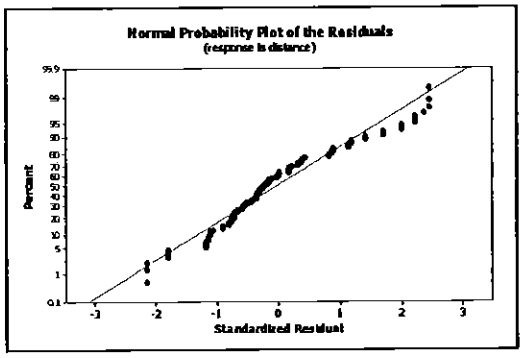
Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/gen	2	2,238.02	1,119.01	11.53	0.000
% A	2	6.67	3.34	0.03	0.966
% r	2	3,177.68	1,588.84	16.38	0.000
Pop/gen*A	4	13.40	3.35	0.03	0.998
Pop/gen*r	4	2,315.01	578.75	5.96	0.000
A*r	4	13.40	3.35	0.03	0.998
Pop/gen*A*r	8	26.74	3.34	0.03	1.000
Error	108	10,479.01	97.03		
Total	134	18,269.93			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ค่าคลื่นเสียง (r) และ Pop/Gen*r มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนค่าความดังของเสียง (A), Pop/Gen*A, A*r และ Pop/Gen*A*r นั้น พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

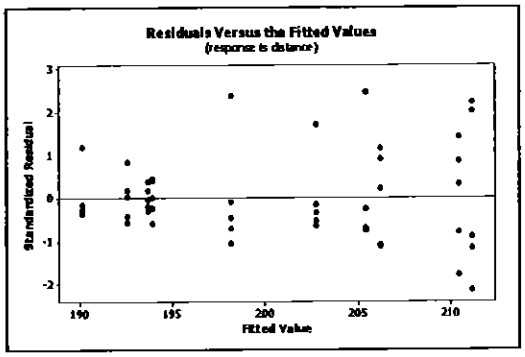


รูปที่ 4.8 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1

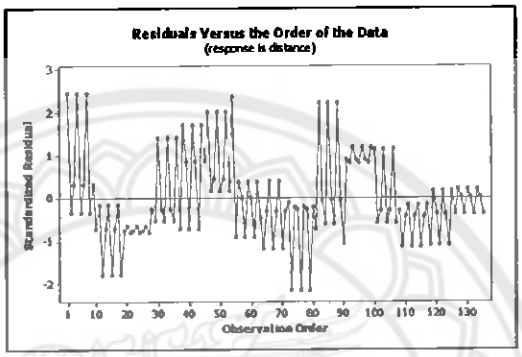
จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัย (Main Effect Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 100/25 ค่าความดังของเสียง (A) ที่ระดับต่ำ คือ 1.1 และค่าคลื่นเสียง (r) ที่ระดับต่ำ คือ 0.5



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.9 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 1
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.9 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.9 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

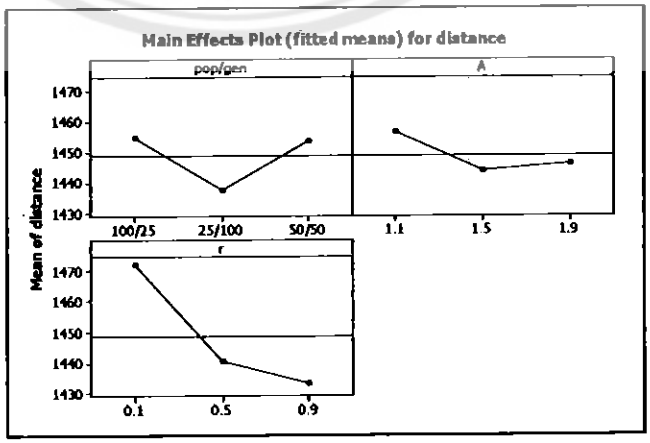
จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.9 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

4.5.1.2 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 2

ตารางที่ 4.3 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 2

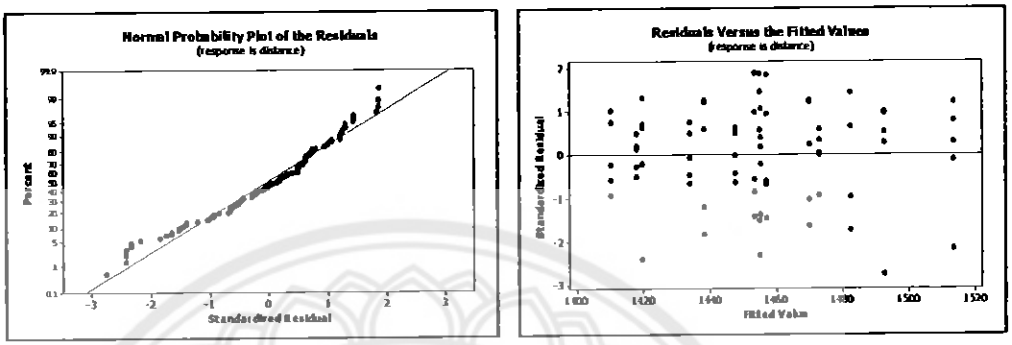
Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/gen	2	8,487	4,243	0.42	0.657
% A	2	4,149	2,074	0.21	0.814
% r	2	38,684	19,342	1.92	0.151
Pop/gen*A	4	2,354	588	0.06	0.994
Pop/gen*r	4	9,312	2,328	0.23	0.920
A*r	4	4,506	1,127	0.11	0.978
Pop/gen*A*r	8	18,568	2,321	0.23	0.984
Error	108	1,085,857	10,054		
Total	134	1,171,915			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ที่มีค่าน้อยกว่าหรือเท่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ค่าความดังของเสียง (A), ค่าคลื่นเสียง (r), Pop/Gen*A, Pop/Gen*r, A*r และ Pop/Gen*A*r นั้น พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

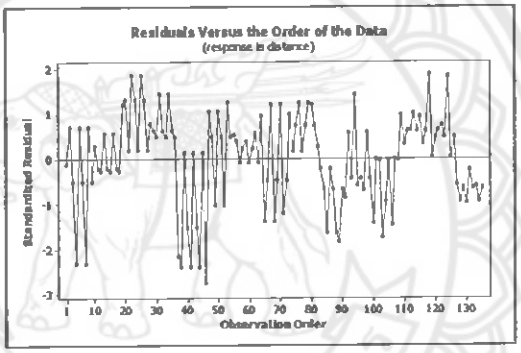


รูปที่ 4.10 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2

จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัย (Main Effect Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100 ค่าความดังของเสียง (A) ที่ระดับต่ำ คือ 1.5 และค่าคลื่นเสียง (r) ที่ระดับต่ำ คือ 0.9



(ก) (ข)



(ค)

รูปที่ 4.11 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 2
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.11 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.11 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

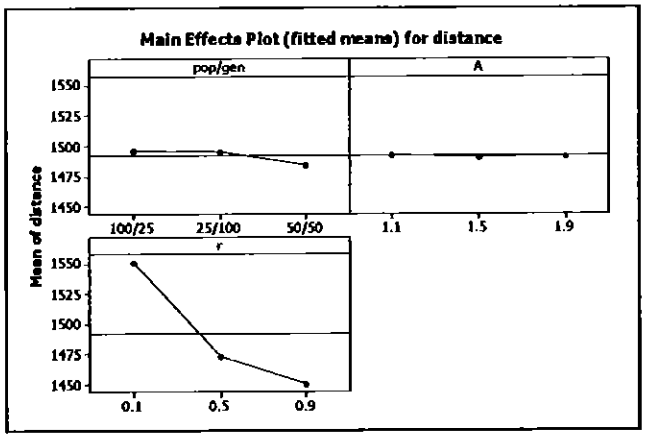
จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.12 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

4.5.1.3 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 3

ตารางที่ 4.4 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 3

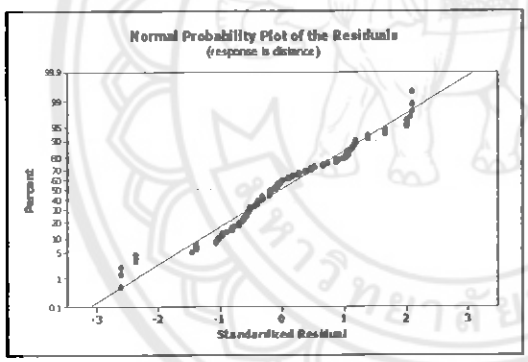
Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/gen	2	3,937	1,969	1.18	0.312
% A	2	54	27	0.02	0.984
% r	2	250,916	125,458	75.02	0.000
Pop/gen*A	4	190	47	0.03	0.998
Pop/gen*r	4	16,031	4,008	2.40	0.055
A*r	4	190	47	0.03	0.998
Pop/gen*A*r	8	297	37	0.02	1.000
Error	108	180,604	1,672		
Total	134	452,218			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ค่าคลื่นเสียง (r) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ค่าความดังของเสียง (A), Pop/Gen*A, Pop/Gen*r, A*r และ Pop/Gen*A*r นั้น พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

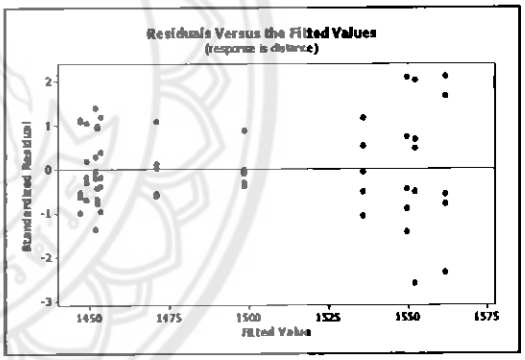


รูปที่ 4.12 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3

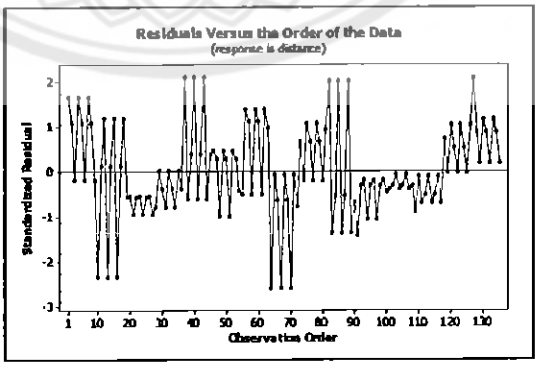
จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัย (Main Effect Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 50/50 ค่าความดังของเสียงเสียง (A) ที่ระดับต่ำ คือ 1.5 และคลื่นเสียง (r) ที่ระดับต่ำ คือ 0.9



(ก)



(ข)



(ค)

รูปที่ 4.13 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 3

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.13 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.13 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.13 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

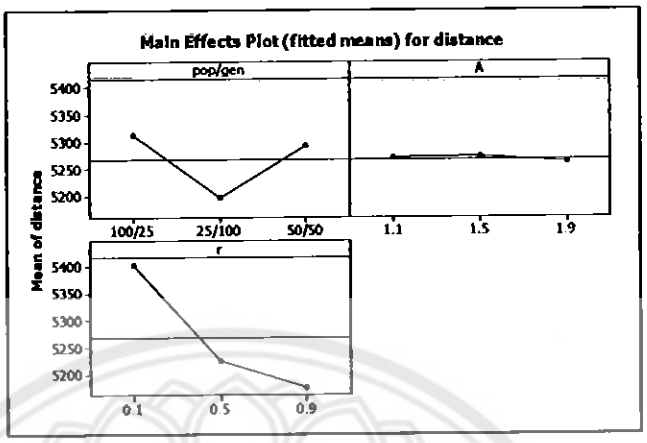
4.5.3.4 ผลการทดลองชุดที่ 4

ตารางที่ 4.5 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 4

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/gen	2	352,199	176,099	12.23	0.000
% A	2	2,214	1,107	0.08	0.926
% r	2	1,281,588	640,794	44.50	0.000
Pop/gen*A	4	2,493	623	0.04	0.996
Pop/gen*r	4	32,543	8,136	0.56	0.689
A*r	4	3,986	996	0.07	0.991
Pop/gen*A*r	8	4,690	586	0.04	1.000
Error	108	1,555,267	14,401		
Total	134	3,234,981			

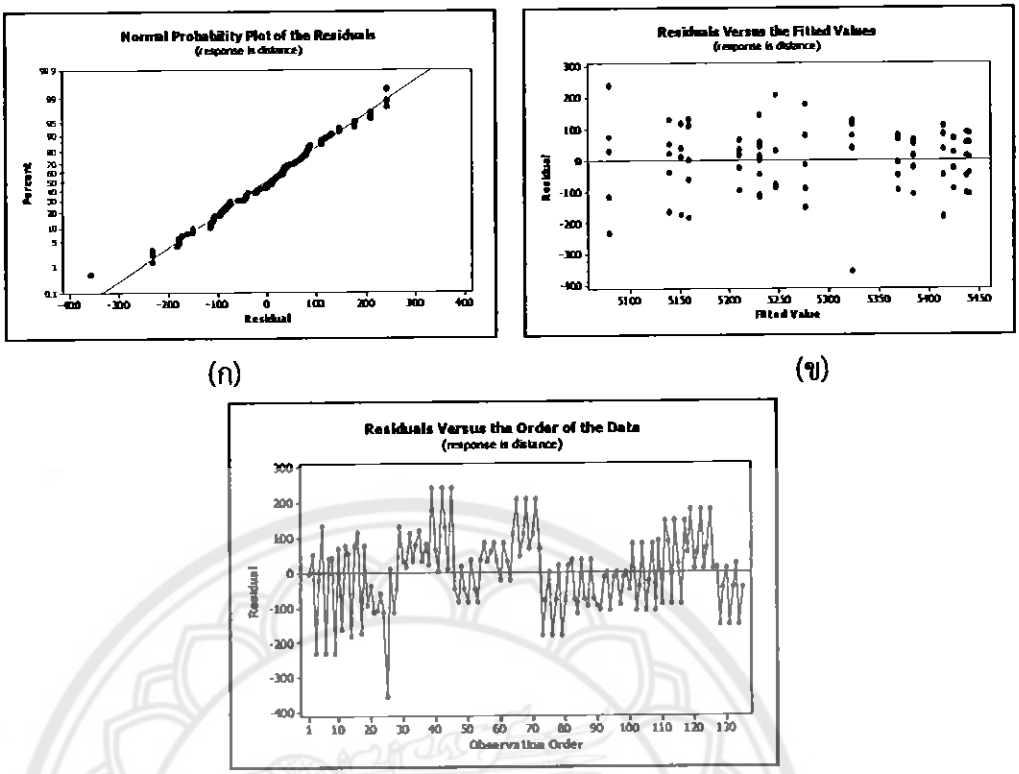
จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น และค่าคลื่นเสียง (r) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

ส่วนค่าความดังของเสียง (A), Pop/Gen*A, Pop/Gen*r, A*r และ Pop/Gen*A*r นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.14 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4

จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัย (Main Effect Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100 ค่าความดังของเสียง (A) ที่ระดับต่ำ คือ 1.9 และค่าคลื่นเสียง (r) ที่ระดับต่ำ คือ 0.9



(ก) (ข)

(ค)

รูปที่ 4.15 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 4
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.15 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.15 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

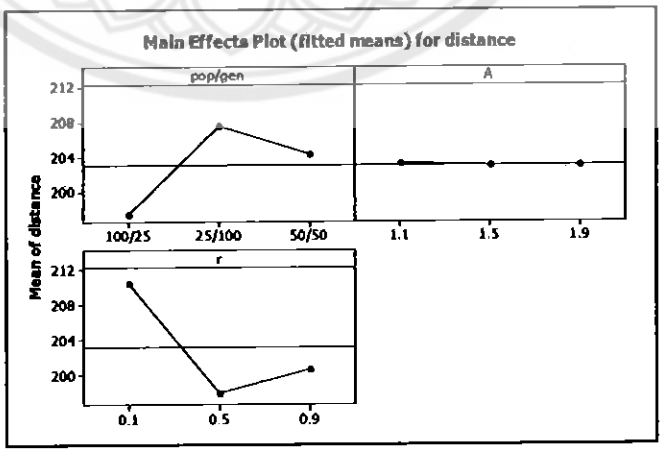
จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.15 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

4.5.3.5 ผลการทดลองชุดที่ 5

ตารางที่ 4.6 แสดงการวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองข้อมูลชุดที่ 5

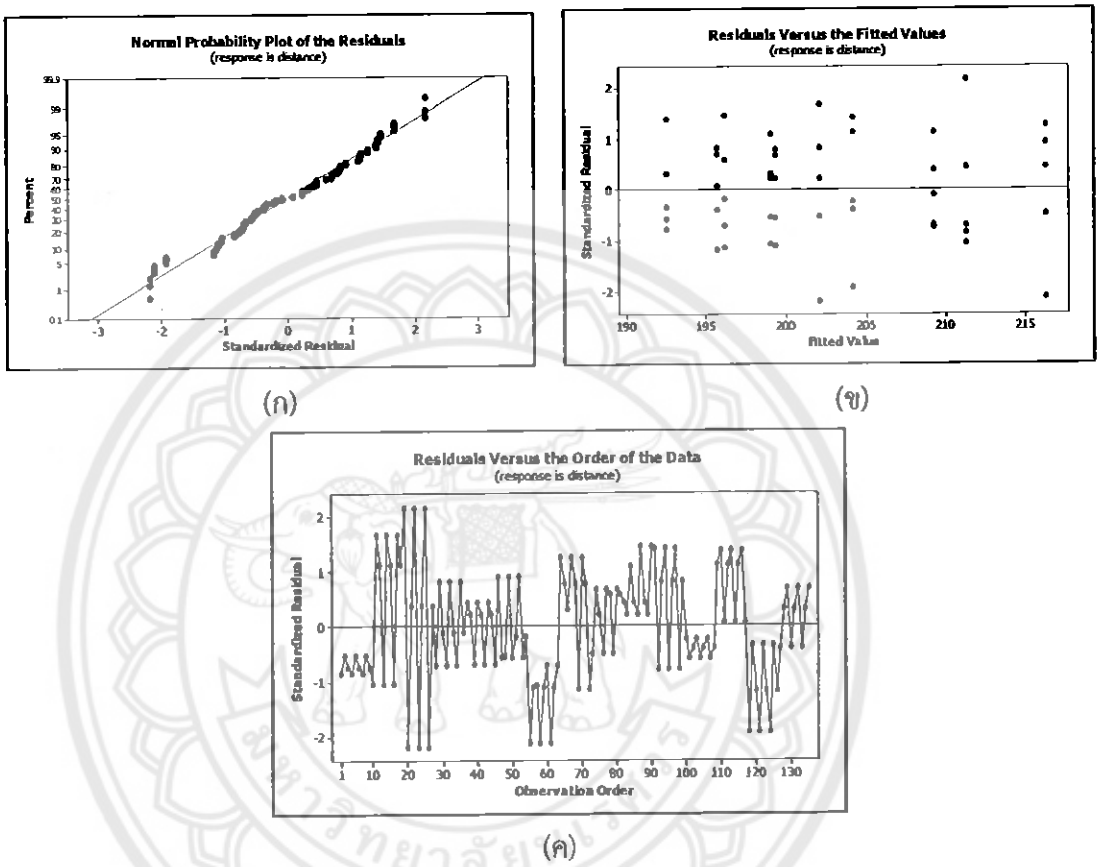
Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/gen	2	2,383.79	1,191.89	15.42	0.000
% A	2	3.01	1.50	0.02	0.981
% r	2	3,949.75	1,974.88	25.55	0.000
Pop/gen*A	4	6.02	1.50	0.02	0.999
Pop/gen*r	4	1,134.74	283.69	3.67	0.008
A*r	4	6.02	1.50	0.02	0.999
Pop/gen*A*r	8	12.03	1.50	0.02	1.000
Error	108	8,346.98	77.29		
Total	134	15,842			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น, ค่าคลื่นเสียง (r) และ Pop/Gen*r มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่า 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นส่วนค่าความดังของเสียง (A), Pop/Gen*A, A*r และ Pop/Gen*A*r นั้น พบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.16 กราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 5

จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัย (Main Effect Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 100/25 ค่าความดังของเสียง (A) ที่ระดับต่ำ คือ 1.9 และค่าคลื่นเสียง (r) ที่ระดับต่ำ คือ 0.5



รูปที่ 4.17 กราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ของข้อมูลชุดที่ 4

(ง) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(จ) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

(ฉ) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าความผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.17 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.17 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

ความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.17 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลรอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

4.6 การเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างโจทย์ข้อมูลชุดที่ 1 และโจทย์ชุดที่ 5

ตารางที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของโจทย์ชุดที่ 1 และโจทย์ชุดที่ 5

ข้อมูล	Parameter setting		
	Pop/Gen	A	r
ชุดที่ 1	100/25	1.1	0.5
โจทย์เพิ่มเติม	100/25	1.9	0.5

จากตารางที่ 4.7 จากข้อมูลชุดที่ 1 และชุดที่ 5 ซึ่งมีขนาดของข้อมูลเท่ากันแต่มีลำดับการใช้เครื่องจักรที่แตกต่างกันจะทำให้ค่าพารามิเตอร์ในส่วนของค่าความดังของเสียง (A) มีความแตกต่างกัน

4.7 เปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึม

ตารางที่ 4.8 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

ข้อมูลชุดที่	BA				GA			
	Pop/gen	A	r	mean distance	Pop/gen	c	m	mean distance
1	100/25	1.1	0.5	193.8483	100/25	0.9	0.5	187.355
2	25/100	1.5	0.9	1,387.96	25/100	0.9	0.9	1,361.157
3	50/50	1.5	0.9	1,427.787	50/50	0.9	0.5	1,382.010
4	25/100	1.9	0.9	5,013.512	25/100	0.9	0.5	4,770.537

ที่มา : ปริญญานิพนธ์ของ นางสาวพัชราภรณ์ อิริยะวงศ์ (2550)

ตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบทอัลกอริทึมและเจนเนติกอัลกอริทึมที่ดีที่สุด

ข้อมูลชุดที่	BA				GA			
	Pop/gen	A	r	mean distance	Pop/gen	c	m	mean distance
1	100/25	1.1	0.5	193.8483	100/25	0.9	0.5	193.970
2	25/100	1.5	0.9	1,387.96	25/100	0.9	0.9	1,378.790
3	50/50	1.5	0.9	1,427.787	50/50	0.9	0.5	1,430.070
4	25/100	1.9	0.9	5,013.512	25/100	0.9	0.5	4,866.317

ที่มา : ปริญญานิพนธ์ของ นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา, นายสุรชิด ดีดกลิ่น (2554)

จากตารางที่ 4.9 การเปรียบเทียบผลการทดลองของแบทอัลกอริทึมกับเจนเนติกอัลกอริทึม โดยอ้างอิงข้อมูลจาก ปริญญานิพนธ์ของ นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา, นายสุรชิด ดีดกลิ่น (2554) จะเห็นได้ว่า ค่าคำตอบของระยะของแบทอัลกอริทึม มีค่าของคำตอบที่ดีกว่าของเจนเนติกอัลกอริทึมถึง 2 ชุดข้อมูล ได้แก่ ข้อมูลชุดที่ 1 และ 3

4.8 เวลาเฉลี่ยในการทดสอบโปรแกรม

ตารางที่ 4.10 แสดงเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรม

ข้อมูลชุดที่	เวลาเฉลี่ยในการทดสอบโปรแกรม (วินาที)
1	4.09
2	14.79
3	13.98
4	36.69

จากตารางที่ 4.10 เวลาที่ใช้ในการทดสอบโปรแกรมแตกต่างกันเพราะขนาดของโจทย์ที่แตกต่างกันมีผลต่อการทดสอบโปรแกรม ถ้าโจทย์ที่ใช้มีขนาดใหญ่ก็จะใช้เวลามากกว่าโจทย์ที่มีขนาดเล็ก

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

5.1.1 ศึกษากระบวนการทำงานของแบทอัลกอริทึม (BA) และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น สามารถนำกระบวนการทำงานของแบทอัลกอริทึมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นได้จริง

5.1.2 ค่าพารามิเตอร์ของแบทอัลกิริทึม (BA) ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบในแต่ละชุดข้อมูลของปัญหามีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ

ชุดข้อมูล	ปัจจัย BA
ข้อมูลชุดที่ 1	Pop/Gen, r, Pop/Gen*r
ข้อมูลชุดที่ 2	-
ข้อมูลชุดที่ 3	r
ข้อมูลชุดที่ 4	Pop/Gen และ r

5.1.3 การพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) สามารถพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้ศึกษาเฉพาะข้อมูลในตารางที่ 3.2 ในบทที่ 3 เท่านั้น

5.2.2 ในการศึกษาการจัดเรียงเครื่องจักรครั้งนี้ ไม่ได้พิจารณาถึงเวลาที่นำมาใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละชนิด

5.2.3 ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องจักรไม่สามารถหมุนได้ ซึ่งในการหมุนของเครื่องจักรสามารถนำมาศึกษาต่อได้

5.2.4 รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรมีหลายรูปแบบ เช่น การจัดเรียงเครื่องจักรแบบครึ่งวงกลม และการจัดเรียงเครื่องจักรแบบวงกลม เป็นต้น

5.2.5 ในการจัดเรียงเครื่องจักรยังสมารถนำการเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายอัตโนมัติมาเป็นเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบได้

เอกสารอ้างอิง

เชาวนี สำราญพันธ์. (2548). **การประยุกต์ใช้เจเนติกอัลกอรีทึมแก้ปัญหาการบรรจุกล่องผลิตภัณฑ์ลงในคอนเทนเนอร์.** วิทยานิพลธ์ วท.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปรเมศวร์ ธนารุณ, ปริญญา เกสร และ เรวัฒน์ ธีระแนว. **การใช้อัลกอริทึมพันธุกรรมแก้ปัญหาด้านการเดินทางของพนักงานขาย.** ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปารเมศ ชุติมา. (2544). **ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ปารเมศ ชุติมา. (2545). **การออกแบบการทดลองทางวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัชราภรณ์ อริยะวงษ์. (2550). **การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม.** การศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง วท.ม. สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศ, มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

สุรัส ตั้งไพฑูรย์. (กรกฎาคม 2547). **การเลือกทำเลที่ตั้งโรงงานและการวางผังโรงงาน**

Ficko, M., Brezocnik, M. & Balic, J. (2004). Designing the layout **of single and multiple – row flexible manufacturing system by genetic algorithms.** Journal of materials Processing Technology. 157-158(2004), 50 - 158.

Gen, M. & Cheng, R. (1997). Genetic Algorithms and Engineering Design. New York: John Wiley and Sons.

Gen, M. & Cheng, R. (1998). Loop layout design problem in flexible **manufacturing systems using genetic altorithms.** Computer ind. Engng. Vol34, 53-61.

Hick, C. (December 5, 2002). A genetic algorithm tool for designing **manufacring facilities in the capital goods industry.** International journal of production economics 78(2002), 311-322.

Xin She Yang. (2012). **Bat algorithm.** Nature-Inspired Metaheuristic Algorithms, 2nd Edition. (2010).

ภาคผนวก ก.

การสลับโดยวิธีการ Swap Operator

สมมติให้ผลเฉลยคือรูปแบบการวางของเครื่องจักรมี N เครื่อง $X = (a_i)$, $i = 1, 2, 3, ..., N$ วิธีการ Swap Operation: SO (i_1, i_2) คือการสลับเครื่องจักร a_{i1} และเครื่องจักร a_{i2} ในผลเฉลย X จะทำให้เกิดผลเฉลยใหม่ขึ้นมา โดยกำหนดให้เป็น X' (Wang, et al., 2003)

<u>ตัวอย่าง</u> $x_1^0 = \{1, 2, 3, 4\}$ $x^* = \{1, 3, 2, 4\}$

$(x_1^0 - x^*) = \{[1, 2, 3, 4] - [1, 3, 2, 4]\}$

$= 2$

โดยที่สัญลักษณ์ "-" เป็นการกระทำของ Swap Operator ที่เกิดขึ้นบนเฉลย

ข้อมูลชุดที่ 5

ตารางที่ ก.1 แสดงจำนวนผลิตภัณฑ์และลำดับความต้องการของเครื่องจักรในแต่ละการผลิต

ผลิตภัณฑ์	ลำดับการผลิตภัณฑ์
1	3 2 1 5 9 6 4 10
2	1 8 7 6 9 5 2
3	7 1 8 10

เป็นโจทย์ที่มีขนาดเท่ากันกับโจทย์ชุดที่ 1 แต่มีลำดับการผลิตที่แตกต่างกัน

ภาคผนวก ข.

ผลการทดลอง

ตารางที่ ข.1 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

Run	Parameter setting			Random seed				
				111	222	333	444	555
	Pop/gen	A	r	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	1.1	0.1	227.075	199.125	198.725	203.175	199.125
2	25/100	1.1	0.5	199.775	201.375	196.875	198.075	217.725
3	25/100	1.1	0.9	213.325	194.625	203.375	222.975	218.075
4	25/100	1.5	0.1	227.075	199.075	198.725	203.175	199.125
5	25/100	1.5	0.5	199.775	201.375	196.875	198.075	217.725
6	25/100	1.5	0.9	213.325	194.625	203.375	222.975	218.075
7	25/100	1.9	0.1	227.075	199.075	198.725	203.175	199.125
8	25/100	1.9	0.5	199.775	201.375	196.875	198.075	217.725
9	25/100	1.9	0.9	213.325	194.625	203.375	222.975	218.075
10	50/50	1.1	0.1	228.875	203.175	200.775	192.275	230.775
11	50/50	1.1	0.5	195.225	197.025	190.975	191.925	193.475
12	50/50	1.1	0.9	197.825	193.975	197.375	191.825	188.775
13	50/50	1.5	0.1	228.875	203.175	200.775	192.275	230.775
14	50/50	1.5	0.5	195.225	197.025	190.975	191.925	193.475
15	50/50	1.5	0.9	197.825	193.975	197.375	191.825	188.775
16	50/50	1.9	0.1	228.875	203.175	200.775	192.275	230.775
17	50/50	1.9	0.5	195.225	197.025	190.975	191.925	193.475
18	50/50	1.9	0.9	219.075	193.975	197.375	191.825	188.775
19	100/25	1.1	0.1	214.075	216.275	196.175	196.525	208.175
20	100/25	1.1	0.5	199.875	187.575	188.755	194.125	192.775
21	100/25	1.1	0.9	200.625	187.575	188.755	186.975	186.975
22	100/25	1.5	0.1	214.075	216.275	196.175	196.525	208.175
23	100/25	1.5	0.5	199.875	187.575	188.755	194.125	192.775
24	100/25	1.5	0.9	200.625	187.575	188.755	186.975	186.975
25	100/25	1.9	0.1	214.075	216.275	196.175	196.525	208.175
26	100/25	1.9	0.5	199.875	187.575	188.755	194.125	192.775
27	100/25	1.9	0.9	200.625	187.575	188.755	186.975	186.975

ตารางที่ ข.2 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

Run	Parameter setting			Random seed				
				111	222	333	444	555
	Pop/gen	A	r	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	1.1	0.1	1,503.45	1,539.35	1,621.7	1,584.1	1,318.5
2	25/100	1.1	0.5	1,483.1	1,400.95	1,536.15	1,475.35	1,202.85
3	25/100	1.1	0.9	1,371.85	1,392.45	1,434.55	1,461.5	1,429.8
4	25/100	1.5	0.1	1,245.9	1,505.3	1,621.7	1,584.1	1,318.5
5	25/100	1.5	0.5	1,483.1	1,400.95	1,536.15	1,475.35	1,202.85
6	25/100	1.5	0.9	1,371.85	1,392.45	1,434.55	1,461.5	1,429.8
7	25/100	1.9	0.1	1,245.9	1,505.3	1,621.7	1,584.1	1,318.5
8	25/100	1.9	0.5	1,483.1	1,400.95	1,536.15	1,475.35	1,202.85
9	25/100	1.9	0.9	1,371.85	1,392.45	1,434.55	1,461.5	1,429.8
10	50/50	1.1	0.1	1,245.9	1,539.35	1,578.5	1,581.85	1,517.75
11	50/50	1.1	0.5	1,550.4	1,490.85	1,329.8	1,470.55	1,434.9
12	50/50	1.1	0.9	1,477.8	1,425.95	1,391.6	1,500.05	1,374.05
13	50/50	1.5	0.1	1,376.75	1,490.8	1,578.5	1,581.85	1,322.45
14	50/50	1.5	0.5	1,550.4	1,490.85	1,329.8	1,470.55	1,434.9
15	50/50	1.5	0.9	1,477.8	1,425.95	1,391.6	1,500.05	1,374.05
16	50/50	1.9	0.1	1,376.75	1,490.8	1,578.5	1,581.85	1,322.45
17	50/50	1.9	0.5	1,550.4	1,490.8	1,329.8	1,546.65	1,273.35
18	50/50	1.9	0.9	1,477.8	1,425.95	1,391.6	1,500.05	1,374.05
19	100/25	1.1	0.1	1,376.75	1,325.85	1,540.85	1,621.3	1,402.65
20	100/25	1.1	0.5	1,525.05	1,472.1	1,502.1	1,476.95	1,388.95
21	100/25	1.1	0.9	1,409.0	1,445.1	1,503.6	1,491.45	1,388.95
22	100/25	1.5	0.1	1,610.0	1,325.85	1,540.85	1,540.85	1,395.15
23	100/25	1.5	0.5	1,358.35	1,325.85	1,502.1	1,476.95	1,388.95
24	100/25	1.5	0.9	1,409.0	1,445.1	1,503.6	1,491.45	1,388.95
25	100/25	1.9	0.1	1,395.15	1,325.85	1,540.85	1,621.3	1,402.65
26	100/25	1.9	0.5	1,525.05	1,472.1	1,502.1	1,476.95	1,388.95
27	100/25	1.9	0.9	1,409.0	1,445.1	1,503.6	1,491.45	1,388.95

ตารางที่ ข.3 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

Run	Parameter setting			Random seed				
				111	222	333	444	555
	Pop/gen	A	r	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	1.1	0.1	1,622.05	1,475.35	1,540.35	1,531.95	1,638.25
2	25/100	1.1	0.5	1,510.05	1,474.75	1,450.15	1,471.05	1,448.35
3	25/100	1.1	0.9	1,446.15	1,496.65	1,418.35	1,439.15	1,467.35
4	25/100	1.5	0.1	1,622.05	1,475.35	1,540.35	1,531.95	1,638.25
5	25/100	1.5	0.5	1,510.05	1,474.75	1,450.15	1,471.05	1,448.35
6	25/100	1.5	0.9	1,446.15	1,496.65	1,418.35	1,439.15	1,467.35
7	25/100	1.9	0.1	1,622.05	1,475.35	1,540.35	1,531.95	1,638.25
8	25/100	1.9	0.5	1,510.05	1,474.75	1,450.15	1,471.05	1,448.35
9	25/100	1.9	0.9	1,446.15	1,496.65	1,418.35	1,439.15	1,467.35
10	50/50	1.1	0.1	1,568.55	1,533.05	1,456.55	1,576.35	1,625.15
11	50/50	1.1	0.5	1,462.15	1,502.45	1,449.05	1,444.25	1,401.45
12	50/50	1.1	0.9	1,409.65	1,487.95	1,423.75	1,486.05	1,427.45
13	50/50	1.5	0.1	1,568.55	1,533.05	1,456.55	1,576.35	1,625.15
14	50/50	1.5	0.5	1,462.15	1,502.45	1,449.05	1,444.25	1,401.45
15	50/50	1.5	0.9	1,409.65	1,487.95	1,423.75	1,486.05	1,427.45
16	50/50	1.9	0.1	1,568.55	1,533.05	1,456.55	1,576.35	1,625.15
17	50/50	1.9	0.5	1,462.15	1,502.45	1,449.05	1,444.25	1,401.45
18	50/50	1.9	0.9	1,436.55	1,487.95	1,423.75	1,486.05	1,427.45
19	100/25	1.1	0.1	1,496.55	1,533.05	1,516.65	1,576.35	1,625.15
20	100/25	1.1	0.5	1,486.55	1,483.65	1,494.35	1,497.35	1,529.75
21	100/25	1.1	0.9	1,442.15	1,437.55	1,423.65	1,486.65	1,455.55
22	100/25	1.5	0.1	1,496.55	1,533.05	1,516.65	1,554.85	1,577.75
23	100/25	1.5	0.5	1,486.55	1,483.65	1,494.35	1,497.35	1,529.75
24	100/25	1.5	0.9	1,442.15	1,437.55	1,423.65	1,486.65	1,455.55
25	100/25	1.9	0.1	1,496.55	1,533.05	1,516.65	1,554.85	1,577.75
26	100/25	1.9	0.5	1,486.55	1,483.65	1,494.35	1,497.35	1,529.75
27	100/25	1.9	0.9	1,442.15	1,437.55	1,423.65	1,486.65	1,455.55

ตารางที่ ข.4 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

Run	Parameter setting			Random seed				
				111	222	333	444	555
	Pop/gen	A	r	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	1.1	0.1	5,363.075	5,437.025	5,273.775	5,322.275	5,448.625
2	25/100	1.1	0.5	5,190.475	4,975.975	5,099.025	5,269.675	5,160.575
3	25/100	1.1	0.9	4,846.325	5,155.525	4,964.025	5,109.875	5,321.325
4	25/100	1.5	0.1	5,363.075	5,437.025	5,273.775	5,400.925	5,448.625
5	25/100	1.5	0.5	5,290.475	4,975.975	5,099.025	5,269.675	5,160.575
6	25/100	1.5	0.9	4,846.325	5,155.525	4,964.025	5,109.875	5,321.325
7	25/100	1.9	0.1	5,363.075	5,437.025	4,964.025	5,400.925	5,448.625
8	25/100	1.9	0.5	5,190.475	4,975.975	5,160.575	5,269.675	5,160.575
9	25/100	1.9	0.9	4,846.325	5,155.525	4,964.025	5,109.875	5,321.325
10	50/50	1.1	0.1	5,367.675	5,497.225	5,524.425	5,234.025	5,448.625
11	50/50	1.1	0.5	5,161.875	5,276.875	5,455.925	5,167.025	5,170.525
12	50/50	1.1	0.9	5,244.575	5,287.875	5,276.275	5,228.225	5,113.075
13	50/50	1.5	0.1	5,367.675	5,497.225	5,524.425	5,234.025	5,448.625
14	50/50	1.5	0.5	5,161.875	5,276.875	5,455.925	5,167.025	5,170.525
15	50/50	1.5	0.9	5,244.575	5,187.825	5,276.275	5,228.225	5,113.075
16	50/50	1.9	0.1	5,367.675	5,497.225	5,524.425	5,234.025	5,448.625
17	50/50	1.9	0.5	5,161.875	5,276.875	5,455.925	5,167.025	5,170.525
18	50/50	1.9	0.9	5,244.575	5,187.825	5,276.275	5,228.225	5,113.075
19	100/25	1.1	0.1	5,330.175	5,386.175	5,524.425	5,494.175	5,448.625
20	100/25	1.1	0.5	5,260.675	5,356.575	5,185.525	5,453.875	5,124.125
21	100/25	1.1	0.9	5,228.775	5,119.675	5,376.425	5,239.875	5,187.025
22	100/25	1.5	0.1	5,330.175	5,398.525	5,524.425	5,494.175	5,448.625
23	100/25	1.5	0.5	5,260.675	5,356.575	5,185.525	5,453.875	5,124.125
24	100/25	1.5	0.9	5,228.775	5,119.675	5,376.425	5,239.875	5,187.025
25	100/25	1.9	0.1	5,330.175	5,398.525	5,448.625	5,494.175	5,448.625
26	100/25	1.9	0.5	5,260.675	5,356.575	5,185.578	5,453.875	5,124.125
27	100/25	1.9	0.9	5,228.775	5,119.675	5,376.425	5,239.875	5,187.025

ตารางที่ ข.5 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของโจทย์เพิ่มเติม

Run	Parameter setting			Random seed				
				111	222	333	444	555
	Pop/gen	A	r	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	1.1	0.1	204.6	203	228.2	205.7	214.7
2	25/100	1.1	0.5	197.95	215.3	184.9	208.5	203.9
3	25/100	1.1	0.9	203.5	218.15	212.3	208.5	203.9
4	25/100	1.5	0.1	204.6	203	228.2	205.7	214.7
5	25/100	1.5	0.5	197.95	215.3	184.9	208.5	203.9
6	25/100	1.5	0.9	203.5	218.15	212.3	208.5	203.9
7	25/100	1.9	0.1	204.6	203	228.2	205.7	214.7
8	25/100	1.9	0.5	197.95	215.3	184.9	208.5	203.9
9	25/100	1.9	0.9	203.5	218.15	212.3	208.5	203.9
10	50/50	1.1	0.1	223.4	199.6	226.2	212.5	219.8
11	50/50	1.1	0.5	194.9	190.6	205.5	204.7	201
12	50/50	1.1	0.9	194.7	190.6	201.45	200.8	207.6
13	50/50	1.5	0.1	223.4	199.6	226.2	212.5	219.8
14	50/50	1.5	0.5	194.9	190.6	205.5	204.7	201
15	50/50	1.5	0.9	194.7	190.6	187.2	200.8	207.6
16	50/50	1.9	0.1	223.4	199.6	226.2	212.5	219.8
17	50/50	1.9	0.5	194.9	190.6	205.5	204.7	201
18	50/50	1.9	0.9	194.7	190.6	187.2	200.8	207.6
19	100/25	1.1	0.1	215.3	202.35	213.1	189	201.1
20	100/25	1.1	0.5	186.4	187.9	203.4	189.8	195
21	100/25	1.1	0.9	202.1	192.6	196.2	186.4	201.1
22	100/25	1.5	0.1	215.3	202.35	213.1	189	201.1
23	100/25	1.5	0.5	186.4	187.9	203.4	189.8	195
24	100/25	1.5	0.9	202.1	192.6	196.2	186.4	201.1
25	100/25	1.9	0.1	215.3	202.35	213.1	189	201.1
26	100/25	1.9	0.5	186.4	187.9	203.4	189.8	195
27	100/25	1.9	0.9	202.1	192.6	196.2	186.4	201.1

ตารางที่ ข.6 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองชุดที่ 1

Random seed	Pop/Gen	A	r	distance
11	100/25	1.1	0.5	198.125
22	100/25	1.1	0.5	192.075
33	100/25	1.1	0.5	187.075
44	100/25	1.1	0.5	189.475
55	100/25	1.1	0.5	200.625
66	100/25	1.1	0.5	202.875
77	100/25	1.1	0.5	186.975
88	100/25	1.1	0.5	197.875
99	100/25	1.1	0.5	187.675
101	100/25	1.1	0.5	189.775
102	100/25	1.1	0.5	194.075
103	100/25	1.1	0.5	193.875
111	100/25	1.1	0.5	199.875
200	100/25	1.1	0.5	186.975
222	100/25	1.1	0.5	187.575
300	100/25	1.1	0.5	197.125
333	100/25	1.1	0.5	188.775
400	100/25	1.1	0.5	197.825
444	100/25	1.1	0.5	194.125
500	100/25	1.1	0.5	195.325
555	100/25	1.1	0.5	192.775
600	100/25	1.1	0.5	189.375
666	100/25	1.1	0.5	197.825
700	100/25	1.1	0.5	200.225
777	100/25	1.1	0.5	187.575
800	100/25	1.1	0.5	209.975
888	100/25	1.1	0.5	190.975
900	100/25	1.1	0.5	189.475
999	100/25	1.1	0.5	187.575
1010	100/25	1.1	0.5	201.575
			Average	193.8483

ตารางที่ ข.7 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองชุดที่ 2

Random seed	Pop/Gen	A	r	distance
11	25/100	1.5	0.9	1283.65
22	25/100	1.5	0.9	1401.15
33	25/100	1.5	0.9	1473.5
44	25/100	1.5	0.9	1375.5
55	25/100	1.5	0.9	1380.15
66	25/100	1.5	0.9	1250.1
77	25/100	1.5	0.9	1358.25
88	25/100	1.5	0.9	1456
99	25/100	1.5	0.9	1429.3
101	25/100	1.5	0.9	1410.7
102	25/100	1.5	0.9	1388.15
103	25/100	1.5	0.9	1473.75
111	25/100	1.5	0.9	1371.85
200	25/100	1.5	0.9	1393.35
222	25/100	1.5	0.9	1392.45
300	25/100	1.5	0.9	1449.4
333	25/100	1.5	0.9	1434.55
400	25/100	1.5	0.9	1356.5
444	25/100	1.5	0.9	1461.5
500	25/100	1.5	0.9	1381.25
555	25/100	1.5	0.9	1429.8
600	25/100	1.5	0.9	1343.8
666	25/100	1.5	0.9	1322.4
700	25/100	1.5	0.9	1441.4
777	25/100	1.5	0.9	1370.9
800	25/100	1.5	0.9	1312.65
888	25/100	1.5	0.9	1302.05
900	25/100	1.5	0.9	1432.05
999	25/100	1.5	0.9	1333.85
1010	25/100	1.5	0.9	1428.85
			Average	1387.96

ตารางที่ ข.8 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองชุดที่ 3

Random seed	Pop/Gen	A	r	distance
11	50/50	1.5	0.9	1,460.45
22	50/50	1.5	0.9	1,404.45
33	50/50	1.5	0.9	1,421.25
44	50/50	1.5	0.9	1,419.85
55	50/50	1.5	0.9	1,459.25
66	50/50	1.5	0.9	1,432.35
77	50/50	1.5	0.9	1,407.05
88	50/50	1.5	0.9	1,412.65
99	50/50	1.5	0.9	1,414.55
101	50/50	1.5	0.9	1,440.55
102	50/50	1.5	0.9	1,415.15
103	50/50	1.5	0.9	1,417.45
111	50/50	1.5	0.9	1,436.55
200	50/50	1.5	0.9	1,478.25
222	50/50	1.5	0.9	1,487.95
300	50/50	1.5	0.9	1,449.95
333	50/50	1.5	0.9	1,423.75
400	50/50	1.5	0.9	1,450.85
444	50/50	1.5	0.9	1,486.05
500	50/50	1.5	0.9	1,468.35
555	50/50	1.5	0.9	1,427.45
600	50/50	1.5	0.9	1,351.55
666	50/50	1.5	0.9	1,411.05
700	50/50	1.5	0.9	1,423.45
777	50/50	1.5	0.9	1,392.05
800	50/50	1.5	0.9	1,431.05
888	50/50	1.5	0.9	1,413.55
900	50/50	1.5	0.9	1,422.95
999	50/50	1.5	0.9	1,345.05
1010	50/50	1.5	0.9	1,428.75
			Average	1,427.787

ตารางที่ ข.9 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองชุดที่ 4

Random seed	Pop/Gen	A	r	distance
11	25/100	1.9	0.9	4,994.325
22	25/100	1.9	0.9	5,010.875
33	25/100	1.9	0.9	5,082.475
44	25/100	1.9	0.9	5,187.225
55	25/100	1.9	0.9	4,764.875
66	25/100	1.9	0.9	5,009.125
77	25/100	1.9	0.9	5,134.525
88	25/100	1.9	0.9	5,155.825
99	25/100	1.9	0.9	5,286.275
101	25/100	1.9	0.9	5,062.825
102	25/100	1.9	0.9	5,279.825
103	25/100	1.9	0.9	5,032.425
111	25/100	1.9	0.9	4,846.325
200	25/100	1.9	0.9	4,903.875
222	25/100	1.9	0.9	5,155.525
300	25/100	1.9	0.9	4,937.475
333	25/100	1.9	0.9	4,964.025
400	25/100	1.9	0.9	5,058.425
444	25/100	1.9	0.9	5,109.875
500	25/100	1.9	0.9	4,602.375
555	25/100	1.9	0.9	5,074.125
600	25/100	1.9	0.9	4,961.975
666	25/100	1.9	0.9	4,732.325
700	25/100	1.9	0.9	5,047.825
777	25/100	1.9	0.9	5,104.675
800	25/100	1.9	0.9	4,880.125
888	25/100	1.9	0.9	4,810.575
900	25/100	1.9	0.9	5,102.025
999	25/100	1.9	0.9	5,041.275
1010	25/100	1.9	0.9	5,071.925
			Average	5,013.512

ตารางที่ ข.10 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองโจทย์เพิ่มเติม

Random seed	Pop/Gen	A	r	distance
11	100/25	1.9	0.5	196.7
22	100/25	1.9	0.5	186.4
33	100/25	1.9	0.5	196.7
44	100/25	1.9	0.5	201.3
55	100/25	1.9	0.5	216.3
66	100/25	1.9	0.5	207.2
77	100/25	1.9	0.5	200.85
88	100/25	1.9	0.5	199.3
99	100/25	1.9	0.5	207.6
101	100/25	1.9	0.5	190.7
102	100/25	1.9	0.5	198.8
103	100/25	1.9	0.5	187.9
111	100/25	1.9	0.5	186.4
200	100/25	1.9	0.5	200.2
222	100/25	1.9	0.5	187.9
300	100/25	1.9	0.5	201.2
333	100/25	1.9	0.5	203.4
400	100/25	1.9	0.5	194.7
444	100/25	1.9	0.5	189.8
500	100/25	1.9	0.5	185.6
555	100/25	1.9	0.5	195
600	100/25	1.9	0.5	203.9
666	100/25	1.9	0.5	200.2
700	100/25	1.9	0.5	185.6
777	100/25	1.9	0.5	205.5
800	100/25	1.9	0.5	208.3
888	100/25	1.9	0.5	203.7
900	100/25	1.9	0.5	199.45
999	100/25	1.9	0.5	198.4
1010	100/25	1.9	0.5	204.1
			Average	198.1033