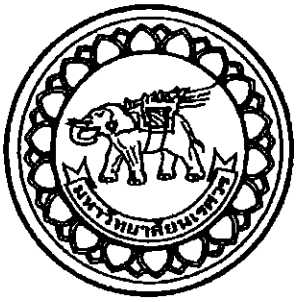


การศึกษารูปแบบการสลับสายพันธุ์และวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

STUDYING CROSSOVER OPERATERS AND ADAPTIVE GENETIC ALGORITHM FOR DESIGNING MULTIPLE ROWS LAYOUT

นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา รหัส 51363715
นายสุรชิด ดีดกลิ่น รหัส 51363739

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 10 ก.ค. 2555
เลขทะเบียน 15929519
เลขเรียกหนังสือ ฝง.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ส 7849 2554

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2554

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การศึกษารูปแบบการสลับสายพันธุ์และวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา รหัส 51363715

นายสุรชิด ดีดกลิ่น รหัส 51363739

ที่ปรึกษาโครงงาน อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2554

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้**เป็นส่วนหนึ่ง**ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ดร.สุธนิตย์ พุทธพนม)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การศึกษารูปแบบการสลับสายพันธุ์และวิธีการเจนเนติกอัลกอริทึมแบบปรับตัวได้สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวสุธาสินี สิงห์พระยา รหัส 51363715
	นายสุรชิด ดีดกลิ่น รหัส 51363739
ที่ปรึกษาโครงงาน	อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2554

.....

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตมีการแข่งขันกันค่อนข้างสูง จึงเป็นสาเหตุให้โรงงานอุตสาหกรรม มีความต้องการทั้งทางด้านปริมาณ และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด จึงได้มีการนำระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS) มาใช้เพื่อตอบสนองความต้องการของอุตสาหกรรม โดยระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะดำเนินการใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพจำเป็นต้องมีการจัดเรียงเครื่องจักรที่มีประสิทธิภาพเพื่อให้ได้ระยะทางการขนถ่ายที่สั้นที่สุด ดังนั้นในโครงงานฉบับนี้จึงได้ศึกษาถึงขั้นตอนการทำงานของกระบวนการเจนเนติกอัลกอริทึม (GA) เพื่อนำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น ในการหารูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance)

ในการดำเนินโครงงานครั้งนี้ได้อธิบายถึงการจัดเรียงเครื่องจักรในแบบหลายแถว (Multiple Rows) โดยใช้ข้อมูลของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ จำนวนประเภทของผลิตภัณฑ์ จำนวน 4 ชุดข้อมูลซึ่งมีทั้งข้อมูลขนาดเล็ก และขนาดกลาง มาใช้ในการศึกษา โดยได้มีการการพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance)

ผลจากการดำเนินโครงงานครั้งนี้ ผู้จัดทำพบว่าสามารถนำกระบวนการทำงานของ GA มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นได้จริง และสามารถพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) ได้อย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ

กิตติกรรมประกาศ

คณะผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณท่าน อาจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ คำปรึกษาและคำเสนอแนะที่ดี ตลอดจนตรวจแก้ไขข้อบกพร่องของปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จสมบูรณ์ลงด้วยดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชา คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่เสียสละเวลา เอื้อเฟื้อสถานที่ อุปกรณ์ ให้ความช่วยเหลือ และอำนวยความสะดวกในการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้จนลุล่วงไปด้วยดีตลอดมา

ขอบคุณเพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ที่คอยช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จนสำเร็จลุล่วงไปด้วยดี

ท้ายสุดนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวทุกท่านที่ให้โอกาสทางการศึกษา คอยสนับสนุนทั้งทางด้านกำลังทรัพย์ และเป็นกำลังใจที่ดีเสมอมาตลอดการศึกษาจนประสบความสำเร็จ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงาน
สุธาสินี สิงห์พระยา
สุรชิด ดีดกลิ่น

มีนาคม 2555

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 ขอบเขตของการทำโครงงาน 3
1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงงาน 3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน 3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน (Gantt Chart) 4

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 การจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม 5
2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS) 8
2.3 วิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithms) 11
2.4 เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms) 12
2.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter setting) 20
2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) 20
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) 21
2.8 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk 23
2.9 โครงงานที่เกี่ยวข้อง 24

บทที่ 3 วิธีดำเนินงานโครงงาน 25
3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานโครงงาน 25
3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบ FMS..... 27
3.2.2 ศึกษาโครงสร้างการทำงานของ GA..... 29
3.2.3 ศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์และค่าพารามิเตอร์..... 29
3.2.4 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น..... 30
3.2.5 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS..... 35
3.2.6 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม..... 35
3.2.7 การทดสอบโปรแกรมเพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกำหนดค่าพารามิเตอร์..... 35
3.2.8 การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ..... 38

บทที่ 4 ผลการทดลองและการวิเคราะห์..... 39
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS..... 39
4.2 ผลการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์..... 43
4.3 ผลการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์..... 46
4.4 ผลการศึกษา Adaptive Parameter..... 58
4.5 อภิปรายเชิงวิพากษ์วิจารณ์ระหว่างวิธีการออกแบบการทดลองกับวิธี Adaptive Parameter..... 60

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 61
5.1 สรุปผลการทดลอง..... 61
5.2 ข้อเสนอแนะ..... 62

เอกสารอ้างอิง..... 63

ภาคผนวก..... 64
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน..... 80

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน 4

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร
แบบ Fixed Effect Model 23

3.1 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท 27

3.2 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง 36

4.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมแต่ละชุดข้อมูล 43

4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1 43

4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2 44

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3 44

4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4 45

4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1 47

4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2 49

4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3 52

4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4 55

4.10 แสดงผลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 58

4.11 แสดงการสรุปผลของระยะทางการขนถ่ายวัสดุ (เมตร) ของวิธี Adaptive P_m 60

4.12 แสดงการสรุปของระยะทางการขนถ่ายวัสดุ (เมตร) ของวิธี Adaptive parameter 56

5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ 61

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ขอบเขตการใช้งานของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น 9

2.2 รูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS ทั้ง 5 รูปแบบ 10

2.3 แสดงผังการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม 12

2.4 แสดงโครงสร้างการทำงานของ GA 13

2.5 แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA 14

2.6 แสดงการสลับสายพันธุ์แบบ Cycling 15

2.7 แสดงการสลับสายพันธุ์แบบ Partial Matching 15

2.8 แสดงการสลับสายพันธุ์แบบ Oder 16

2.9 แสดงการกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS) 16

2.10 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy 19

3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน 26

3.2 แสดงการเดินทางของเครื่องจักร AGV 29

3.3 แสดงรูปแบบโครโมโซม 31

3.4 แสดงการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร ในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น 33

3.3 แสดงขั้นตอนการทำงานของการ Adaptive Parameter 37

4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม 39

4.2 แสดงการนำแฟ้มข้อมูลนำเข้าสู่โปรแกรม 40

4.3 แสดงการเลือกวิธี Genetic Algorithm 40

4.4 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 41

4.5 แสดงหน้าจอแสดงผล 42

4.6 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค 42

4.7 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1 43

4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2 44

4.9 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3 45

4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4 46

4.11 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ของข้อมูลชุดที่ 1 48

4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 1 49

4.13 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ของข้อมูลชุดที่ 2 50

4.14 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 2 51

4.15 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ของข้อมูลชุดที่ 3 53

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.16 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 3 54

4.17 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ของข้อมูลชุดที่ 4 56

4.18 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลักของข้อมูลชุดที่ 4 57

4.19 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยร่วมของข้อมูลชุดที่ 4 57

4.20 แสดงการกระจายตัวของคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4 59

4.21 แสดงการกระจายตัวของคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4 เมื่อปรับค่า P_m ที่ 0.05 59

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

เป็นที่ทราบกันดีว่าประเทศไทยเป็นประเทศที่กำลังพัฒนา ส่งผลให้การขยายตัวทางด้านอุตสาหกรรมการผลิตเพิ่มมากขึ้น จึงเป็นสาเหตุให้โรงงานอุตสาหกรรมมีการแข่งขันกันทางด้านการผลิตค่อนข้างสูง เพื่อจะได้มาซึ่งผลกำไร และความอยู่รอดของโรงงานอุตสาหกรรม โดยส่วนใหญ่โรงงานอุตสาหกรรมจะมุ่งเน้นไปที่การเพิ่มปริมาณการผลิต และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ เพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด ในการผลิตแบบต่างๆ มักจะมีปัญหาเกิดขึ้น เช่น มีงานแทรกระหว่างกระบวนการผลิต เสียเวลาอย่างมากในการปรับเปลี่ยนกระบวนการเพื่อการผลิตผลิตภัณฑ์ใหม่ และเมื่อเครื่องจักรขัดข้องงานไม่สามารถดำเนินไปตามแผนการผลิตได้ เป็นต้น ซึ่งสายการผลิตแบบถ่ายโอนจะมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์น้อยแต่จะให้ปริมาณผลผลิตที่มาก ส่วนการผลิตแบบเซลล์จะมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์มากแต่จะให้ปริมาณผลผลิตที่น้อย ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing : FMS) จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่สามารถขจัดปัญหาที่เกิดขึ้นข้างต้นในกระบวนการผลิตได้ดี เนื่องจากระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะนำความยืดหยุ่นที่มีอยู่หลายชนิดมาใช้ เช่น ความยืดหยุ่นของเครื่องจักร ความยืดหยุ่นของการขนถ่ายวัสดุ และความยืดหยุ่นของการผลิต เป็นต้น เพื่อที่จะให้การผลิตเป็นไปได้อย่างมีประสิทธิภาพ ความยืดหยุ่นนี้เองจะทำให้ระบบสามารถรองรับสภาวะแวดล้อมที่เปลี่ยนไปได้ เช่น การเปลี่ยนแปลงในปริมาณการผลิต การเพิ่มขึ้นในชนิดของผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนแปลงในด้านวิศวกรรมและการออกแบบ เป็นต้น นอกจากนั้นความยืดหยุ่นยังทำให้ระบบสามารถที่จะจัดการกับสิ่งก่อกวนต่างๆ เช่น การเปลี่ยนตารางเวลาการผลิต การเกิดเครื่องจักรขัดข้อง เป็นต้น ซึ่งสิ่งก่อกวนต่างๆเหล่านี้อาจจะเกิดขึ้นในระบบซึ่งไม่สามารถจะพยากรณ์หรือคาดการณ์ได้ ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจึงส่งผลดีต่อกระบวนการผลิตทั้งในด้านการเพิ่มปริมาณผลผลิต และความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ รวมทั้งเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้ในการผลิตถูกใช้งานได้เต็มสมรรถภาพ

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะดำเนินการได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ต้องคำนึงถึงการวางผังโรงงานที่ดี และทุกกิจกรรมใช้เวลาการปฏิบัติงานเท่าเทียมกัน ผังโรงงานที่ดีที่สุดคือ ผังโรงงานที่มีระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุระหว่างกิจกรรม หรือระหว่างหน่วยงานน้อยที่สุด เพื่อลดเวลาในการขนถ่ายชิ้นงานและเพิ่มจำนวนการผลิตให้มากขึ้น ตลอดจนประหยัดพลังงานซึ่งนับว่าเป็นประเด็นสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในขณะนี้ วิธีการหนึ่งที่สามารถลดระยะทางของการเคลื่อนที่ คือ พยามกำหนดหน่วยงานตามลำดับขั้นตอน หน่วยงานใดสามารถอยู่ติดกันได้ก็ควรจัดให้อยู่ติดกันซึ่งจะสามารถขจัดระยะทางการขนส่งระหว่างงานนั้นได้

ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรจะมีขนาดใหญ่ขึ้น เมื่อจำนวนเครื่องจักรเพิ่มขึ้น เนื่องจากจำนวนคำตอบทั้งหมดที่สามารถเป็นไปได้ขึ้นอยู่กับจำนวนของเครื่องจักรที่จะทำการจัดเรียงเครื่องจักร เช่น ถ้ามีเครื่องจักรที่ทำการจัดเรียงจำนวน 10 เครื่อง วิธีในการจัดเรียงเครื่องจักรจะมีคำตอบถึง 10! หรือ 3,628,800 วิธี ซึ่งพัชราภรณ์ อริยะวงษ์ ได้ทำการศึกษาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม โดยใช้วิธีการสลับสายพันธุ์ Enhanced Edge Recombination Crossover : EERX และการกลายพันธุ์ Two Operation Adjacent Swap Mutation : 2OAS

ดังนั้นผู้ศึกษาจึงเลือกใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm : GA) ซึ่งเป็นการประยุกต์แนวความคิดด้านวิวัฒนาการที่มีอยู่ในธรรมชาติมาใช้แก้ปัญหาทางคณิตศาสตร์ และ GA ยังมีความสามารถใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมจากหลายล้านคำตอบได้ในเวลาที่ยอมรับได้ โดยคำตอบที่ได้อาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด (Optimum Solution) ดังนั้นโครงงานนี้จึงเป็นการประยุกต์วิธี GA โดยใช้วิธีการสลับสายพันธุ์ 3 แบบ คือ PMX, CX, OX และวิธีกลายพันธุ์ คือ 2OAS ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นเพื่อหารูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมที่ทำให้เกิดระยะทางการขนถ่ายผลิตภัณฑ์ที่สั้นที่สุด

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของ GA และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

1.2.2 พัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance)

1.2.3 เพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

1.2.4 เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ของ GA ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 โปรแกรมช่วยการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว

1.3.2 ผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ที่มีต่อคุณภาพของคำตอบ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

1.4.1 โปรแกรมสามารถแสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด

1.4.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ GA ที่เหมาะสมสำหรับการค้นหาคำตอบ

1.5 ขอบเขตของการทำโครงงาน

1.5.1 โปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้น จะถูกทดสอบการทำงานโดยใช้ข้อมูลจำลองเกี่ยวกับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมการผลิตแบบยืดหยุ่น

1.5.2 ชุดข้อมูลจำลองอ้างอิงจากงานวิจัยของ Nearchou, 2005

1.5.3 เครื่องจักรทุกเครื่องมีรูปร่างเป็นสี่เหลี่ยมมุมฉาก (Rectangular Shapes) และจะมีการจัดการ (Operate) อยู่บริเวณศูนย์กลาง (Centroid) ของรูปสี่เหลี่ยม

1.5.4 วิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) ใช้ 3 วิธี คือ Partial Mapped Crossover : PMX, Order Crossover : OX, Cycle Crossover : CX และการกลายพันธุ์ใช้วิธี Tow Operations Adjacent Swap : 2OAS

1.5.5 เวลาที่ใช้ในการเดินทางของ AGV เวลาการเดินทางของวัสดุ และการจัดตารางการผลิตจะไม่นำมาพิจารณา

1.5.6 การจัดเรียงเครื่องจักรจะมีการจัดเรียงตามความยาว (L_i) ของโรงงาน จากด้านซ้ายไปทางด้านขวา และเมื่อสิ้นสุดให้ขึ้นแถวใหม่โดยจัดเรียงตามความกว้าง (W_i) ของโรงงาน แล้วเริ่มจากด้านซ้ายขึ้นด้านขวาเหมือนเดิม

1.5.7 การเคลื่อนที่ของรถขนถ่ายวัสดุที่ถูกบังคับให้เคลื่อนที่อย่างอัตโนมัติ (Automated Guided Vehicle : AGV) จะเดินทางเป็นเส้นตรง จากซ้ายไปขวา หรือขวาไปซ้าย และจากบนลงล่าง หรือจากล่างขึ้นบน

1.5.8 การจัดเรียงเครื่องจักรทั้งหมดบนพื้นที่โรงงาน (Layout) ถ้ามีขนาดเกินกว่าพื้นที่ที่กำหนดไว้ โปรแกรมจะทำการคำนวณ และแสดงผลลัพธ์ต่อไปจนเสร็จสิ้น แต่จะมีการแจ้งเมื่อมีการจัดเรียงเครื่องจักรขนาดใหญ่เกินพื้นที่ของโรงงาน

1.5.9 พื้นที่ของโรงงานมีขนาดไม่เกิน 1000 x 1000 ตารางเมตร

1.6 สถานที่ในการดำเนินงานโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงานโครงงาน

มิถุนายน 2554 ถึง มกราคม 2555

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน (Gantt Chart)

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินงานโครงงาน

การดำเนินงานโครงงาน	ช่วงเวลา							
	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.
1.8.1 ศึกษา และรวบรวมข้อมูลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบ FMS	◄	———	►					
1.8.2 ศึกษาโครงสร้างการทำงานของ GA		◄	———	►				
1.8.3 ศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ และค่าพารามิเตอร์		◄	———	———	►			
1.8.4 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น			◄	———	►			
1.8.5 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS					◄	———	———	►
1.8.6 การทดสอบ และแก้ไขโปรแกรม							◄	►
1.8.7 การทดสอบโปรแกรมเพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกำหนดค่าพารามิเตอร์							◄	►
1.8.8 การสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ								◄ ►

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในการศึกษาการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมเพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ผู้ศึกษาได้ศึกษาแนวคิดทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

2.1 การจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

การขนถ่ายมีความสำคัญมากในระบบการผลิต เพราะต้นทุนการผลิตส่วนใหญ่มีสาเหตุมาจากค่าใช้จ่ายในการขนถ่าย ดังนั้นจำเป็นต้องมีการวางผังโรงงานเพื่อลดค่าใช้จ่ายในการขนถ่าย โดยพยายามจัดวางตำแหน่งของหน่วยงานต่างๆ เครื่องจักร และอุปกรณ์ที่จำเป็นทั้งหลายในโรงงานลงในตำแหน่งที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายรวมต่ำที่สุด (Distance - based Objective) หรือมีค่าระยะห่างระหว่างเครื่องจักรรวมน้อยที่สุด (Adjacency - based Objective) ซึ่งถ้าหากไม่มีการวางแผนการจัดวางตำแหน่งของสิ่งต่างๆ เหล่านี้ ก็จะทำให้เกิดการสูญเสียต่างๆ เช่น เกิดงานคั่งค้างระหว่างทำ, ภาระของระบบขนถ่ายมากเกินไป, การขาดประสิทธิภาพในการติดตั้ง และเกิดการรอคอย เป็นต้น การวางผังโรงงานที่ดีจะช่วยให้เกิดประสิทธิภาพในระบบการผลิต 2 อย่าง คือ ลดต้นทุนการผลิต (Costs Reduction) และเพิ่มอัตราการผลิต (Increase Productivity)

การวางผังโรงงานขึ้นอยู่กับระบบการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต กระบวนการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต และจำนวนเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิต เป็นต้น โดยทั่วไปผังโรงงานสามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ คือ

2.1.1 การวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

เป็นการวางผังโรงงานตามลำดับขั้นตอนการผลิตของผลิตภัณฑ์ ส่วนใหญ่จะเป็นการผลิตสินค้าชนิดเดียว หรือสินค้าหลายชนิดที่มีลักษณะคล้ายคลึงกัน การดำเนินการผลิตมักจะเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เช่น การผลิตอาหารกระป๋อง ผลไม้กระป๋อง เบียร์ การผลิตผลิตภัณฑ์ประเภทแก้ว เป็นต้น การจัดเรียงเครื่องจักรจะจัดให้เรียงกันไปตามขั้นตอนการผลิต หรือการประกอบ โดยเริ่มจากวัตถุดิบไปถึงกระบวนการผลิตแต่ละหน่วยการผลิต จนสำเร็จเป็นผลิตภัณฑ์

2.1.1.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์

ก. การควบคุมการจัดตารางผลิตทำได้ง่ายเนื่องจากเรารู้ขั้นตอนการผลิตที่แน่นอน

ข. การขนย้ายวัสดุทำได้ในระยะเวลาสั้นๆ เนื่องจากจุดปฏิบัติการต่างๆ นั้นอยู่ใกล้กัน และไม่มีการขนย้ายวัตถุดิบย้อนทางเดิม

ค. ในการผลิตเป็นจำนวนมากๆ อัตราการใช้เครื่องจักรจะดีขึ้น และเครื่องจักรได้ทำงานอย่างเต็มที่

ง. ผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จที่คั่งค้าง ณ จุดปฏิบัติงานต่างๆ จะมีน้อยลง

จ. ลดเวลาในการติดตั้งเครื่องจักร และไม่จำเป็นต้องอบรม หรือให้ความรู้พนักงานบ่อยๆ

ฉ. การไหลของชิ้นงานผลิตจะเร็วขึ้น และต้นทุนการผลิตต่อชิ้นจะถูกลง

2.1.1.2 ข้อจำกัดของการวางผังโรงงานตามชนิดผลิตภัณฑ์

ก. จำนวนเงินทุนในการจัดซื้อเครื่องมือเครื่องจักรสูง

ข. ถ้ามีการหยุดการผลิตของเครื่องจักรในหน่วยผลิตหน่วยใดหน่วยหนึ่ง กระบวนการผลิตจะหยุดทั้งระบบ

ค. ยอดผลิตจะสูงสม่ำเสมอ เพราะเครื่องจักรผลิตชิ้นงานตลอดเวลาหากยอดขายลดลง จะส่งผลต่อเงินทุนหมุนเวียนเป็นอย่างมาก

ง. เป็นเรื่องยากมาก หากจะแยกเครื่องจักรในระบบผลิตที่เป็นปัญหาออกจากกระบวนการผลิต

จ. การเปลี่ยนแปลงผลิตภัณฑ์ที่จะผลิตจะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนเครื่องมือเครื่องจักร ซึ่งการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์ที่ผลิตแต่ละครั้ง ก็จะปรับเปลี่ยนทั้งสายการผลิต

2.1.2 การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต (Process Layout)

เป็นการจัดเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่ใช้งานประเภทเดียวกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน หรือแผนกเดียวกัน เช่น งานเชื่อมก็ควรอยู่ในพื้นที่ และแผนกเดียวกัน ควรจัดเครื่องจักร และอุปกรณ์ที่คล้ายกัน หรือใช้งานเหมือนกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เหมาะสำหรับการผลิตจำนวนไม่มาก ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่แน่นอน แต่สามารถผลิตผลิตภัณฑ์ได้หลายชนิด จะเห็นว่าการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิตนี้มีความยืดหยุ่นมากกว่าการวางผังโรงงานตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

2.1.2.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

ก. จำนวนเงินลงทุนในการซื้อเครื่องมือเครื่องจักรต่ำ

ข. เครื่องจักรมีชั่วโมงใช้งานสูง โดยเฉพาะในกรณีที่การผลิตสินค้าแต่ละชนิดมีจำนวนไม่มากนัก เนื่องจากโรงงานสามารถจัดตารางการผลิตให้กับเครื่องจักรแต่ละเครื่องได้

ค. ถ้าเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่งไม่สามารถทำงานได้ก็ยังดำเนินการผลิตต่อไปได้ หรืออาจจะใช้เครื่องจักรทดแทนการทำงานกันได้

ง. ถ้ามีการออกแบบผลิตภัณฑ์ใหม่อาจจะต้องซื้อหรือปรับปรุงเครื่องจักรใหม่เพียงแค่หนึ่ง หรือสองเครื่องที่จำเป็นเท่านั้น

จ. ในการขยายกิจการ ค่าใช้จ่ายในการขยายโรงงานจะถูกกว่าเนื่องจากอาจไม่มีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มสายการผลิตใหม่ทั้งสาย

2.1.2.2 ข้อจำกัดของการวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต

ก. การขนถ่ายวัสดุยุ่งยาก เพราะอาจมีปัญหาในเส้นทางการขนย้ายจากแผนกหนึ่งไปยังแผนกหนึ่งทำให้เสียเวลา และลงทุนสูง

ข. การสั่งการและการประสานงานไม่ค่อยสัมพันธ์กัน ตลอดทั้งความคล่องของคนงาน และประสิทธิภาพของเครื่องจักรแต่ละแผนกแตกต่างกันทำให้เกิดผลิตภัณฑ์กึ่งสำเร็จคั่งค้าง ณ จุดปฏิบัติงานมาก

ค. ใช้พื้นที่โรงงานมาก และต้องฝึกอบรมพนักงานใหม่ทุกครั้งที่มีการเปลี่ยนรูปแบบผลิตภัณฑ์หรือได้เครื่องจักรเข้ามาใหม่

2.1.3 การวางผังโรงงานแบบคงตำแหน่ง (Fixed Layout)

เป็นการจัดให้มีวัสดุหรือชิ้นงานอยู่กับที่ และจัดให้เครื่องจักร อุปกรณ์ และวัสดุอื่นๆ อยู่โดยรอบ การดำเนินงานจะเป็นการเคลื่อนที่ของคน และเครื่องจักร เหมาะกับการผลิตที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก ลักษณะงานโครงการ มีแบบตามใบสั่งผลิตโดยเฉพาะ เครื่องจักรที่ใช้เป็นเอนกประสงค์ เช่น เครื่องบิน เรือเดินสมุทร การก่อสร้างเขื่อน การก่อสร้างอาคาร เป็นต้น

2.1.3.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานแบบคงตำแหน่ง

ก. ความสามารถในการปรับตัวสูง ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงแบบผลิตภัณฑ์

ข. ลดการขนย้ายลำเลียงสิ่งของ และเสียค่าใช้จ่ายในการจัดวางผังต่ำ

ค. ง่ายต่อการกำหนดความรับผิดชอบต่อคุณภาพของงานที่ทำ และการจ่ายงานไม่ยุ่งยากซับซ้อน

2.1.3.2 ข้อจำกัดของการวางผังโรงงานแบบคงตำแหน่ง

ก. ผลิตครั้งละจำนวนมากๆไม่ได้

ข. ไม่สามารถนำเอาเครื่องมือขนาดใหญ่ และซับซ้อนมาใช้งานได้

ค. ต้นทุนต่อหน่วยสูงมาก

ง. การใช้ประโยชน์ของเครื่องมือต่ำ และพนักงานต้องมีทักษะในการทำงานสูง

2.1.4 การวางผังโรงงานแบบเซลลูล่า (Cellular Layout)

เป็นการอาศัยกลุ่มของชิ้นงานซึ่งแบ่งย่อยออกมาจากตัวผลิตภัณฑ์ มาช่วยในการจัดกลุ่มเครื่องจักร โดยภายในกลุ่มเครื่องจักรเหล่านั้น จะมีลำดับการผลิตอุปกรณ์ และเครื่องมือเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตชิ้นงานนั้นๆ การวางผังเครื่องจักรแบบกลุ่มนี้เหมือนการสร้างโรงงานเล็กๆ หลายๆ โรงให้อยู่ภายใต้โรงงานใหญ่โรงหนึ่ง หรืออาจเรียกว่ากระบวนการผลิตแบบกลุ่ม (Manufacturing Cell)

2.1.4.1 ข้อดีของการวางผังโรงงานแบบเซลลูล่า

ก. อัตราการผลิตเป็นไปอย่างรวดเร็ว และสามารถกระจายความรับผิดชอบภายในกลุ่มงานการผลิตได้ดี

ข. ส่งเสริมการทำงานเป็นกลุ่มซึ่งเป็นการจูงใจในการทำงาน

2.1.4.2 ข้อจำกัดของการวางผังโรงงานแบบเซลลูล่า

ก. อาจมีค่าใช้จ่ายในการจัดผังโรงงานใหม่สูง ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงการผลิต

ข. อาจต้องใช้เครื่องจักร และอุปกรณ์มาก และอาจทำให้เกิดการใช้ประโยชน์ของเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่ำ

2.1.5 ประโยชน์ของการวางผังโรงงาน (Benefit of Plant Layout)

2.1.5.1 ทำให้เกิดความสมดุลในกระบวนการผลิต เพราะจะช่วยแบ่งปริมาณงานให้แต่ละหน่วยผลิตได้เท่าเทียมกัน วัสดุจึงไหลไปในกระบวนการผลิตอย่างสม่ำเสมอไม่เกิดการหยุดรอในกระบวนการผลิต

2.1.5.2 ช่วยให้เกิดความปลอดภัยในการทำงาน โดยจัดให้แสงสว่างเพียงพอ ทางเดินกว้างพอสมควร มีระบบความปลอดภัยในการทำงาน

2.1.5.3 ใช้แรงงานอย่างมีประสิทธิภาพ การวางผังโรงงานจะช่วยทำให้คนงานทำงานในหน่วยผลิตอย่างประสิทธิภาพ ไม่ต้องเสียเวลาในการเดินไปมาในการทำงานในหน่วยผลิต

2.1.5.4 ช่วยให้พื้นที่ในโรงงานใช้ประโยชน์ได้อย่างเต็มที่

2.1.5.5 ช่วยให้มองเห็นการปรับเปลี่ยนพื้นที่ในอนาคต การวางผังโรงงานจะต้องกะประมาณ และคาดการณ์ล่วงหน้าในการเตรียมพื้นสำหรับการปรับเปลี่ยน หรือการติดตั้งเครื่องจักรหรืออุปกรณ์ที่ช่วยในการผลิต

2.1.5.6 ลดเวลาในการขนย้ายให้สั้นที่สุดในการผลิตสินค้าต่างๆ การไหลของวัตถุดิบตั้งแต่เริ่มแรกก่อนการผลิตเข้าสู่กระบวนการผลิต จนกระทั่งสำเร็จออกมาเป็นสินค้า หรือผลิตภัณฑ์ การขนย้ายวัตถุดิบระหว่างผลิตจะลงทุนมาก ดังนั้นจะต้องจัดวางผังโรงงานให้การขนย้ายวัตถุดิบแต่ละหน่วยผลิต หรือภายในหน่วยผลิตให้สั้นสุด

2.1.5.7 ทำให้คนงานมีสุขภาพจิตที่ดี การวางผังโรงงานที่ถูกต้องตามแบบ จะช่วยทำให้บรรยากาศในการทำงานดีขึ้น คนงานมีความรู้สึกพอใจในการทำงานของตน เช่น ห้องน้ำ ห้องสมุด ห้องพักผ่อน ความสะอาด ความเป็นระเบียบตลอดทั้งสิ่งแวดล้อมภายนอกโรงงานจะต้องจัดให้เหมาะสม

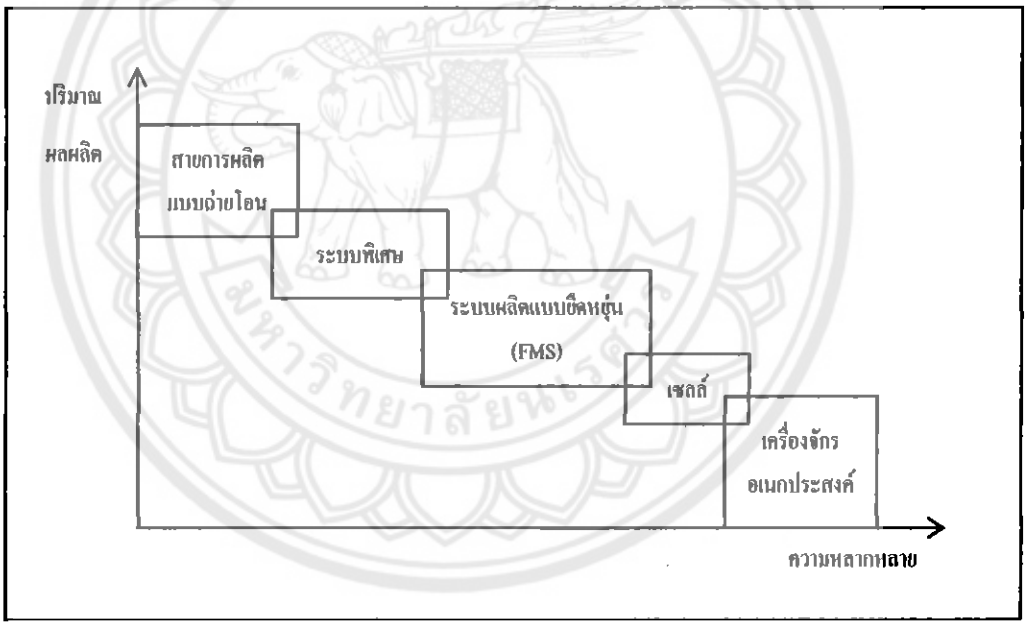
2.1.5.8 ช่วยลดสิ่งรบกวนต่างๆ จากกระบวนการผลิต กระบวนการผลิตในหน่วยผลิตบางครั้งจะทำให้เกิดฝุ่น ควัน เศษโลหะ เสียง หรืออื่นๆ หากวางผังเอาไว้ดีแล้วจะสามารถขจัดปัญหาดังกล่าวได้

2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System : FMS)

ในปัจจุบันการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรมยังคงใช้วิธีการผลิตแบบดั้งเดิม ซึ่งแน่นอนว่าเป็นการผลิตที่ไม่มีความยืดหยุ่นเลย จึงเป็นเรื่องยากที่จะตอบสนองความต้องการของตลาด ที่มีความ

หลากหลายและการแข่งขันสูงมาก ดังนั้นจึงได้นำเอาระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นมาใช้ เนื่องจากว่าระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิตและความต้องการของลูกค้าได้รวดเร็วกว่าวิธีการผลิตแบบดังเดิม นอกจากนี้แล้วระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นยังช่วยให้ใช้เครื่องจักรได้เพิ่มขึ้นอีกด้วย

ระบบผลิตแบบยืดหยุ่นคือ กลุ่มของเครื่องจักรเอ็นซี (NC Machine Tool) ซึ่งสามารถผลิตชิ้นส่วนกลุ่มหนึ่งได้อย่างสุ่ม ระบบนี้จะมีระบบเคลื่อนย้ายวัสดุอัตโนมัติ และระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมศูนย์กลาง (Central Computer Control) ซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการใช้งานของทรัพยากรต่างๆ ในระบบให้มีระดับสมดุล หรือใกล้เคียงกัน และทำให้ระบบสามารถดัดแปลงตัวเองโดยอัตโนมัติ เมื่อชิ้นส่วนที่กำลังดำเนินการผลิตอยู่เกิดการเปลี่ยนแปลงขึ้น ตัวอย่างเช่นการเปลี่ยนแปลงชนิดผลิตภัณฑ์ การเปลี่ยนส่วนคละผลิตภัณฑ์ (Product Mix) หรือการเปลี่ยนระดับของผลิต เป็นต้น ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถถูกนำมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยจะเน้นการผลิตในระดับกลาง และมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ไม่มากเกินไป ดังแสดงในรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ขอบเขตการใช้งานของระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

ที่มา : ปารเมศ ชุติมา, 2544

2.2.1 การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS มี 5 รูปแบบ ดังนี้

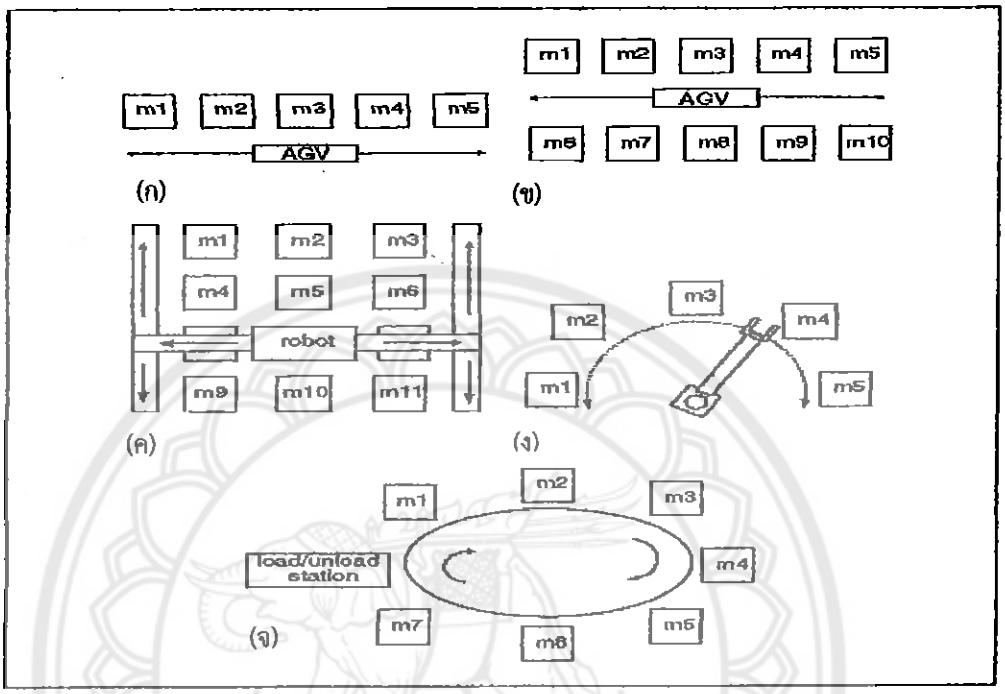
2.2.1.1 จัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single - Row Layout) ในแนวเส้นตรงที่มีระนาบของเครื่องจักรตรงกันตามแนวความยาว (L_i) ของโรงงาน

2.2.1.2 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบสองแถว (Double - Row Layout)

2.2.1.3 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multiple – Row Layout) ซึ่งจะนำมาศึกษาในการทำโครงงานครั้งนี้

2.2.1.4 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบครึ่งวงกลม (Semi - Circular)

2.2.1.5 การจัดเรียงเครื่องจักรแบบวงกลม (Closed Unidirectional Loop Layout) ดังแสดงในรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 รูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS ทั้ง 5 รูปแบบ

(ก) Single - Row Layout

(ข) Double - Row Layout

(ค) Multiple - Row Layout

(ง) Semi - Circular

(จ) Closed Unidirectional Loop Layout

ที่มา : Nearchou, 2005

2.2.2 ประโยชน์ของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

2.2.2.1 ลดจำนวนพัสดุคงคลัง เพราะระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะทำให้ผลผลิตเพิ่มขึ้นซึ่งเป็นการลดโอกาสที่ชิ้นงานจะอยู่ในระบบผลิตในรูปแบบของพัสดุคงคลังระหว่างกระบวนการ

2.2.2.2 ลดค่าแรงงาน เนื่องจากเป็นระบบอัตโนมัติที่ถูกออกแบบมาให้สามารถทำงานได้ด้วยตนเอง

2.2.2.3 เพิ่มประสิทธิภาพการใช้งานเครื่องจักร และอุปกรณ์ต่างๆให้เป็นประโยชน์

2.2.2.4 ลดพื้นที่ใช้สอย และยังช่วยลดเวลานำในการผลิต เนื่องจากการใช้งานเครื่องจักรให้เป็นประโยชน์มีค่าสูงขึ้นอย่างมาก ทำให้มีระยะทาง และเวลาในการขนถ่ายวัสดุลดลง

2.3 วิธีการแก้ปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithms)

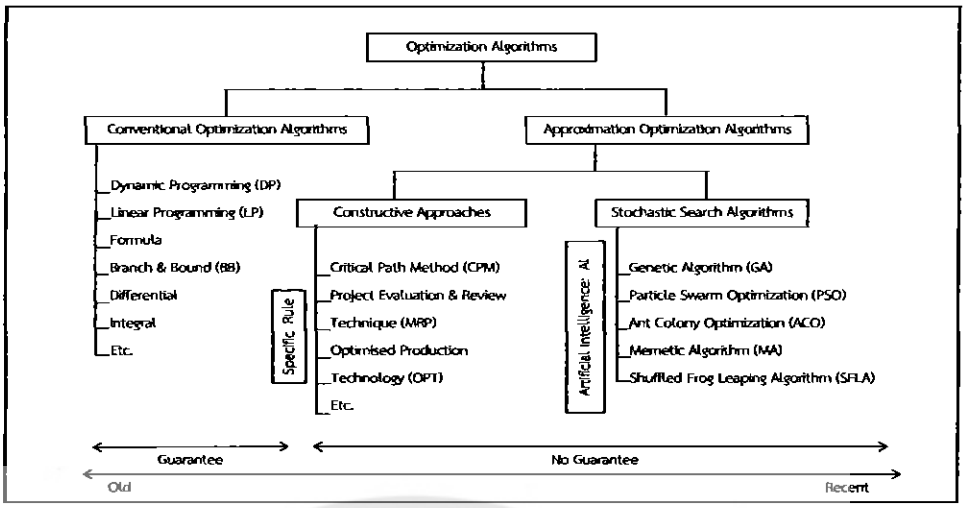
วิธีการที่นำมาใช้แกปัญหาในการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด (Optimization Algorithms) สามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithms : COAs) และวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักของการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms : AOAs) (Blazewicz, Domschke & Pesch, 1996)

2.3.1 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ (Conventional Optimization Algorithms : COAs)

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการทางคณิตศาสตร์ถูกพัฒนาขึ้นในขณะเกิดสงครามโลกครั้งที่ 2 โดยมีจุดประสงค์ในการแก้ปัญหาทางด้านการทหารที่มีความซับซ้อน ต่อมาได้มีการนำวิธีการเหล่านี้ไปใช้ในการแก้ปัญหาต่างๆ อย่างแพร่หลาย เช่น ปัญหาด้านการจัดตาราง (Scheduling Problem) ปัญหาการเดินทางของเซลล์แมน (TSP) เมื่อศึกษางานวิจัยหลายๆ งานทำให้ทราบว่าวิธีการที่นำมาใช้ในการหาค่าคำตอบนั้นมีอยู่หลายวิธียกตัวอย่างเช่น วิธีโปรแกรมเชิงเส้น (Integer Linear Programming), วิธีโปรแกรมเชิงพลวัต (Dynamic Programming) และวิธี บรานช์แอนด์บาวด์ (Branch - and – Bound Algorithm) เป็นต้น และเนื่องจากปัญหาของงานวิจัยนี้มีความซับซ้อนสูง จึงเป็นเรื่องที่ยากหากจะแก้ปัญหาด้วยวิธีการแบบ COAs ซึ่งมีกฎในการหาค่าคำตอบที่ตายตัวเกินไป ทำให้เกิดความยุ่งยากในการหาค่าคำตอบและใช้เวลานาน ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ให้ความสนใจวิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms : AOAs) ซึ่งจะกล่าวในหัวข้อต่อไป

2.3.2 วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่า (Approximation Optimization Algorithms : AOAs)

วิธีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดโดยอาศัยหลักการประมาณค่านี้ มีรูปแบบการค้นหาแบบสุ่ม (Stochastic Search) ซึ่งเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาขนาดใหญ่ และมีความซับซ้อนสูง วิธีการนี้ถึงแม้ค่าคำตอบที่ได้นั้นอาจจะไม่ดีที่สุดแต่เป็นค่าคำตอบที่ใกล้เคียงความเป็นจริงมากที่สุด (Near Optimum Solutions) และใช้เวลาในการหาค่าคำตอบไม่นาน โดยลักษณะการทำงานของวิธีนี้จะใช้กลยุทธ์ในการค้นหา และพยายามหลีกเลี่ยงการติดอยู่ในผลเฉลยที่ไม่ใช่ผลเฉลยที่ดีที่สุด โดยมีการทำงานแบบวนซ้ำแล้วจะหยุดทำงานเมื่อถึงเงื่อนไขตามที่กำหนดไว้ ตัวอย่างของวิธีการเหล่านี้ เช่น Genetic Algorithm (GA), Particle Swarm Optimization (PSO), Ant Colony Optimization (ACO), Memetic Algorithm (MA) และ Shuffled Frog Leaping Algorithm (SFLA) เป็นต้น ซึ่งแต่ละวิธีจะมีกลยุทธ์ในการค้นหาผลเฉลยที่แตกต่างกันออกไป

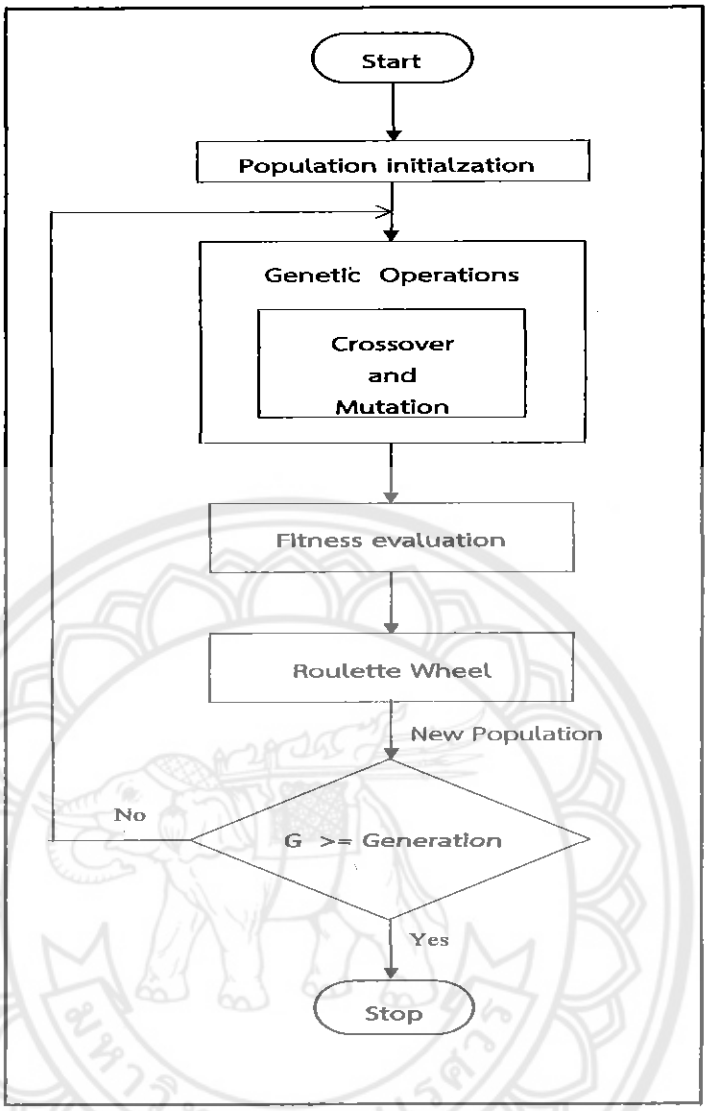


รูปที่ 2.3 แสดงผังการแก้ปัญหาเพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม

ที่มา : Pongcharoen, 2004

2.4 เจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithms)

เจนเนติกอัลกอริทึม Holland, 1970 เป็นแนวคิดสมัยใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด โดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนการคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics Selection) โดยการคัดเลือกสตริง (String) ที่มีความเหมาะสมจากกลุ่มของสตริงทั้งหมด ด้วยวิธีการสุ่มจากสตริงเหล่านั้นไปผ่านกระบวนการคัดเลือกสตริงที่มีความเหมาะสม โดยอาศัยหลักการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมต่างๆ ไปสู่ลูกหลาน ซึ่งสตริงที่มีความเหมาะสมนี้จะเป็นคำตอบที่ดีที่สุด หรือใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถนำมาประยุกต์เพื่อหาคำตอบที่ต้องการได้ เจนเนติกอัลกอริทึมเป็นวิธีการสำหรับใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุดที่มีประสิทธิภาพสูง และมีความคงทน (Robustness) ต่อความไม่เที่ยงตรง (Accuracy) ความไม่แน่นอน (Uncertainty) หรือความคลุมเครือของปัญหา (Vague) (Goldberg, 1989) ทั้งที่เป็นปัญหาแบบการหาค่าที่ดีที่สุดแบบวัตถุประสงค์เดียว หรือหลายวัตถุประสงค์ (Murata, 1997)



รูปที่ 2.4 แสดงโครงสร้างการทำงานของ GA

ที่มา : ดัดแปลงจาก Pongcharoen, 2004

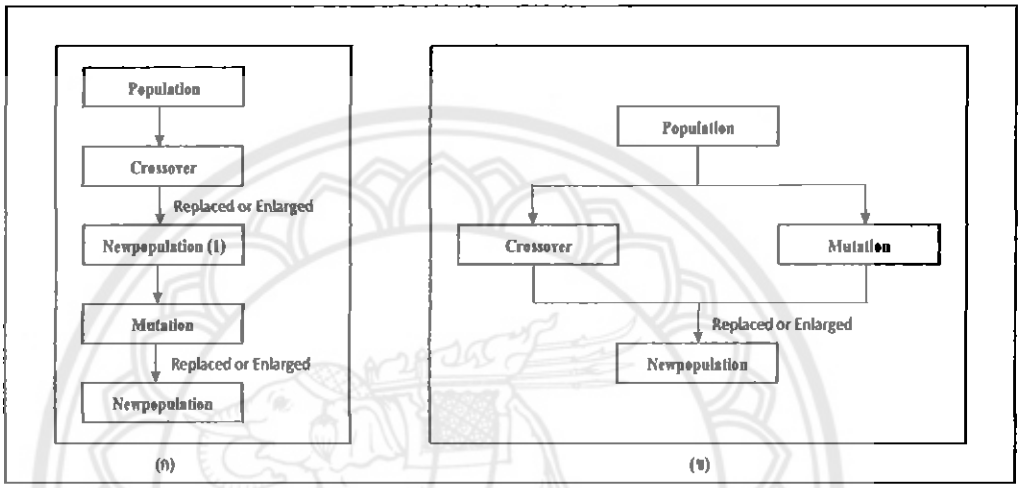
2.4.1 ขั้นตอนการทำงานของ GA

2.4.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างโครโมโซม (Encoding Chromosome)

เริ่มต้นด้วยการสุ่มค่าคำตอบมาจำนวนหนึ่งแล้วแปลง (Encoding) ค่าคำตอบเหล่านั้นให้เป็น "โครโมโซม (Chromosome)" และเรียกกลุ่มของโครโมโซมเหล่านี้ว่า "ประชากร (Population)" ส่วนวิธีการ Encode นั้นเป็นการนำโครโมโซมแต่ละตัวที่ประกอบไปด้วยยีนจำนวนหนึ่งมาเรียงต่อกัน ซึ่งสามารถแทนยีนเหล่านี้ได้ 2 รูปแบบ ดังนี้ แบบที่หนึ่งคือ แบบตัวเลข มี 2 ลักษณะคือ Binary และ Real รูปแบบของโครโมโซมที่เป็น Binary Bit Sting จะแทนแต่ละยีนด้วย 0 และ 1 ส่วนรูปแบบของโครโมโซมที่เป็น Real String จะแทนแต่ละยีนด้วยเลขจำนวนจริง และแบบที่สองคือ แบบตัวอักษรผสมตัวเลข (Alphanumeric)

2.4.1.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation)

เป็นการนำโครโมโซมทั้งหมดจากขั้นตอนที่ 1 มาเข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation) ซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือ การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยการสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ จะแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบอนุกรม (Series) เป็นการทำการสลับสายพันธุ์ก่อนแล้วจึงไปทำการกลายพันธุ์ และแบบขนาน เป็นการทำการสลับสายพันธุ์ไปพร้อมๆกับการทำการกลายพันธุ์ ซึ่งแสดงในรูปที่ 2.5 (ก) และ รูปที่ 2.5 (ข)



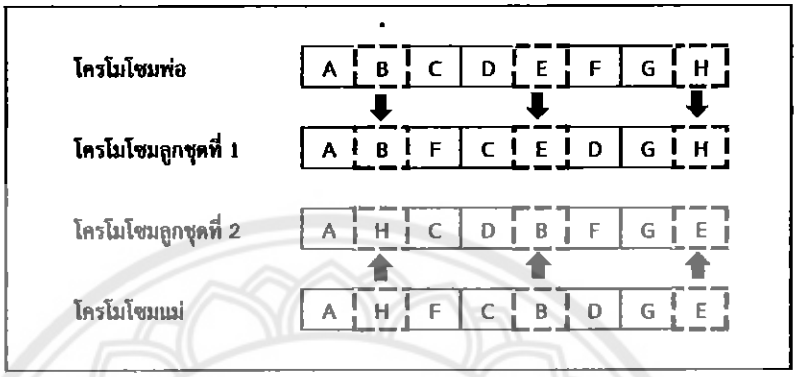
รูปที่ 2.5 (ก) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบอนุกรม
(ข) แสดงลำดับการทำกระบวนการ GA แบบขนาน
ที่มา : Pongcharoen, 2002

ก. การสลับสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม แล้วทำการสลับยีนหรือกลุ่มยีนระหว่างโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ ทำให้เกิดโครโมโซมลูก (Offspring) สองโครโมโซม โดยตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องผ่านการสลับสายพันธุ์คือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการการสลับสายพันธ์ (Probabilities of Crossover : P_c) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของประชากร วิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) มีหลายวิธี ซึ่งในโครงงานนี้ใช้วิธีการ Crossover ทั้งหมด 3 วิธี โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ M.Ficko, M.Brezocnik and J.Balic, 2004) คือ

ก.1 วิธี Cycle Crossover (CX)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ โดยเริ่มจากสุ่มเลือกตำแหน่งของหน่วยพันธุกรรมจากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดหน่วยพันธุกรรมในตำแหน่งดังกล่าวไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และหน่วยพันธุกรรมในตำแหน่งเดียวกันของโครโมโซมแม่จะถูกสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ค่าของหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมแม่ที่สืบทอดไปจะระบุถึงตำแหน่งของหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมพ่อหน่วยถัดไปที่จะถูกสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 การสืบทอดค่าใน

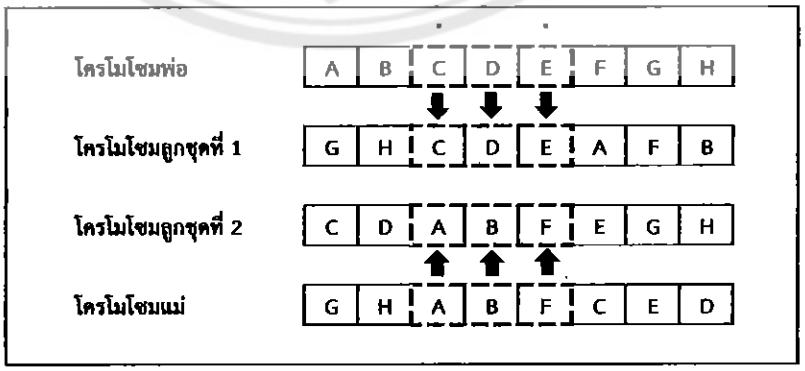
หน่วยพันธุกรรมจะทำซ้ำไปจนกระทั่งพบหน่วยพันธุกรรมที่มีค่าตรงกับค่าที่สุ่มได้ในครั้งแรก เช่น ในกรณีตัวอย่าง คือ หน่วยพันธุกรรม B จะถูกสืบทอดหน่วยพันธุกรรมไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 ส่วนที่เหลือจะถูกสืบทอดมาจากโครโมโซมแม่ หน่วยพันธุกรรม H จะถูกสืบทอดหน่วยพันธุกรรมไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ส่วนที่เหลือจะถูกสืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อ ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Cycling

ก.2 วิธี Partial Match Crossover (PMX)

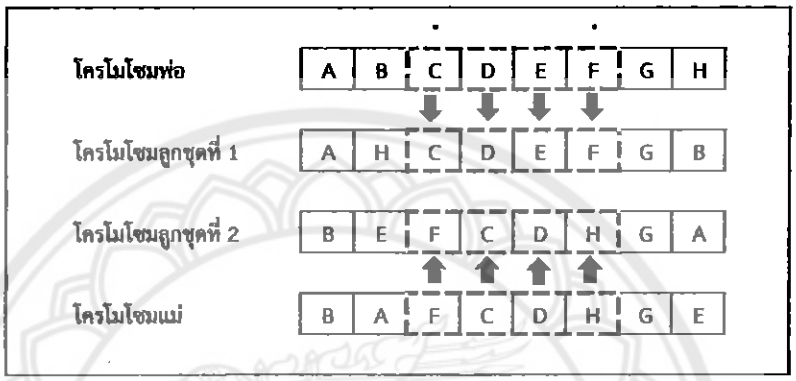
เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ โดยการทำงานจะเริ่มต้นที่การสุ่มเลือกจุด 2 จุดจากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และหน่วยพันธุกรรมในส่วนนี้จะเรียกว่า Mapping Section ซึ่งเมื่อนำไปจับคู่กับหน่วยพันธุกรรมในโครโมโซมแม่ตำแหน่งเดียวกันจะได้ดังนี้คือ (C, A) (D, B) และ (E, F) ดังนั้นในโครโมโซมแม่ ณ ตำแหน่งหน่วยพันธุกรรม E จะเป็นตำแหน่งที่จะสืบทอดหน่วยพันธุกรรม F ลงในโครโมโซมลูกชุดที่ 1 จากนั้นส่วนที่เหลือของโครโมโซมลูกชุดที่ 1 ก็จะสืบทอดจากโครโมโซมแม่โดยละเว้นค่าที่สืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อแล้ว และจะดำเนินการในรูปแบบเดียวกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Partial Matching

ก.3 วิธี Oder Crossover (OX)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อแล้วทำการสุ่มเลือกจุดในการตัดสลับ 2 จุด จากโครโมโซมพ่อ จากนั้นจะสืบทอดหน่วยพันธุกรรมเหล่านั้นไปยังโครโมโซมลูกชุดที่ 1 และโครโมโซมในส่วนที่เหลือของโครโมโซมชุดที่ 1 จะสืบทอดมาจากโครโมโซมแม่ โดยจะเริ่มต้นหลังจุดตัดสลับจุดที่ 2 และละเว้นค่าที่สืบทอดมาจากโครโมโซมพ่อแล้ว จากนั้นจะดำเนินการในรูปแบบเดียวกันเพื่อสร้างโครโมโซมลูกชุดที่ 2 ดังแสดงในรูปที่ 2.8

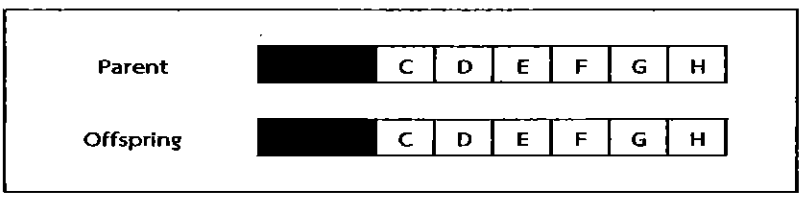


รูปที่ 2.8 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Oder

ข. การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นการทดแทนยีนที่สูญหายไปจากประชากรในระหว่างกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม และเป็นการค้นพบยีนใหม่ที่เคยปรากฏในประชากรเริ่มต้นมาก่อน โดยจะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมต้นแบบมาคราวละ 1 โครโมโซม แล้วทำการสลับหรือเปลี่ยนแปลงยีน "ภายใน" ตัวโครโมโซมนั้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นโครโมโซมลูก 1 โครโมโซม โดยตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องผ่านการกลายพันธุ์ คือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการกลายพันธุ์ (Probabilities of Mutation : P_M) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของประชากร วิธีการกลายพันธุ์มีหลายวิธี ซึ่งในโครงงานครั้งนี้จะอ้างอิงข้อมูลจาก Pongcharoen, 2002 คือ

ข.1 การกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS)

เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมจาก Pop_size โดยนำโครโมโซมที่สุ่มเลือกได้นั้นมาทำการสุ่มเลือกยีนใดยีนหนึ่ง (เพื่อเป็นยีนตั้งต้น) จากนั้นทำการเลือกยีนที่อยู่ติดกันแล้วทำการสลับตำแหน่งของยีนทั้งสองนั้น ดังแสดงในรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงวิธีการกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS)

เมื่อทำการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์เสร็จแล้ว จะเกิดโครโมโซมใหม่ที่เรียกว่า "โครโมโซมลูก (Offspring)" ซึ่งในการนำโครโมโซมลูกไปเก็บในกลุ่มของโครโมโซมหรือประชากรนั้นจะมี 2 แบบคือ เก็บตามขนาดที่กำหนด (Regular) หรือแบบแทนที่ (Replace) เป็นการนำโครโมโซมลูกที่ได้มาจากการสลับสายพันธุ์ไปแทนที่ (Replace) ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อแม่ที่ถูกสุ่มเลือกขึ้นมาสลับสายพันธุ์หรือกลายพันธุ์นั้น ซึ่งเรียกกระบวนการนี้ว่า การให้กำเนิดแบบแทนที่ (Generational Replacement) ดังนั้นขนาดของประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับประชากรเดิม และเก็บแบบขยาย (Enlarge) โครโมโซมลูกที่ได้มาจากการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์ จะไม่ถูกนำไปแทนที่ตำแหน่งของโครโมโซมพ่อแม่ ดังนั้นขนาดของประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับขนาดของประชากรเดิมบวกด้วยขนาดลูกที่เกิดขึ้นในแต่ละรุ่น ด้วยการจัดเก็บแบบขยายตัวนี้จะทำให้โครโมโซมพ่อแม่ และโครโมโซมลูกมีโอกาสเท่ากันในการที่จะผ่านไปถึงกระบวนการคัดสรรเพื่อเป็นประชากรในรุ่นถัดไป

2.4.1.3 ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Computation)

โครโมโซมทั้งหมดที่ผ่านกระบวนการทางพันธุกรรมมาแล้วจะถูกประเมินค่าความเหมาะสมที่จะกลายเป็นโอกาสในการอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม โดยกระบวนการคำนวณค่าความเหมาะสมจะอ้างอิงจากการศึกษาของ Gen & Cheng, 1997 ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ขั้นของการถอดรหัสโครงสร้างโครโมโซมให้กลายเป็นโครงสร้างคำตอบ (Decoding Chromosome) การถอดรหัสของโครโมโซมในแต่ละปัญหาจะมีวิธีการถอดรหัสที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่กำหนดขึ้น

ขั้นที่ 2 นำแต่ละโครโมโซมไปคำนวณในฟังก์ชันเป้าหมาย [f(x)] เพื่อประเมินหาค่าคำตอบ

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย เป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายของปัญหาว่าต้องการหาค่าคำตอบที่มากที่สุด (Maximize Problem) หรือต้องการหาค่าคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimize Problem) ซึ่งมีวิธีการ ดังนี้

สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่ามากที่สุด (Maximize Problem) ค่าความเหมาะสมจะเท่ากับ ค่าผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย สามารถเขียนสมการได้ ดังนี้

$$\text{eval}(V_k) = f(f_k), k = 1, 2, ..., \text{pop_size} \qquad (2.1)$$

เมื่อ eval (V_k) คือ ค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของแต่ล่ะโครโมโซม

$f(f_k)$ คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย

pop_size คือ ขนาดของประชากร หรือจำนวนโครโมโซม

ส่วนปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize Problem) ในกรณีนี้จำเป็นจะต้องมีการปรับค่าจากค่าคำตอบที่น้อยซึ่งเป็นคำตอบที่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมมาก และค่าคำตอบ

มากซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมน้อย ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการกลับค่าโดยนำแนวคิดมาจาก วัฒนพล ชัยเนตร, 2548 ที่นำค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (Worst Solution : x_w) มาพิจาณาโดยนำ x_w มาเป็นตัวตั้งแล้วลบด้วยค่าคำตอบของโครโมโซมแต่ละโครโมโซม จากนั้นนำมาเพิ่มพจน์ "+1" เข้ามาในสมการเพื่อให้ได้โครโมโซมที่แย่ที่สุดมีโอกาสในการเข้าสู่กระบวนการคัดสรร เพราะในกรณีที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดถูกลบด้วยตัวของมันเองแล้วจะทำให้โอกาสในการอยู่รอดเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนเป็นรูปสมการได้ ดังนี้

$$eval\,(V_k) = (x_w - x_k) + 1 \qquad (2.2)$$

เมื่อ x_w คือ โครโมโซมที่มีค่าคำตอบแย่ที่สุด

x_k คือ ค่าคำตอบของโครโมโซมที่ k โดย k = 1, 2, ..., popsize

2.4.1.4 ขั้นตอนที่ 4 การคัดสรร (Selection)

ในโครงงานนี้จะเลือกใช้วิธีการคัดสรรแบบ Stochastic Sampling คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบไม่แน่นอน รูปแบบการคัดสรรประเภทนี้ได้แก่ "รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)" และวิธีการคัดสรรแบบ Deterministic Sampling คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบแน่นอน รูปแบบการคัดสรรประเภทนี้ได้แก่ Elitist Selection

ก. รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทายมีวิธีการ คือ โครโมโซมทุกตัวจะถูกจัดสรรลงบนวงล้อเสี่ยงทายโดย 1 โครโมโซมจะแทน 1 ช่อง ซึ่งจะมีจำนวนช่องบนวงล้อเท่ากับจำนวนโครโมโซมทั้งหมด และความกว้างของแต่ละช่องก็จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสำหรับแต่ละโครโมโซมตามสัดส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้นหากการปั่น (Spin) ของวงล้อเสี่ยงทายตกที่ช่องใด โครโมโซมที่ช่องนั้นอ้างถึงก็จะถูกเลือกให้อยู่รอดในรุ่น (Generation) ถัดไป สำหรับโครโมโซม k แทนค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของโครโมโซม k ด้วย f_k และแทนความน่าจะเป็นในการถูกเลือก (Selection Probability) ของโครโมโซม k ด้วย p_k (Gen & Cheng, 1997) สามารถหาความน่าจะเป็นในการถูกเลือก และเขียนเป็นรูปสมการได้ ดังนี้

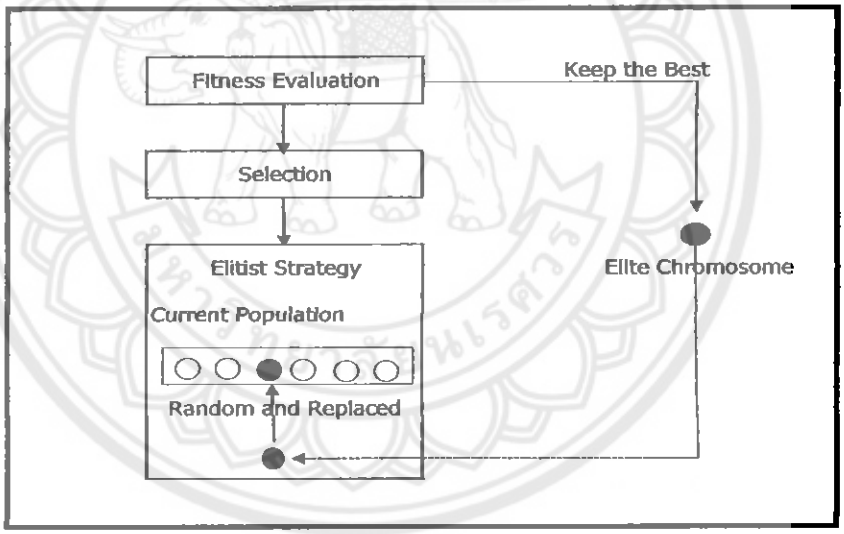
$$p_k = \frac{f_k}{\sum_{j=1}^{Pop_size} f_j} \qquad (2.3)$$

การทำงานของวงล้อเสี่ยงทายเพื่อคัดสรรโครโมโซมที่จะผ่านไปในรุ่นถัดไปนั้นจะเกิดขึ้นจากการหมุนวงล้อเสี่ยงทายเท่ากับจำนวนของโครโมโซมหรือค่า Pop_size โดยที่แต่ละครั้ง

ของการหมุนนั้น หากมาร์คเกอร์ (Marker : ▼) ชี้ไปที่ช่องของโครโมโซมใดโครโมโซมนั้นจะได้ผ่านไปยังรุ่นถัดไป แล้วจึงหมุนในครั้งต่อไปจนได้ครบทุกโครโมโซม

ข. รูปแบบการคัดสรรด้วย Elitist Selection

Elitist Selection คือ การรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดีในแต่ละรอบ ในการทำงานของ GA จะมีโครโมโซมตัวที่ดีที่สุดที่จะได้รับโอกาสในการอยู่รอด แต่ก็อาจจะเกิดกรณีตัวที่ดีที่สุดนั้นไม่สามารถผ่านไปในรุ่นถัดไปได้ ทำให้การวิวัฒนาการของโครโมโซมเกิดการไม่ต่อเนื่อง ด้วยเหตุนี้ Murata, 1996 จึงได้เสนอกลยุทธ์ในการปกป้องโครโมโซมตัวที่ดีที่สุด (Elite Chromosome) ให้สามารถอยู่รอดต่อไปได้ เรียกว่า กลยุทธ์การรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (Elitist Strategy) โดยที่หลังจากโครโมโซมทั้งหมดผ่านขั้นตอนของการประเมินค่าความเหมาะสมแล้ว Elitist Strategy จะเลือกเก็บโครโมโซมตัวที่ดีที่สุดเอาไว้ เพื่อนำไปแทนในโครโมโซมรุ่นถัดไป โดยกลยุทธ์การรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดีของ Murata, 1996 นั้นจะสุ่มเลือกโครโมโซมจากประชากรในรุ่นปัจจุบัน (Current Population) ขึ้นมา 1 ตัว แล้วจึงแทนโครโมโซมดังกล่าวนี้ด้วยโครโมโซมที่ดีที่สุดที่ได้จากการเก็บเอาไว้ ดังแสดงในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy

ที่มา : Murata, 1996

2.4.1.5 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination)

GA จะหยุดการทำงานเมื่อ GA มีการทำงานวนครบตามจำนวนรุ่น (Number of Generation) ที่กำหนดเอาไว้ ถ้าหากการทำงานยังไม่ครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนด ก็จะวนกลับไปทำกระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operations) ต่อไป

2.5 การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter Setting)

กลยุทธ์การกำหนดค่าพารามิเตอร์มี 2 แนวทาง (Jong, 2007) คือ

2.5.1 การกำหนดค่าพารามิเตอร์แบบคงที่ (Static) ค่าพารามิเตอร์จะถูกกำหนดเป็นค่าคงที่ไว้ตลอดขณะทำการค้นหาคำตอบจนได้คำตอบที่เหมาะสมที่สุดซึ่งค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวจะได้มาจากการทดลองหลายๆครั้ง เพื่อศึกษาผลของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

2.5.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ ให้สามารถเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ได้ระหว่างการประมวลผล (Dynamic) อย่างมีรูปแบบ อย่างเช่น การประเมินค่า Fitness Landscape ระหว่างการประมวลผลเพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพสำหรับกาประมวลผลครั้งต่อไป หรือการปรับขบวนการค้นหาคำตอบให้มีการกระจายมากขึ้นตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น การกำหนดค่าความแปรปรวนที่จะส่งผลต่อการปรับเปลี่ยนความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ซึ่ง Adaptive Parameter Setting นับว่าเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ผ่านกลไกควบคุมที่มีกฎของตัวเอง โดยนำข้อมูลที่ได้ระหว่างการประมวลผลมาประเมินค่าเพื่อทำการตัดสินใจต่อการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ซึ่งการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการหาคำตอบจะส่งผลต่อองค์ประกอบ 2 องค์ประกอบ ดังนี้

2.5.2.1 Intensification (Exploitation) การนำคำตอบที่มีอยู่ไปใช้ให้เกิดประโยชน์

2.5.2.2 Diversification (Exploration) การกระจายพื้นที่การค้นหาคำตอบ

ดังนั้น การกำหนดค่าพารามิเตอร์จึงจำเป็นต้องอาศัยความเข้าใจอย่างลึกซึ้งถึงวิธีการปรับเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์ของแต่ละวิธีการหาคำตอบ ที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพของวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมกับลักษณะของปัญหา

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ กระบวนการวางแผนล่วงหน้าเกี่ยวกับการทดลองเพื่อให้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการทดสอบ และสามรถนำข้อมูลนั้นมาวิเคราะห์ด้วยวิธีการทางสถิติเพื่อให้ผลถูกต้องตรงกับจุดมุ่งหมายในการทดลอง นอกจากนี้การออกแบบการทดลองยังถูกใช้เพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาผลกระทบของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลตอบสนอง และยังรวมไปถึงการกรองปัจจัย (Screening of Factors) เพื่อค้นหาค่าของปัจจัย หรือพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมากที่สุดของกระบวนการ โดยการทดลองส่วนมากจะเกี่ยวข้องกับปัจจัยหลายตัวและวัตถุประสงค์ของผู้ทำการทดลองก็คือ หาผลกระทบของปัจจัยเหล่านี้กับผลตอบสนองของระบบซึ่งจะเรียกการวางแผน และดำเนินการทดลองว่า กลยุทธ์ของการทดลองซึ่งมีวิธีการที่หลากหลายซึ่งผู้ทดลองสามารถเลือกนำไปใช้ได้ ดังนั้นในการวางแผน และดำเนินการทดลองใดๆ จึงจำเป็นต้องมีการเลือกใช้กลยุทธ์ของการทดลองให้เหมาะสม ซึ่งในการศึกษานี้จะขอกล่าวเฉพาะกลยุทธ์ที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่านั้นแบ่งออกเป็นหัวข้อย่อยๆ ดังนี้

2.6.1 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs)

การออกแบบเชิงแฟคทอเรียล คือ การทดลองที่สมบูรณ์ซึ่งพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Levels) ของปัจจัย (Factors) ทั้งหมดที่เป็นไปได้นั้น โดยการทดลองจะศึกษาถึงผลของปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ในกรณีนี้การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลจะเป็นวิธีการทดลองที่มีประสิทธิภาพสูงสุด เช่น กรณีที่มีปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้น 1 ในการทำซ้ำของการทดลองจะประกอบไปด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง

ผลกระทบของปัจจัยจะอธิบายได้ในลักษณะของผลกระทบหลักหรืออิทธิพลหลัก (Main Effect) หรืออธิบายในลักษณะของการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัย โดยที่ผลกระทบหลัก คือ ผลกระทบของปัจจัยที่ศึกษาซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้นกับผลตอบสนองเมื่อมีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยนั้นๆ ส่วนการมีปฏิสัมพันธ์ระหว่างปัจจัย คือ ผลตอบสนองที่ได้ในแต่ละระดับของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับของปัจจัยอื่นๆด้วย

2.6.2 การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Designs)

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียลกรณีที่มีปัจจัยที่ต้องพิจารณา k ปัจจัย และแต่ละปัจจัยมีระดับปัจจัยอยู่ 3 ระดับ คือ ระดับสูง ระดับกลาง และระดับต่ำ โดยการแทนระดับสูง (High : 1) ระดับกลาง (Intermediate : 0) และระดับต่ำ (Low : -1) โดยจำนวนของการทำซ้ำในการทดลองนี้เป็น $3 \times 3 \times 3 \times \ldots \times 3 = 3^k$ จึงเรียกการทดลองแบบนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟคทอเรียลแบบ 3^k ซึ่งจะเหมาะสมกับผลคำตอบที่มีลักษณะเป็นส่วนโค้ง และจะเห็นได้ว่าขนาดของการออกแบบจะมีค่าสูงขึ้นอย่างรวดเร็วตามขนาดของ k

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนจะเป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนระหว่างความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between - Group Variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within - Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆแตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มก็จะมากตามไปด้วย สำหรับความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงให้เห็นว่าคะแนนแต่ละตัวที่รวบรวมมานั้นภายในแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่า ความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้นและความถูกต้องของแบบจำลองทำได้โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ซึ่งจะมีการตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติโดยการทำกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) ถ้าหากการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติรูปกราฟที่ได้จะเป็นเส้นตรง ทำการตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน σ^2 มีค่าคงตัวโดยการทำกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of Residuals Versus Fitted Valued) ถ้าหากแบบจำลองถูกต้องและสมมติฐานมีความเหมาะสมแล้วกราฟที่ได้ไม่

ควรจะมีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใดทั้งสิ้น และสุดท้ายทำการตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระโดยการทำกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Order of the Data) ถ้าส่วนตกค้างมีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้นหรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล หรือกราฟที่ได้มีการกระจายที่ปลายข้างหนึ่งมากกว่าปลายอีกข้างหนึ่ง แสดงว่าสมมติฐานของความเป็นอิสระถูก วิธีการทดสอบจะทำโดยอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ตารางที่ 2.1)

โดยที่ $SS_T = \sum_{i-1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\sum_{l=1}^{n} y_{ijkl}^{\ 2} - \frac{y^{2}...}{abcn}$

$SS_A = \sum_{i=1}^{a}\frac{y_{i...}^{\ 2}}{bcn} - \frac{y^{2}....}{abcn}$

$SS_B = \sum_{j=1}^{b}\frac{y_{j}^{\ 2}...}{acn} - \frac{y^{2}...}{abcn}$

$SS_C = \sum_{k=1}^{c}\frac{y_{...k}^{\ 2}}{abn} - \frac{y^{2}...}{abcn}$

$SS_{AB} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\frac{y_{ij...}^{\ 2}}{cn} - \frac{y^{2}...}{abcn} - SS_A - SS_B$

$SS_{AC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{k=1}^{c}\frac{y_{ik}^{2}}{bn} - \frac{y^{2}...}{abcn} - SS_A - SS_C$

$SS_{BC} = \sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\frac{y_{jk}^{2}}{an} - \frac{y^{2}...}{abcn} - SS_B - SS_C$

$SS_{ABC} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\frac{y_{ijk.}^{2}}{n} - \frac{y^{2}...}{abcn} - SS_A - SS_B - SS_C - SS_{AC} - SS_{BC}$

$SS_E = SS_T - SS_{subtotals(ABC)}$

$SS_{subtotals(ABC)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{c}\frac{y_{ijk.}^{2}}{n} - \frac{y^{2}...}{abcn}$

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model

แหล่งที่มา (Source of Variation)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares)	องศาเสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squares)	ค่าสถิติ F_0
A	SS_A	a-1	MS_A	$\frac{MS_A}{MS_E}$
B	SS_B	b-1	MS_B	$\frac{MS_B}{MS_E}$
C	SS_C	c-1	MS_C	$\frac{MS_A}{MS_E}$
AB	SS_{AB}	(a-1)(b-1)	MS_A	$\frac{MS_{AB}}{MS_E}$
AC	SS_{AC}	(a-1)(c-1)	MS_{AB}	$\frac{MS_{AC}}{MS_E}$
BC	SS_{BC}	(b-1)(c-1)	MS_{AC}	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$
ABC	SS_{ABC}	(a-1)(b-1)(c-1)	MS_{BC}	$\frac{MS_{ABC}}{MS_E}$
ค่าความผิดพลาด	SS_E	abc (n-1)	MS_{ABC}	
ทั้งหมดที่ปรับแล้ว	SS_T	abcn-1	MS_E	

2.8 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk

ภาษา Tcl/Tk ถูกพัฒนาโดย John K. Outsterhoot ภาษา Tcl -Tool Command Language (อ่านว่า Tickle) เป็นภาษาสคริปต์ที่ต้องใช้ตัวแปรภาษา หรืออินเตอร์พรีตเตอร์ในการทำงานคล้ายกับภาษา Perl หรือ Unix Shell ดังนั้นการใช้งานจึงต้องมีการใช้ Tcl Shell (tclsh) และยังมี Tk (อ่านว่า tee-kay) เป็น Associated Toolkit สำหรับสร้างกราฟิกยูสเซอร์อินเตอร์เฟสบน X Windows System การเรียกใช้งาน Tk ต้องอาศัย Windowing Shell (wish) Tcl/Tk นั้นสามารถนำไปใช้งานได้บนหลายๆแพล็ตฟอร์ม ตั้งแต่ยูนิกซ์ ลีนุกซ์ แมคอินทอช และวินโดวส์ โดยโปรแกรมภาษา Tcl/Tk มีข้อดี ดังนี้

2.8.1 ภาษา Tcl เป็นภาษาโปรแกรมที่ใช้งานได้ง่าย สำหรับนักเขียนโปรแกรมที่มีประสบการณ์สามารถเรียนรู้ Tcl และพัฒนาโปรแกรมด้วย Tcl ได้อย่างรวดเร็ว

2.8.2 สามารถทำงานได้ทั้งบนระบบปฏิบัติการ UNIX, Windows, Macintosh และระบบปฏิบัติการอื่นๆ ที่มีใช้กันแพร่หลาย นั่นคือ Tcl Script หนึ่งสามารถนำไปทำงานได้ทั้งบน Unix , Windows และ Macintosh และในการแสดง GUI จะมีความแตกต่างกันขึ้นอยู่กับแต่ละ Platform

2.8.3 เป็นภาษาที่มีความเสถียรสูง เหมาะสำหรับแอปพลิเคชั่นขนาดใหญ่ และวัตถุประสงค์อื่นๆ ขององค์กร

2.8.4 ด้วยการใช้ Tcl จะเป็นการง่ายที่จะประสานกับองค์ประกอบ (Component) และโปรแกรมอื่นที่มีอยู่ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น การใช้ Tcl เป็นภาษาสำหรับ ควบคุมอุปกรณ์ และ โปรโตคอล (Protocols) ที่ทำงานเฉพาะอย่างการเพิ่ม GUI หรือส่วนติดต่อกับเครือข่ายให้กับแอปพลิเคชั่นเดิม หรือการรวมแอปพลิเคชั่นที่สร้างจากภาษา Java กับ Code โปรแกรมเดิมของภาษา C/C++

2.8.5 Tcl เป็นโปรแกรมที่สามารถดาวน์โหลดได้โดยไม่เสียค่าใช้จ่ายซึ่งหาได้ที่ Tcl Developer X change และสามารถทำการแก้ไขให้เหมาะสมกับความต้องการของนักพัฒนาได้

2.9 โครงงานที่เกี่ยวข้อง

2.9.1 พัชราภรณ์, 2007 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยเจนเนติกอัลกอริทึม โดยศึกษาการทำงานของกระบวนการ GA กรณีการสลับสายพันธุ์แบบ EERX และการกลายพันธุ์แบบ 2OAS เพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีระยะทางการขนถ่ายน้อยที่สุด ในการจัดเรียงเครื่องจักรจะเป็นการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียวและแบบสองแถว ด้านข้อมูลความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภทจะใช้ข้อมูลทั้งหมด 4 ชุด โดยมีทั้งขนาดเล็ก และขนาดกลาง

2.9.2 M.Ficko, M.Brezocnik and J.Balic, 2004 ได้ศึกษาเกี่ยวกับการออกแบบระบบผลิตแบบยืดหยุ่นในการจัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว และแบบหลายแถวในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นโดยใช้เจนเนติกอัลกอริทึม อันดับแรกได้ศึกษาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น หลังจากนั้นได้ศึกษาลักษณะของระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น และวิธีการจัดเรียงเครื่องจักรด้วยวิธีเจเนติกอัลกอริทึม โดยเลือกวิธีการที่เหมาะสมที่สุดคือ การสลับสายพันธุ์ 3 แบบ คือ PMX, CX, OX สำหรับการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นจะใช้ AGV ในการเคลื่อนที่

บทที่ 3
วิธีดำเนินงานโครงงาน

จากการศึกษาข้อมูล และทฤษฎีการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น และวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม จึงทำให้มีความรู้ และความเข้าใจเกี่ยวกับปัญหามากยิ่งขึ้น ซึ่งจะนำสู่วิธีดำเนินงานโครงงานในครั้งนี้ โดยวิธีดำเนินงานจะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของเครื่องมือ และอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานโครงงาน และส่วนของขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน สามารถอธิบายได้ ดังนี้

3.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่ใช้ดำเนินงานโครงงาน

คอมพิวเตอร์แล็บท็อป 1 เครื่อง สำหรับเขียน และรันโปรแกรมเพื่อเก็บผลการทดลอง มีรายละเอียดของเครื่อง ดังนี้

3.1.1 CPU Intel(R) Pentium(R) Dual 2.0 GHz.

3.1.2 DDR-RAM 1.0 GB.

3.1.3 Harddisk 2.0 GHz.

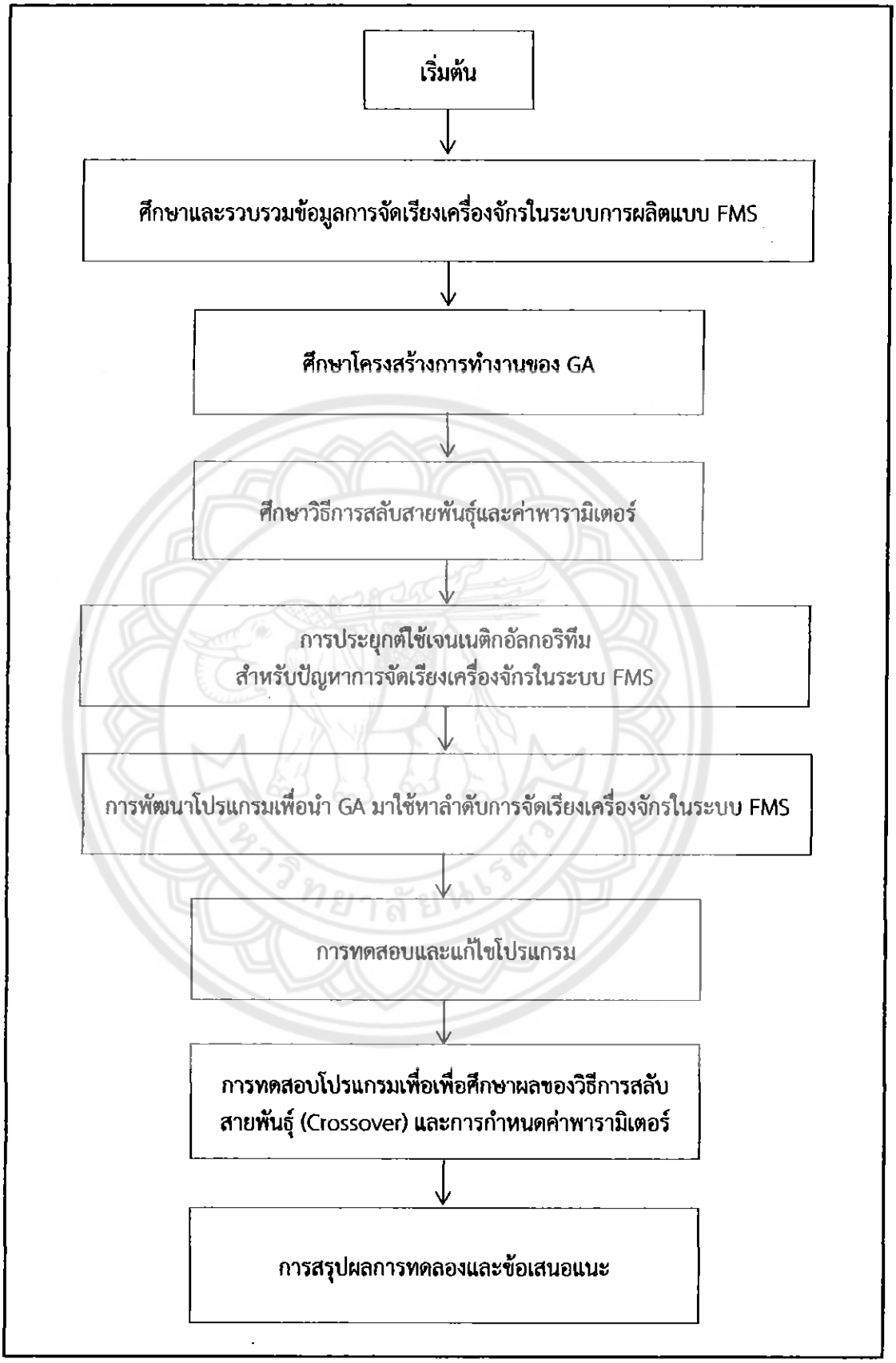
3.1.4 ระบบปฏิบัติการไมโครซอฟท์ วินโดวส์เอ็กซ์พี โปรเฟสชั่นแนล (Microsoft Windows XP Professional with Service Pack 2)

ภาษาที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS ด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม คือ โปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน

ขั้นตอนการดำเนินงานโครงงานครั้งนี้ เริ่มต้นจากการศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบ FMS, การศึกษาโครงสร้างการทำงานของ GA, ศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ และค่าพารามิเตอร์, การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS, การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS, การทดสอบ และแก้ไขโปรแกรม ตลอดจนการสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ ซึ่งสามารถอธิบายได้ดังรูปที่ 3.1

15929519
มร.
ว7ธ51
2554



รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน

3.2.1 ศึกษาและรวบรวมข้อมูลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบ FMS

ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบ FMS ประกอบด้วย ข้อมูลชิ้นส่วนการผลิต ข้อมูลของเครื่องจักร และข้อมูลการวางผังเครื่องจักร

3.2.1.1 ข้อมูลของชิ้นส่วนการผลิต

ในโครงงานนี้ได้นำเอาปัญหาการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรมาตรฐานที่ได้ตีพิมพ์ในระดับนานาชาติมาประยุกต์ใช้ โดยชุดข้อมูลดังกล่าวถูกศึกษาโดย Nearchou, 2005 ซึ่งชุดข้อมูลมีทั้งหมด 4 ชุดดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท โดยอ้างอิงชุดข้อมูลของ Nearchou, 2005

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

ที่มา : Nearchou, 2005

3.2.1.2 ข้อมูลของเครื่องจักร

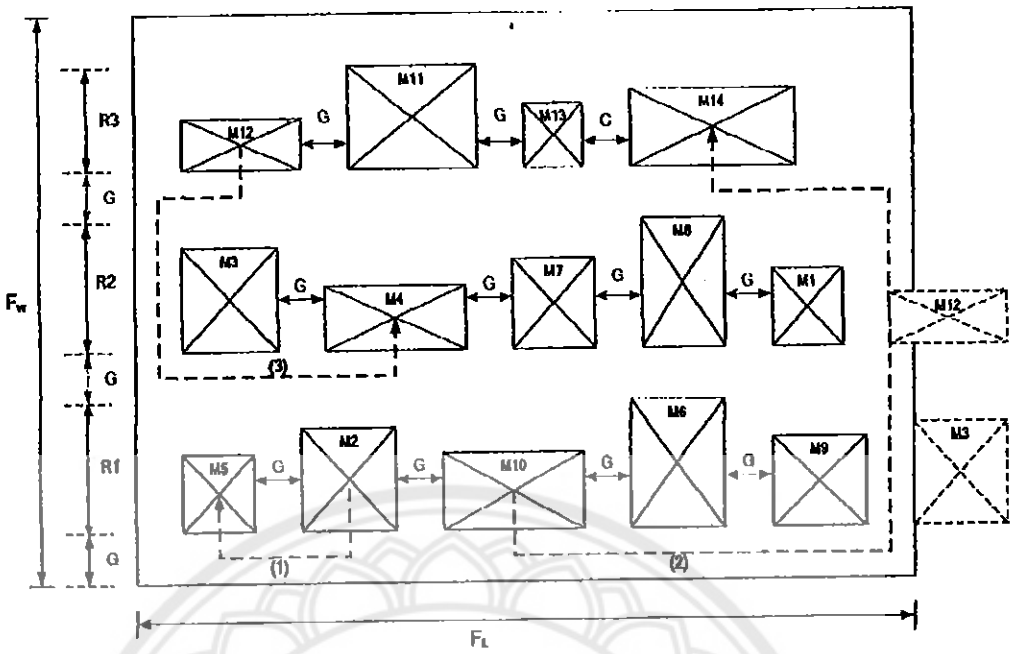
โดยเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีรูปทรงเป็นรูปสี่เหลี่ยมมุมฉาก ความกว้าง (Width : W_i) และความยาว (Length : L_i) ของเครื่องจักรถูกกำหนดโดยผู้ใช้ มีหน่วยเป็นเมตร ซึ่งจุดกึ่งกลาง (Centroid) ของแต่ละเครื่องจักรจะเป็นจุดปฏิบัติงานของเครื่องจักร โดยการจัดวางเครื่องจักรจะกำหนดให้ด้านความกว้างอยู่ตามแนวแกน Y และด้านความยาวอยู่ตามแนวแกน X

3.2.1.3 ข้อมูลของการวางผังเครื่องจักร (Machine Layout Design)

เนื่องจากในปัจจุบันมีการวางผังเครื่องจักรหลายรูปแบบ แต่ในโครงงานนี้จะสนใจเฉพาะการวางผังเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multiple Row Layout) โดยการจัดวางผังเครื่องจักรจะกำหนดให้ขนาดของโรงงานเป็นรูปทรงสี่เหลี่ยม ซึ่งในโครงงานนี้กำหนดให้ ด้านยาว คือ F_L เป็นด้านยาวของเนื้อที่โรงงาน และด้านกว้าง คือ F_W เป็นด้านกว้างของเนื้อที่โรงงาน ซึ่งด้านยาว และด้านกว้างจะถูกกำหนดเองโดยผู้ใช้งานโปรแกรม มีหน่วยเป็น เมตร และช่องว่างของแต่ละเครื่องจักร รวมไปถึงช่องว่างของแต่ละแถว (ให้มีขนาดเท่ากัน) กำหนดให้ เป็น G คือ ช่องว่างระหว่างเครื่องจักร (Gap Between Machines) ที่เว้นไว้ให้ AGV และเว้นไว้เป็นทางเดินสำหรับการทำงานในโรงงาน มีหน่วยเป็น เมตร ในการศึกษาโครงงานนี้ได้กำหนดสมมติฐานในการเคลื่อนที่ของ AGV คือ AGV จะเดินทางเป็นเส้นตรง จากซ้ายไปขวา หรือขวาไปซ้าย จากบนลงล่างหรือจากล่างขึ้นบน และในโครงงานนี้เครื่องจักรเป็นแบบหลายแถว (Multiple Rows Layout) การเดินทางของ AGV จะเดินทางโดยแบ่งออกเป็น 2 กรณี ดังแสดงในรูปภาพที่ 3.2

กรณีที่ 1 คือ เดินทางในแถวเดียวกันโดย AGV จะออกจากเครื่องจักรต้นทางทางด้านล่างแล้วเคลื่อนที่ไปตามช่องว่าง G ที่กำหนดไว้ แล้วเลื่อนซ้าย/ขวาไปหาอีกเครื่องจักรปลายทาง และเข้าหาอีกเครื่องจักรปลายทางทางด้านล่างเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (1)

กรณีที่ 2 คือ เดินทางคนละแถวจากแถวล่างขึ้นไปแถวบน ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (2) และจากแถวบน ลงแถวล่าง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 (3) โดย AGV จะออกจากเครื่องจักรต้นทางทางด้านล่าง แล้วเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาสุด หรือด้านซ้ายสุดของแถว จะมีช่องว่าง G แบ่งไว้เพื่อให้ AGV เดินทางขึ้น/ลงไปแถวของเครื่องจักรที่อยู่ข้างบน/ล่าง (ปลายทาง) โดยการเลือกเส้นทางว่าจะไปทางซ้าย หรือขวานั้นจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้น AGV จะเข้าหาเครื่องจักรปลายทางทางด้านล่าง



รูปที่ 3.2 แสดงการเดินทางของเครื่องจักร AGV

(1) การเดินทางแถวเดียวกัน

(2) การเดินทางจากแถวล่างขึ้นแถวบน

(3) การเดินทางจากแถวบนลงแถวล่าง

ที่มา : พัชราภรณ์, 2007

3.2.2 ศึกษาโครงสร้างการทำงานของ GA

ขั้นตอนการทำงานของ GA จะมีทั้งหมด 5 ขั้นตอน ดังนี้

3.2.2.1 การสร้างโครโมโซม

3.2.2.2 กระบวนการทางพันธุกรรม

3.2.2.3 การคำนวณค่าความเหมาะสม

3.2.2.4 การคัดสรร

3.2.2.5 การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน

ซึ่งรายละเอียดของเนื้อหาได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4.1

3.2.3 ศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์และค่าพารามิเตอร์

3.2.3.1 การศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์

ทำการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ทั้ง 3 วิธี คือ PMX, CX และ OX ซึ่งจะอ้างอิงค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาของ พัชราภรณ์ อริยะวงษ์ ที่ได้จากการทดลอง คือ Pop/Gen = 25/100, P_c = 0.5 และ P_m = 0.9 เพื่อหาวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด โดยมีระยะทางการเคลื่อนที่

ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) แล้วนำวิธีการสลับสายพันธุ์ดังกล่าวมาทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3.2.3.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

ก. การออกแบบการทดลอง จะทำการออกแบบการทดลอง เพื่อทำการศึกษา และทดสอบเพื่อกรองหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อการทำงานของ GA เกี่ยวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของ Pop/Gen, P_c และ P_m ที่เหมาะสม

ข. พารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ (Adaptive Parameter) เป็นการปรับค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้เอง โดยจะปรับเปลี่ยนค่าได้ทั้งค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ และค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์กับความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ และจะทำการทดสอบโดยการรันโปรแกรมกับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรของข้อมูลชุดที่ 4 เท่านั้น

3.2.4 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

แนวคิดของโปรแกรมที่ประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนของแฟ้มข้อมูลนำเข้า, ส่วนของการประมวลผล และส่วนของแฟ้มข้อมูลนำออก โดยในแต่ละส่วนของโปรแกรมจะถูกควบคุมโดยผู้ใช้โปรแกรมผ่านทางหน้าจอควบคุมของโปรแกรม สามารถอธิบายถึงส่วนต่างๆ ได้ ดังนี้

3.2.4.1 วิเคราะห์ และออกแบบแฟ้มข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

ก. แฟ้มนำเข้าข้อมูลเครื่องจักร เก็บรายละเอียดพื้นฐานของแต่ละเครื่องจักร ดังนี้

ก.1 จำนวนเครื่องจักรทั้งหมดที่ใช้ในระบบ FMS (TotalMachine)

ก.2 หมายเลขเครื่องจักร (MachineID)

ก.3 ความกว้างของเครื่องจักร i มีหน่วยเป็นเมตร (W_i)

ก.4 ความยาวของเครื่องจักร i มีหน่วยเป็นเมตร (L_i)

ข. แฟ้มนำเข้าข้อมูลผลิตภัณฑ์ และลำดับการทำงาน เก็บรายละเอียดพื้นฐานของแต่ละผลิตภัณฑ์ ดังนี้

ข.1 จำนวนผลิตภัณฑ์ทั้งหมดที่ผลิตในระบบ FMS (TotalProduct)

ข.2 ประเภทของผลิตภัณฑ์ (ProductID)

ข.3 ลำดับการทำงานของเครื่องจักรของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Sequence)

3.2.4.2 การประมวลผล

เป็นการคำนวณหาการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมโดยมีระยะทางการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายขั้นตอนในการประมวลผล ดังนี้

ก. เริ่มต้นกระบวนการทำงาน

ข. ใส่แฟ้มข้อมูลนำเข้า ซึ่งเป็นข้อมูลพื้นฐานของเครื่องจักร และข้อมูลพื้นฐานของผลิตภัณฑ์

ค. กำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ต้องการใช้หาคำตอบของการจัดเรียงเครื่องจักรในแต่ละครั้ง

ง. กำหนดค่าของปัญหาที่ต้องการใช้หาคำตอบของการจัดเรียงเครื่องจักรในแต่ละครั้ง

จ. การสร้างประชากรเริ่มต้น จะเริ่มจากการสุ่มค่าคำตอบมาจำนวนหนึ่งแล้วแปลงค่าคำตอบเหล่านั้นให้เป็นโครโมโซม ซึ่งจะเรียกโครโมโซมเหล่านี้ว่า ประชากร ซึ่งยีนในโครโมโซมจะเรียงต่อกันแบบเลขจำนวนเต็ม โดยแต่ละยีนจะแทนด้วยเลขจำนวนเต็ม 1 ค่า คือ หมายเลขของเครื่องจักร แสดงรูปแบบโครโมโซมดังรูปที่ 3.3

2	1	3	5	4	6

รูปที่ 3.3 แสดงรูปแบบโครโมโซม

ฉ. กระบวนการทางพันธุกรรม จะประกอบด้วยการสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ โดยจะทำการสลับสายพันธุ์ก่อนแล้วจึงทำการกลายพันธุ์ และในการจัดเก็บโครโมโซมลูกจะใช้การจัดเก็บโครโมโซมแบบแทนที่ ซึ่งในโครงงานนี้จะทดสอบประสิทธิภาพของการสลับสายพันธุ์ 3 แบบ คือ Partial Mapped Crossover : PMX, Order Crossover : OX และ Cycle Crossover : CX และทดสอบการกลายพันธุ์อีก 1 แบบ คือ Tow Operations Adjacent Swap : 2OAS

ช. การประเมินค่าความเหมาะสม จะเป็นการคำนวณหาค่าที่น้อยที่สุดของระยะทางในการเคลื่อนที่ของเครื่องจักร ขณะทำการผลิตผลิตภัณฑ์ โดยสมการวัตถุประสงค์ จะอ้างอิงจากการศึกษาของ พัชราภรณ์, 2007 ดังนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$\text{Minimize Total Distance} = \sum_{j=1}^{M-1}\sum_{i=1}^{M} f_{ij}d_{ij} \qquad (3.1)$$

เมื่อกำหนดให้ m = จำนวนของเครื่องจักร (machines) (m = 1, 2, 3..., M)

f_{ij} = จำนวนรอบของการเคลื่อนที่จากเครื่องจักร i ไปเครื่องจักร j (f_{ii} = 0)

d_{ij} = ระยะทางระหว่างจุดกึ่งกลางของเครื่องจักร i ถึงจุดกึ่งกลางของเครื่องจักร j

i , j = เครื่องจักร (i,j = 1,2,3,...,N)

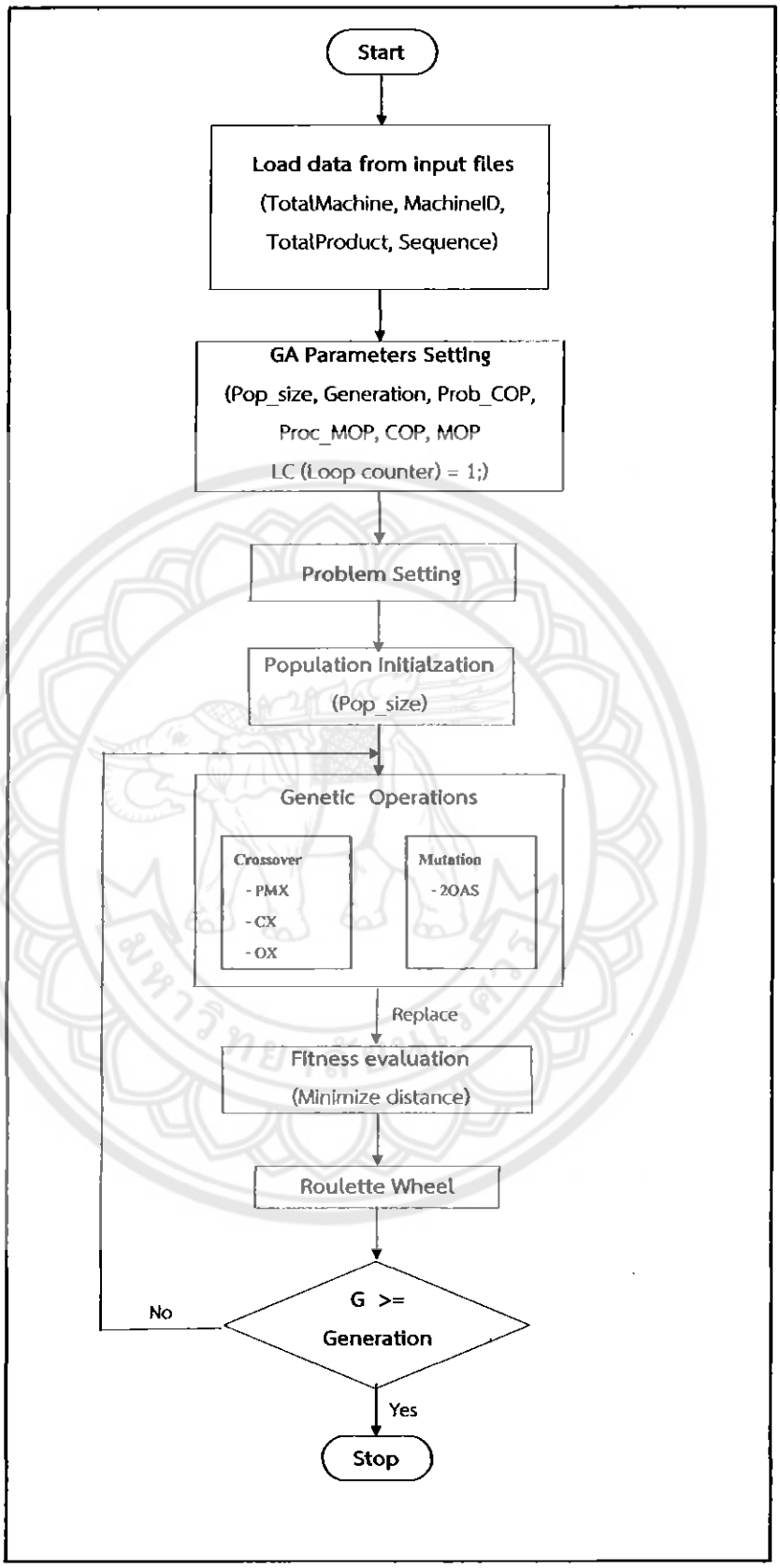
แล้วนำค่าที่คำนวณได้ไปทำการประเมินค่าความเหมาะสม ซึ่งในโครงงานนี้ต้องการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize Problem) จึงจำเป็นต้องปรับค่าฟังก์ชันเป้าหมายจากค่าคำตอบน้อยซึ่งเป็นคำตอบที่ดีให้มีค่าความเหมาะสมมาก และค่าคำตอบมากซึ่งเป็นค่าคำตอบที่ไม่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมน้อย โดยจะใช้วิธีการกลับค่าตามสมการ (2.2) ที่ได้เสนอไปก่อนหน้านี้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4.1

ช. การคัดสรร จะใช้รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) ซึ่งรายละเอียดของการคัดสรรนั้น ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.4.1

ฌ. การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน จะกำหนดให้ GA หยุดการทำงานเมื่อมีการทำงานครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนดเอาไว้ ถ้าหากยังไม่ครบตามจำนวนรุ่นที่กำหนดเอาไว้ ก็จะวนกลับไปทำงานที่กระบวนการ GA ต่อไป ในประชากรรุ่นถัดไป

ญ. หยุดกระบวนการทำงาน

ซึ่งขั้นตอนการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถแสดงได้ดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 แสดงการประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอริทึมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

ที่มา : ดัดแปลงจาก พัชราภรณ์, 2007

3.2.4.3 วิเคราะห์ และออกแบบแฟ้มข้อมูลนำออก ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ

ก. แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

ก.1 จำนวนประชากร (Population Size)

ก.2 จำนวนรุ่น (Number of Generation)

ก.3 ค่าอัตราการสุ่ม (Random Seed Value)

ก.4 ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (Probability of Crossover)

ก.5 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability of Mutation)

ก.6 ชนิดของการสลับสายพันธุ์ (Crossover Operation)

ก.7 ชนิดของการกลายพันธุ์ (Mutation Operation)

ก.8 เปอร์เซ็นต์ของการเก็บโครโมโซมพันธุ์ดีเทียบต่อขนาดของประชากร (Elitist probability (%))

ก.9 จำนวนเครื่องจักร (Total of Machine)

ก.10 จำนวนผลิตภัณฑ์ (Total of Part)

ข. แสดงการกำหนดค่าของปัญหา ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

ข.1 ความกว้างของพื้นที่ (Width Area : F_W)

ข.2 ความยาวของพื้นที่ (Length Area : F_L)

ข.3 พื้นที่ว่างสำหรับขนส่ง (Gap between Machine)

ค. แสดงส่วนของผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งจะแสดงค่าต่างๆ ดังนี้

ค.1 เลขในแต่ละเจนเนอเรชัน (Generation Number)

ค.2 ค่าที่ดีที่สุดของเจนเนอเรชันนั้นๆ (Best Value)

ค.3 ค่าที่ดีที่สุดของทุกๆ เจนเนอเรชัน (Best so Far)

ค.4 ค่าเฉลี่ยของระยะทางที่ได้ในเจนเนอเรชันนั้นๆ (Average)

ค.5 ส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)

ค.6 แสดงลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรของโรงงาน (Sequence of Machine with GA)

ค.7 เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (Usage of Time)

ค.8 จำนวนผลิตภัณฑ์ (Part)

ค.9 ลำดับการจัดเรียงของเครื่องจักรในการผลิต (Sequence)

ค.10 ระยะทางที่ใช้ในการเคลื่อนที่ในการผลิตของแต่ละผลิตภัณฑ์ (Distances)

ค.11 ระยะทางรวมที่สั้นที่สุดที่ได้จากการเคลื่อนที่ในการผลิตของทุกผลิตภัณฑ์ (Total Distances)

3.2.5 การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS

โปรแกรมจะถูกพัฒนาขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อสำหรับผู้ใช้ (Graphic User Interface) ได้ดี โดยลักษณะต่างๆ ของโปรแกรมจะกล่าวถึงในบทที่ 4 ถัดไป

3.2.6 การทดสอบ และแก้ไขโปรแกรม

จากการที่ได้พัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS เรียบร้อยแล้ว ต้องนำโปรแกรมที่ถูกพัฒนาขึ้นมาไปทำการทดสอบโปรแกรม เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของขั้นตอนการทำงานของโปรแกรม ซึ่งจะทำการทดสอบโดยการรันโปรแกรมกับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรของข้อมูลทั้งหมด 4 ชุดที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 หัวข้อที่ 3.2.1.1 โดยโปรแกรมที่พัฒนานี้จะต้องแสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นที่มีระยะทางการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด

3.2.7 การทดสอบโปรแกรมเพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกำหนดค่าพารามิเตอร์

3.2.7.1 การศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ เมื่อพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS เรียบร้อยแล้ว จึงทำการทดสอบโปรแกรมเพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) 3 วิธี ที่ดีที่สุดที่มีผลต่อประสิทธิภาพการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น

3.2.7.2 การศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์มี 2 ลักษณะ คือ

ก. การกำหนดค่าพารามิเตอร์โดยการออกแบบการทดลอง ในการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ทั้ง 3 วิธี คือ PMX, CX และ OX จะอ้างอิงค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาของ พัชราภรณ์ อริยะวงษ์ ที่ได้จากการทดลอง คือ Pop/Gen = 25/100, P_c = 0.5 P_m = 0.9 และค่า Seed ที่แตกต่างกันจำนวน 30 ค่า ซึ่งทั้ง 3 วิธีนี้จะทำการทดสอบโดยการรันโปรแกรมกับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรของข้อมูลทั้งหมด 4 ชุด เพื่อหาวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) ในการออกแบบการทดลองครั้งนี้ได้กำหนดปัจจัยไว้ 3 ปัจจัย คือ ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (Probability of Crossover : P_c) และความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability of Mutation : P_m) โดยแต่ละปัจจัยจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ ดังแสดงในตารางที่ 3.2 ซึ่งจะทำการทดสอบกับข้อมูลทั้ง 4 ชุด และการทดลองจะมีการทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.2 แสดงปัจจัยและระดับของการทดลอง

ปัจจัย	ระดับ (Levels)	ค่า (Values)		
		ต่ำ (-1)	กลาง (0)	สูง (1)
ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen)	3	25/100	50/50	100/25
ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c)	3	0.1	0.5	0.9
ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m)	3	0.1	0.5	0.9

จากปัจจัยและระดับของการทดลอง จะใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลสมบูรณ์ (Full Factorial Design : FFD) โดยจะทำการรัน 3 x 3 x 3 = 27 รัน มีการทำซ้ำ 5 ครั้ง ดังนั้น จำนวนการรันทดสอบทั้งหมดคือ 27 x 5 = 135 รัน ซึ่งเรียกการออกแบบการทดลองนี้ว่า การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลแบบสามระดับ (3^k Factorial Designs)

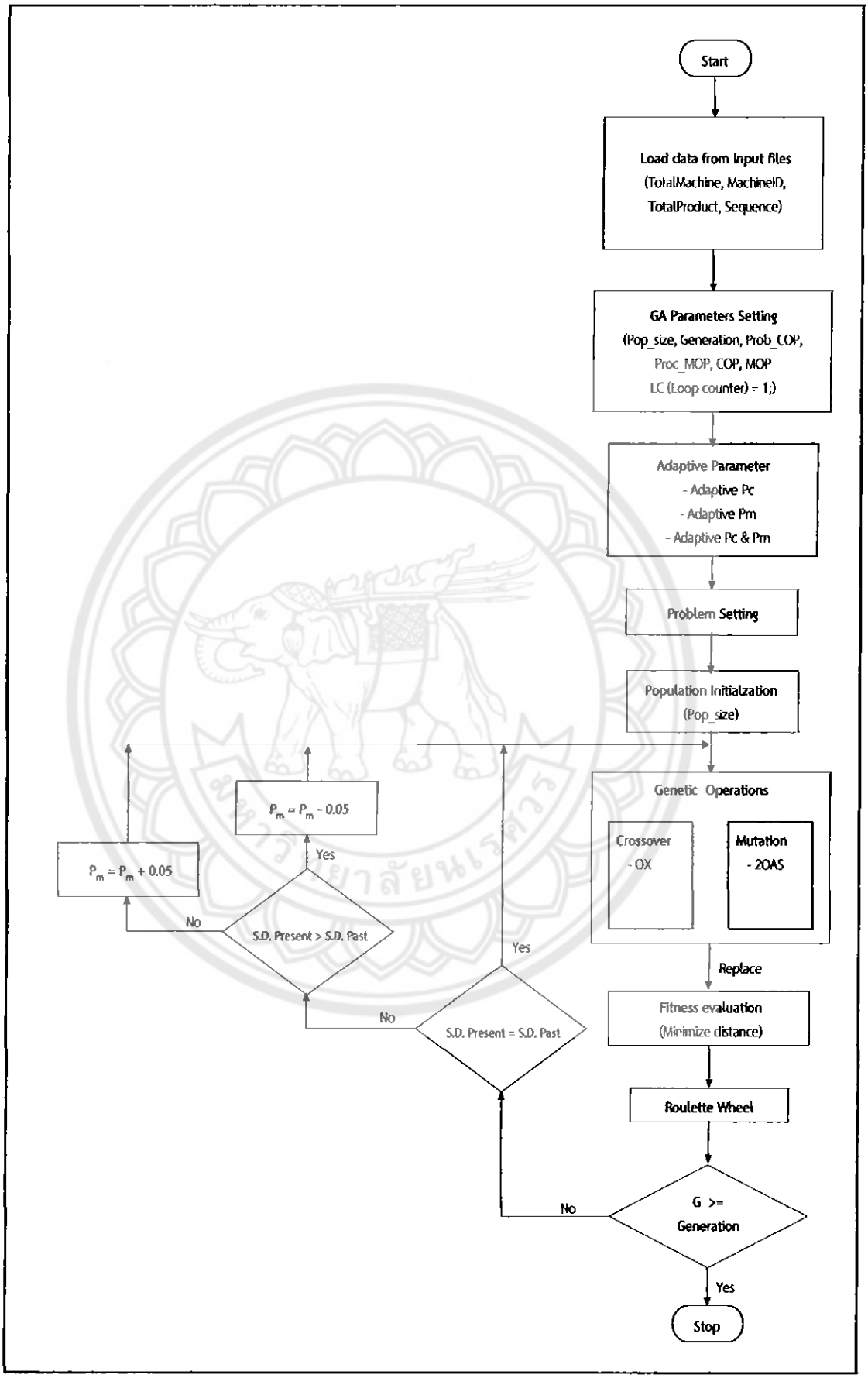
ข.การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ในการศึกษาวิธี Adaptive Parameter นั้น ได้ทำการศึกษาโดยออกแบบให้โปรแกรมสามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ทั้งหมด 3 วิธี คือ

ข.1 ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ (P_c)

ข.2 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (P_m)

ข.3 ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์และการกลายพันธุ์ (Adaptive P_c & P_m)

โดยจะปรับค่าพารามิเตอร์ตามค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviation : S.D.) ที่ได้ในแต่ละรุ่น คือ ถ้าค่า S.D. ปัจจุบันน้อยกว่าค่า S.D. ในอดีต ค่าพารามิเตอร์จะปรับขึ้น 0.05 แต่ถ้าค่า S.D. ปัจจุบันมากกว่าค่า S.D. ในอดีต ค่าพารามิเตอร์จะปรับลง 0.05



รูปที่ 3.5 แสดงขั้นตอนการทำงานของการ Adaptive Parameter

3.2.8 การสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ

การสรุปผลการทดลอง จะทำการสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของโครงงานที่ได้กำหนดไว้ คือ

3.2.8.1 เพื่อศึกษากระบวนการทำงานของ GA และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

3.2.8.2 พัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance)

3.2.8.3 เพื่อศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

3.2.8.4 เพื่อศึกษาผลของพารามิเตอร์ของ GA ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

บทที่ 4
ผลการทดลองและการวิเคราะห์

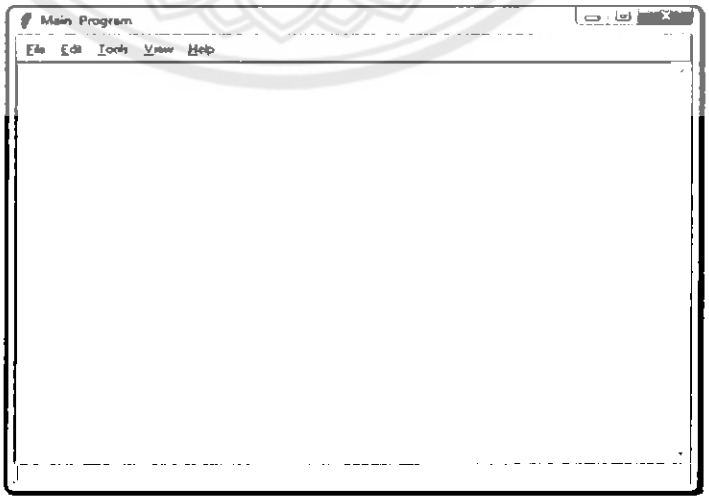
เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางของการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) ผลการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด ผลการศึกษาเกี่ยวกับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด และผลการศึกษาเกี่ยวกับค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ (Adaptive Parameter) ซึ่งผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ ดังนี้

4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาลำดับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS

โปรแกรมที่พัฒนาขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อสำหรับผู้ใช้ (Graphic User Interface) ได้ดี โดยลักษณะต่างๆ ของโปรแกรมมีลักษณะ ดังนี้

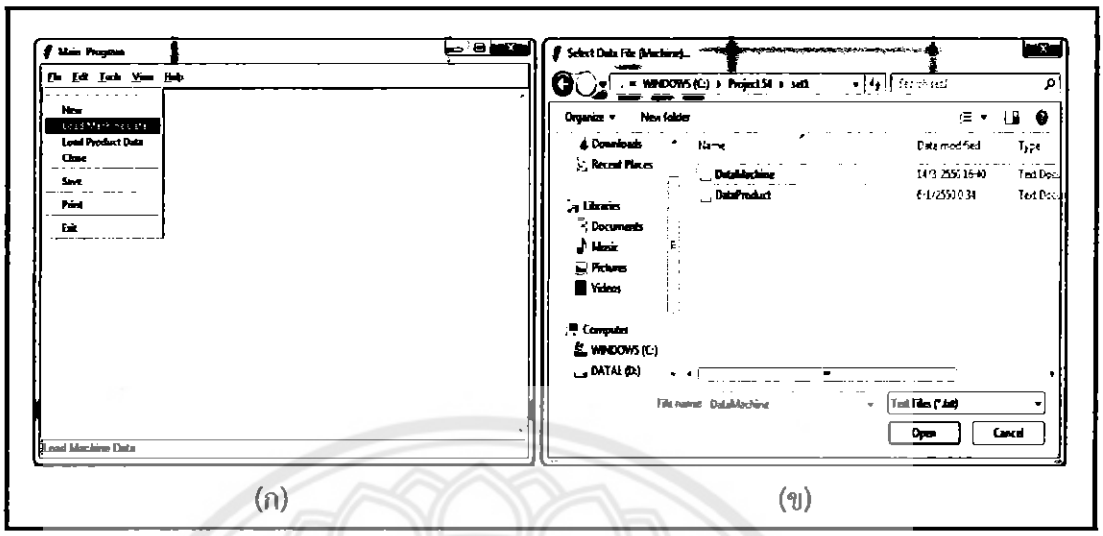
4.1.1 หน้าจอหลัก

ลักษณะหน้าจอหลักของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีลักษณะดัง รูปที่ 4.1 โดยหน้าจอหลักนี้จะใช้ในการนำแฟ้มข้อมูลนำเข้า คือ แฟ้มนำเข้าข้อมูลเครื่องจักร และแฟ้มนำเข้าข้อมูลผลิตภัณฑ์และลำดับการทำงาน เข้ามาสู่โปรแกรม



รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม

ซึ่งในการนำแฟ้มข้อมูลนำเข้า เข้ามาสู่โปรแกรมนั้น สามารถทำได้ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 (ก) แสดงการเลือกนำแฟ้มข้อมูลนำเข้าสู่โปรแกรม
(ข) แสดงการนำแฟ้มข้อมูลนำเข้าสู่โปรแกรม

4.2.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

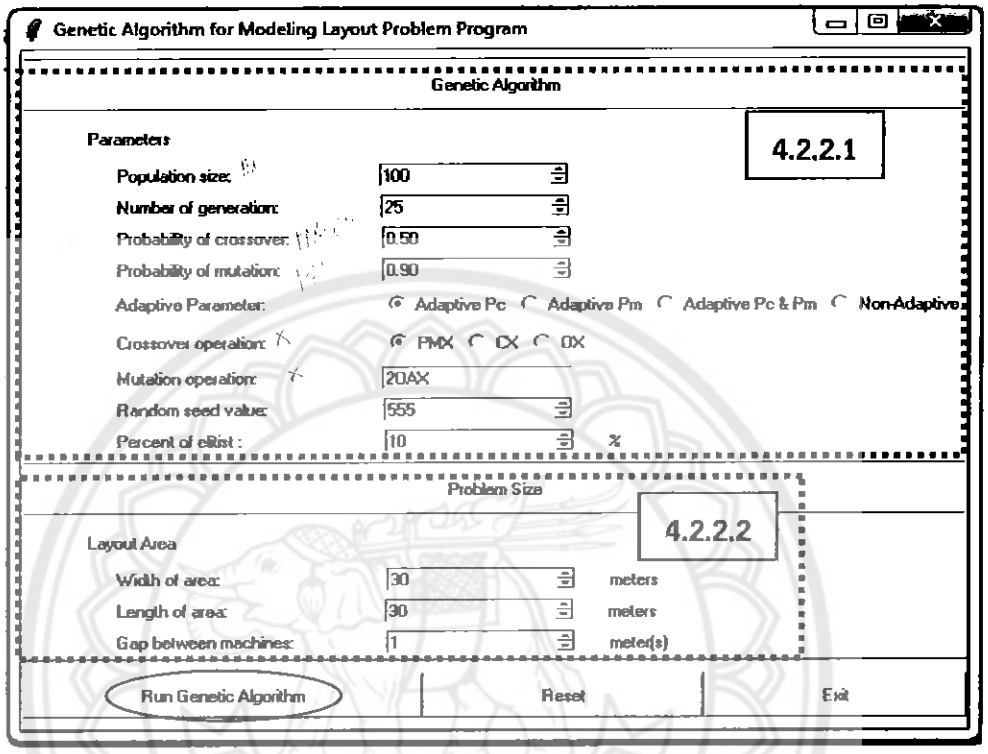
หน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะแสดงเมื่อมีการโหลดแฟ้มข้อมูลนำเข้าเรียบร้อยแล้ว และทำการเลือก Genetic Algorithm ดังแสดงในรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกวิธี Genetic Algorithm

ซึ่งหน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ

4.2.2.1 ส่วนของ Parameters จะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ผู้ใช้ต้องการ

4.2.2.2 ส่วนของ Layout Area จะเป็นการกำหนดขนาดของปัญหา ซึ่งจะเกี่ยวกับขนาดพื้นที่ และระยะห่างระหว่างเครื่องจักร และเมื่อกำหนดค่าต่างๆเรียบร้อยแล้วจะต้องกด Run Genetic Algorithm ทุกครั้งเพื่อให้โปรแกรมเริ่มการทำงาน



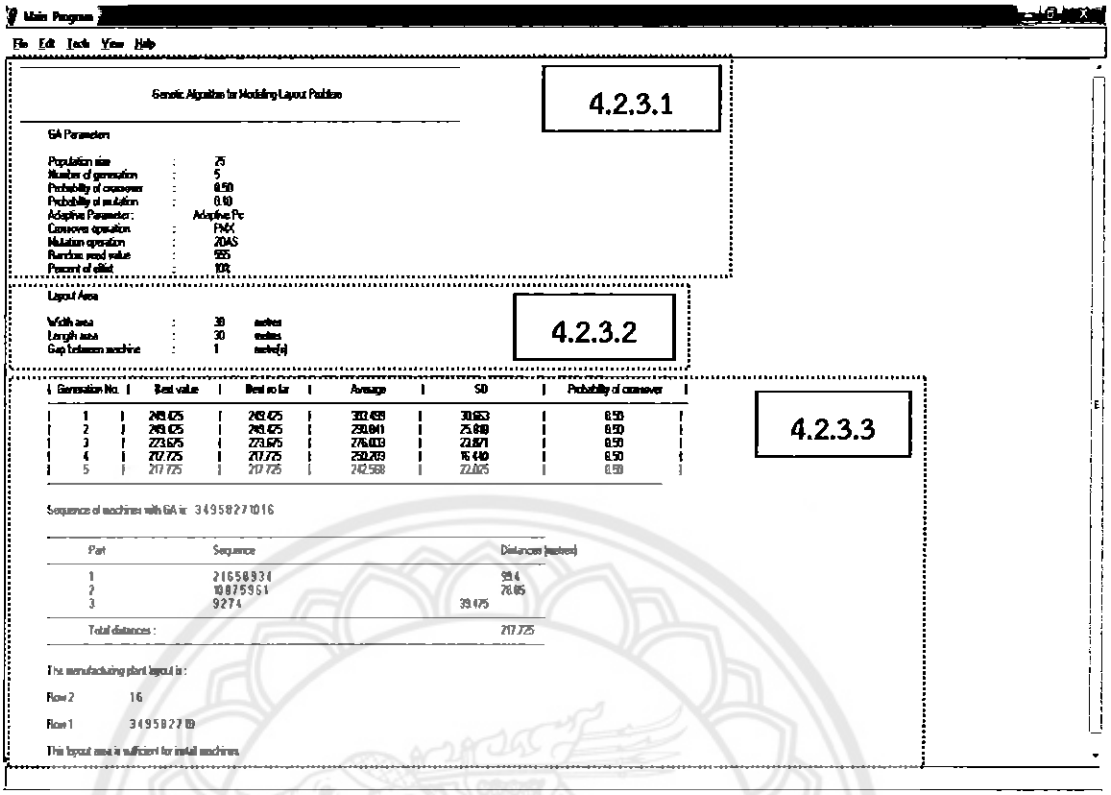
รูปที่ 4.4 แสดงหน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

4.2.3 หน้าจอแสดงผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

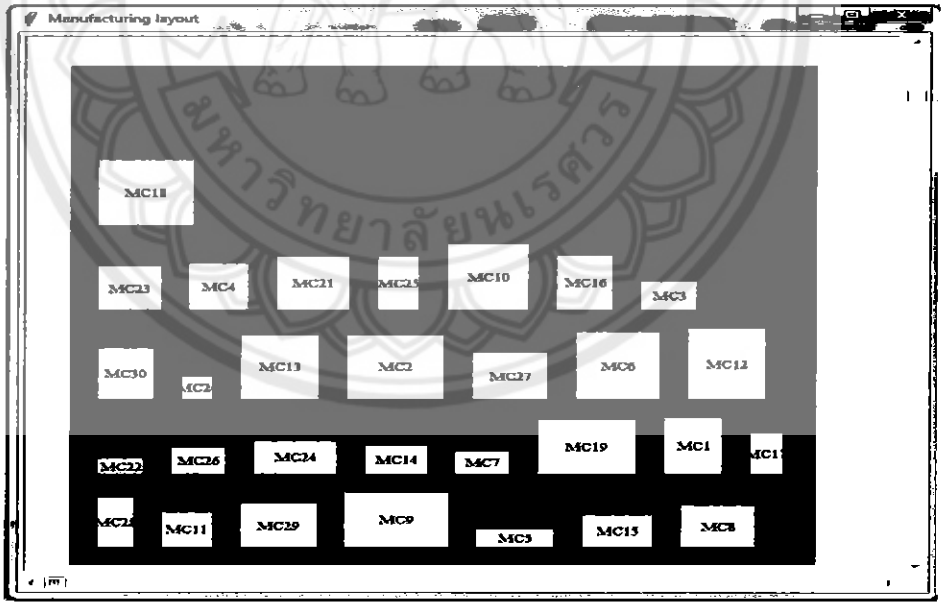
4.2.3.1 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

4.2.3.2 แสดงการกำหนดค่าของปัญหา

4.2.3.3 แสดงส่วนของผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งทั้ง 3 ส่วน จะมีลักษณะดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 แสดงหน้าจอแสดงผล



รูปที่ 4.6 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค

4.2.4 เวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรม

ในการรันโปรแกรมแต่ละชุดข้อมูลจะใช้เวลาในการหาคำตอบไม่เท่ากัน ขึ้นอยู่กับขนาดของปัญหาว่าเป็นปัญหาขนาดเล็กหรือขนาดใหญ่ ซึ่งสำหรับโปรแกรมที่ได้พัฒนาขึ้นนี้จะใช้เวลาในการรันโปรแกรมดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงเวลาที่ใช้ในการรันโปรแกรมแต่ละชุดข้อมูล

ชุดข้อมูลที่	1	2	3	4
เวลาที่ใช้	18.69 วินาที	43.25 วินาที	51.04 วินาที	119.17 วินาที

4.2 ผลการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์

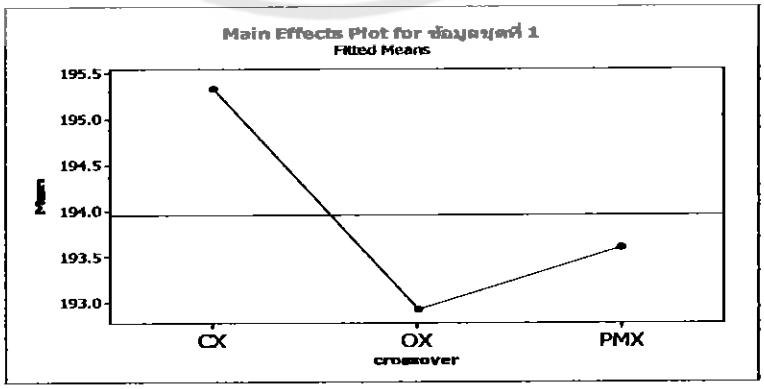
จากการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ทั้ง 3 วิธี คือ PMX, CX และ OX ซึ่งอ้างอิงจากงานวิจัยของ M.Ficko, M.BrezocnikandJ.Balic, 2004 โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการศึกษาอ้างอิงจาก พัชราภรณ์ อริยะวงษ์ ในการศึกษานี้ทำการทดลองกับชุดข้อมูล 4 ชุด ทดลองซ้ำ 5 ครั้ง และทำการวิเคราะห์ผลของวิธีสลับสายพันธุ์ที่มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งได้ผลการศึกษาต่อไปนี้

4.2.1 ข้อมูลชุดที่ 1

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1

source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
crossover	2	92.7	46.3	0.58	0.56
Error	87	6913.9	79.5		
Total	89	7006.6			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้จากปัจจัยดังกล่าว ค่า P มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่าวิธีการสลับสายพันธุ์ไม่มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

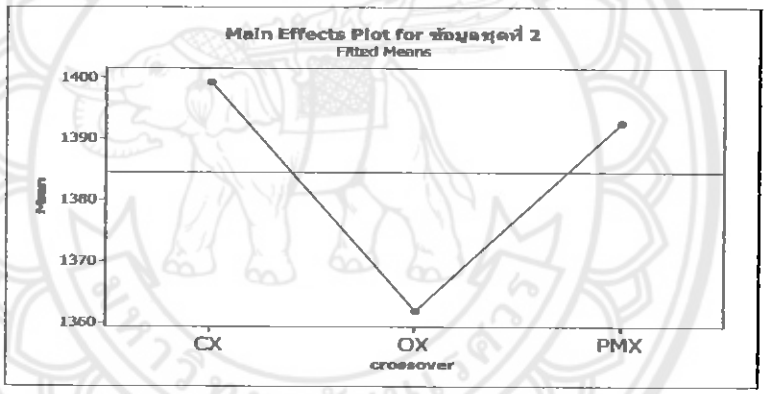
จากรูปที่ 4.7 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก เพื่อให้ทราบว่าวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX

4.2.2 ข้อมูลชุดที่ 2

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2

source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
crossover	2	23835	11917	3.52	0.034
Error	87	294664	3387		
Total	89	318499			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้จากปัจจัยดังกล่าว ค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าวิธีการสลับสายพันธุ์มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

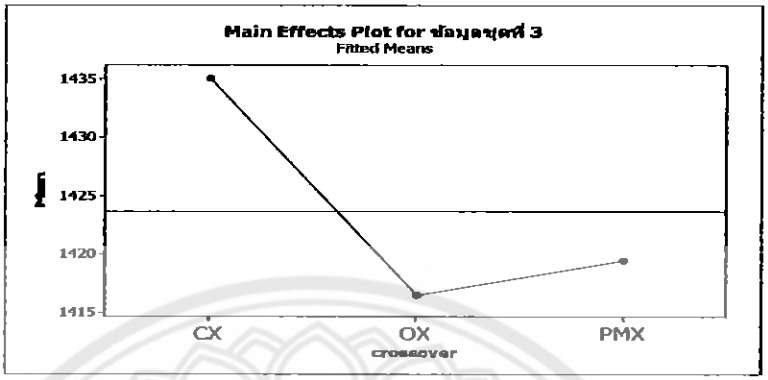
จากรูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก เพื่อให้ทราบว่าวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX

4.2.3 ข้อมูลชุดที่ 3

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3

source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
crossover	2	5981	2991	1.56	0.215
Error	87	166276	1911		
Total	89	172257			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้จากปัจจัยดังกล่าว ค่า P มีค่ามากกว่า 0.05 แสดงว่า วิธีการสลับสายพันธุ์ไม่มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

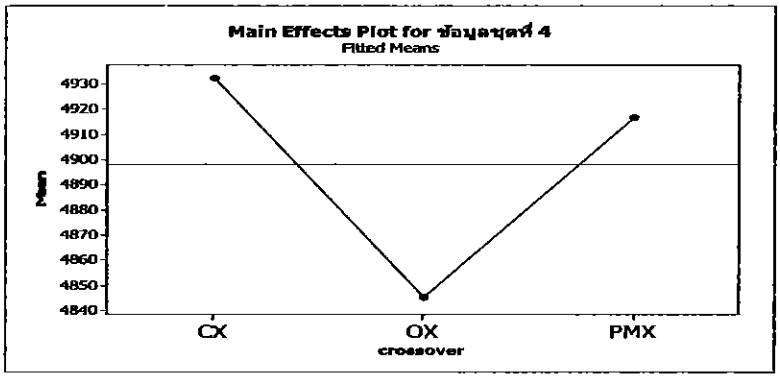
จากรูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก เพื่อให้ทราบว่าวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX

4.2.4 ข้อมูลชุดที่ 4

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4

source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
crossover	2	129977	64989	3.25	0.044
Error	87	1739615	19996		
Total	89	1869592			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้จากปัจจัยดังกล่าว ค่า P มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงว่าวิธีการสลับสายพันธุ์มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.10 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก เพื่อให้ทราบว่าวิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX

จากผลการทดลองดังกล่าวสามารถสรุปได้ว่า วิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) จากข้อมูลทั้ง 4 ชุด ดังนั้นจะใช้วิธีการสลับสายพันธุ์ OX ไปทำการออกแบบการทดลองเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีการสลับสายพันธุ์นี้

4.3 ผลการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์

จากผลการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ในหัวข้อ 4.2 วิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX จึงได้นำวิธีการ OX นี้มาทำการออกแบบการทดลองเพื่อศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละชุดข้อมูล และทำการวิเคราะห์ผลของพารามิเตอร์ที่มีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งได้ผลการทดลองดังนี้

4.3.1 ผลการทดลอง

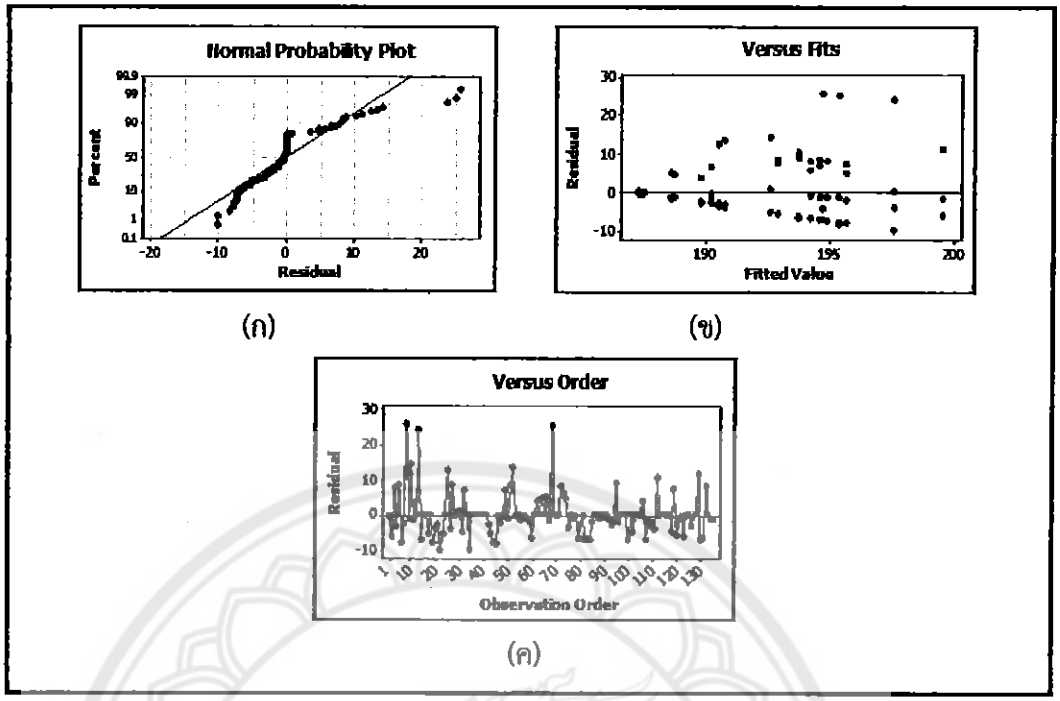
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ คือ โปรแกรม Minitab 16 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป (ANOVA : General Linear Model) โดยพิจารณาให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่พบ (ระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม ซึ่งได้ผลการทดลองจากข้อมูลทั้ง 4 ชุด ดังนี้

4.3.1.1 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 1

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop /gen	2	872.77	436.39	9.81	0.000
P_c	2	406.29	203.15	4.57	0.012
P_m	2	140.99	70.49	1.58	0.210
Pop /gen*P_c	4	112.30	28.08	0.63	0.641
Pop /gen*P_m	4	128.74	32.19	0.72	0.578
P_c*P_m	4	30.71	7.68	0.17	0.952
Pop /gen*P_c*P_m	8	127.02	15.88	0.36	0.941
Error	108	4805.25	44.49		
Total	134	6624.08			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.6 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen) และความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m), Pop /gen*P_c, Pop /gen*P_m, P_c*P_m และ Pop /gen*P_c*P_m นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

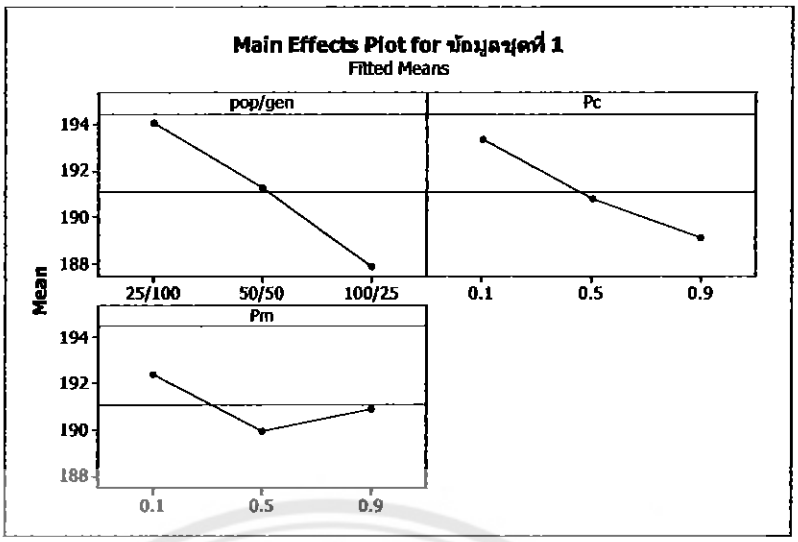


รูปที่ 4.11 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.11 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง แต่จะมีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรงแต่ก็สามารถที่จะยอมรับได้ จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.11 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.11 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.12 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับสูง คือ 100/25, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับกลาง คือ 0.5

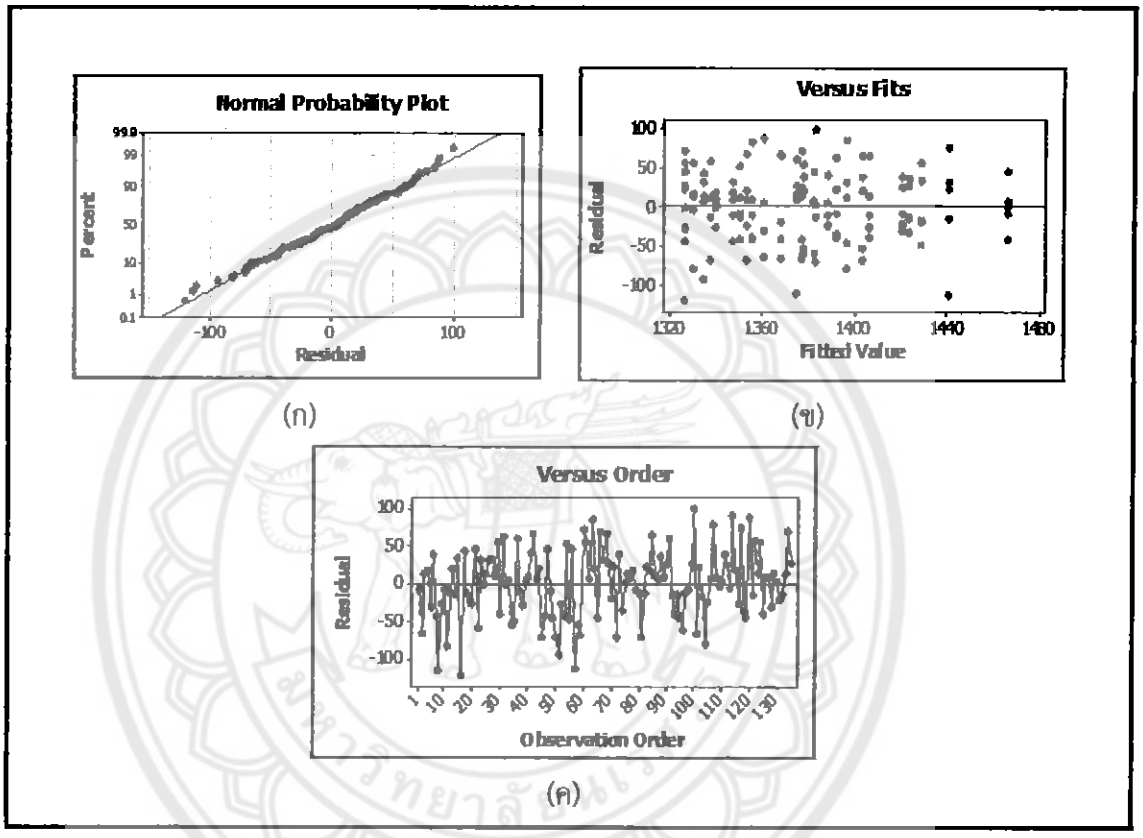
4.3.1.2 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 2

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop /gen	2	4981	2491	1.00	0.372
P_c	2	92705	46352	18.58	0.000
P_m	2	10245	5122	2.05	0.133
Pop /gen*P_c	4	22832	5708	2.29	0.065
Pop /gen*P_m	4	22112	5528	2.22	0.072
P_c*P_m	4	7132	1783	0.71	0.584
Pop /gen*P_c*P_m	8	21359	2670	1.07	0.389
Error	108	269417	2495		
Total	134	450783			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.7 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความ

เชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m), Pop /gen*P_c, Pop /gen*P_m, P_c*P_m และ Pop /gen*P_c*P_m นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

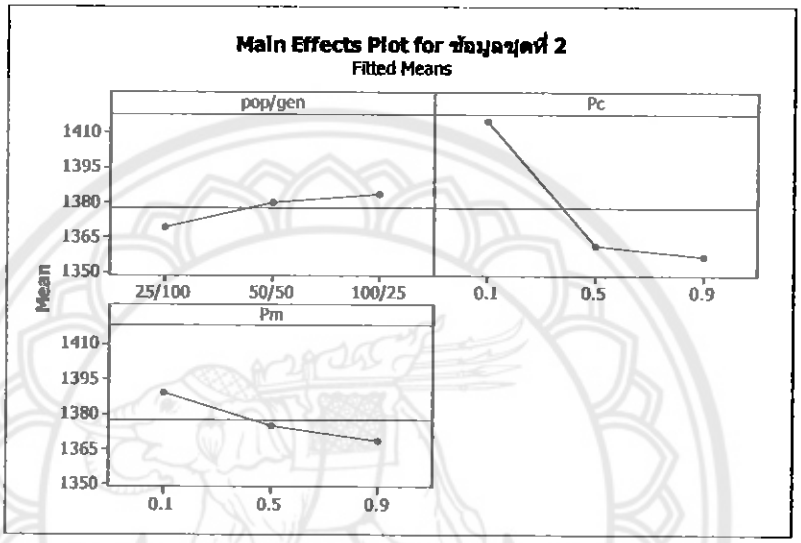
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.13 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.13 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบหรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่า

ความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.13 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

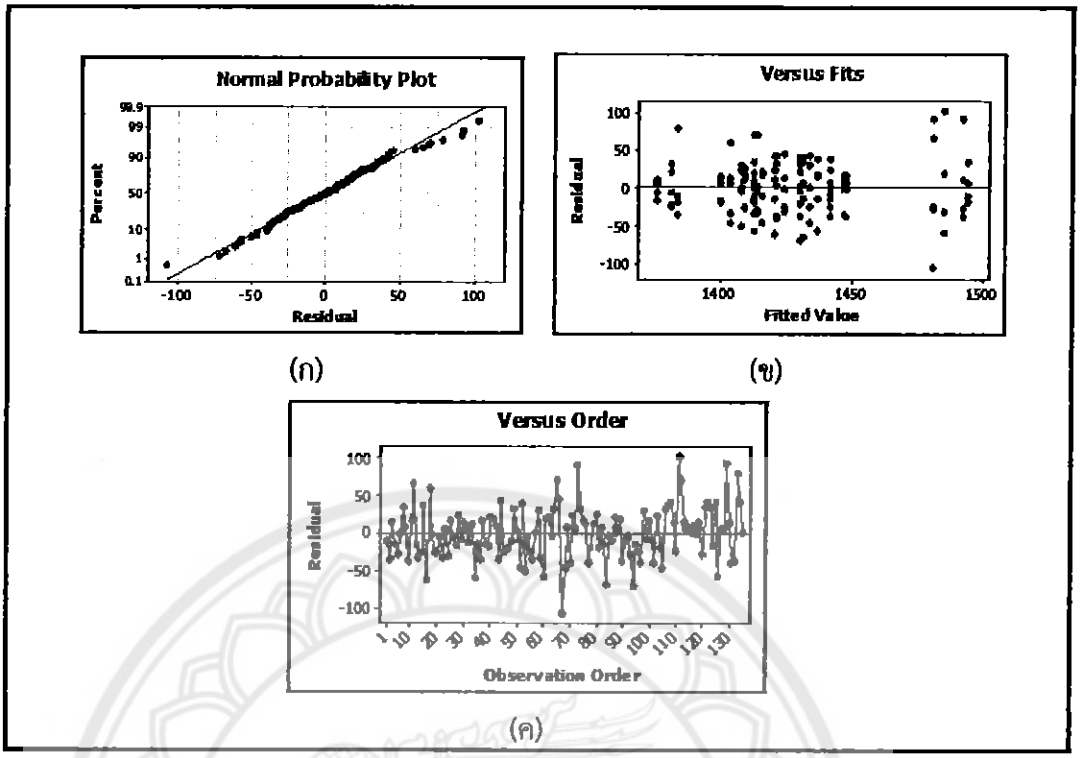
จากรูปที่ 4.14 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับสูง คือ 0.9

4.3.1.3 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 3

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop /gen	2	6190	3095	2.08	0.130
P_c	2	84461	42231	28.35	0.000
P_m	2	9999	5000	3.36	0.039
Pop /gen*P_c	4	8627	2157	1.45	0.223
Pop /gen*P_m	4	6619	1655	1.11	0.355
P_c*P_m	4	2379	595	0.40	0.809
Pop /gen*P_c*P_m	8	10864	1358	0.91	0.510
Error	108	160861	1489		
Total	134	290000			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.8 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วนขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), Pop/gen*P_c, Pop /gen*P_m, P_c*P_m และ Pop /gen*P_c*P_m นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

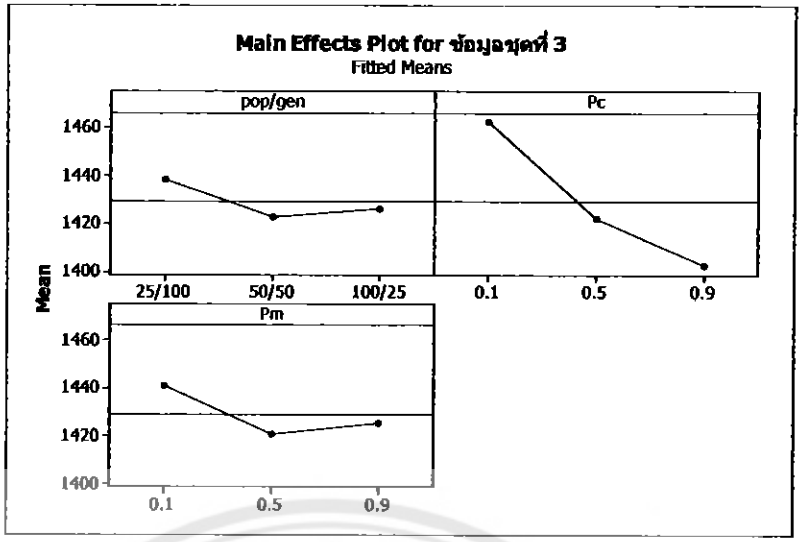
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.15 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.15 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.15 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

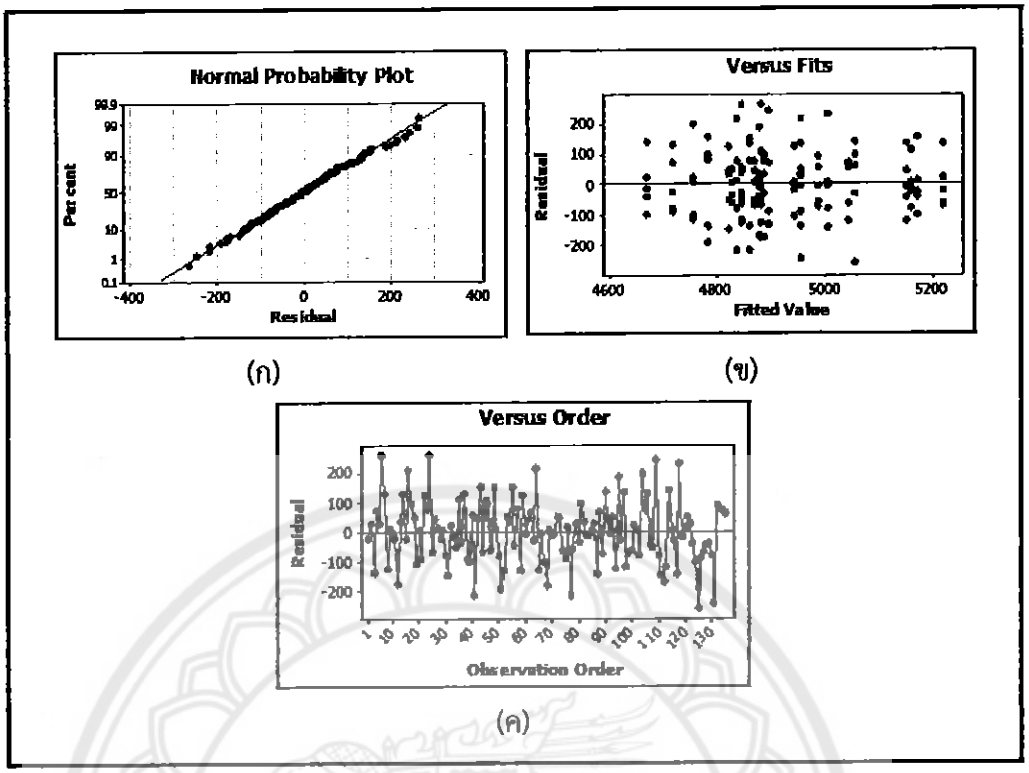
จากรูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับกลาง คือ 50/50, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับกลาง คือ 0.5

4.3.1.4 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 4

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop /gen	2	203399	101700	7.20	0.001
P_c	2	1389243	694622	49.19	0.000
P_m	2	397833	198917	14.09	0.000
Pop /gen*P_c	4	82252	20563	1.46	0.221
Pop /gen*P_m	4	82347	20587	1.46	0.220
P_c*P_m	4	189899	47475	3.36	0.012
Pop /gen*P_c*P_m	8	218211	27276	1.93	0.062
Error	108	1525138	14122		
Total	134	4088323			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.9 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และ P_c*P_m มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือเท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น ส่วน Pop /gen*P_c, Pop/gen*P_m และ Pop/gen*P_c*P_m นั้นพบว่าค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

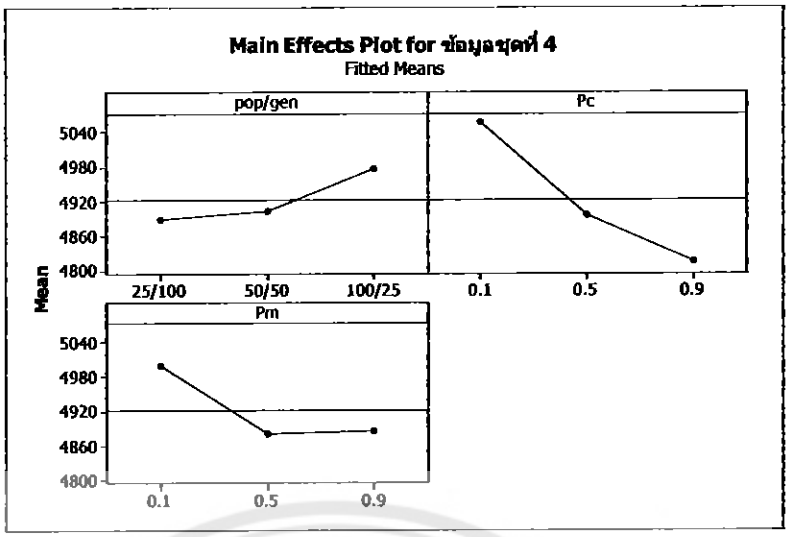


รูปที่ 4.17 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.17 (ก) พบว่ากราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

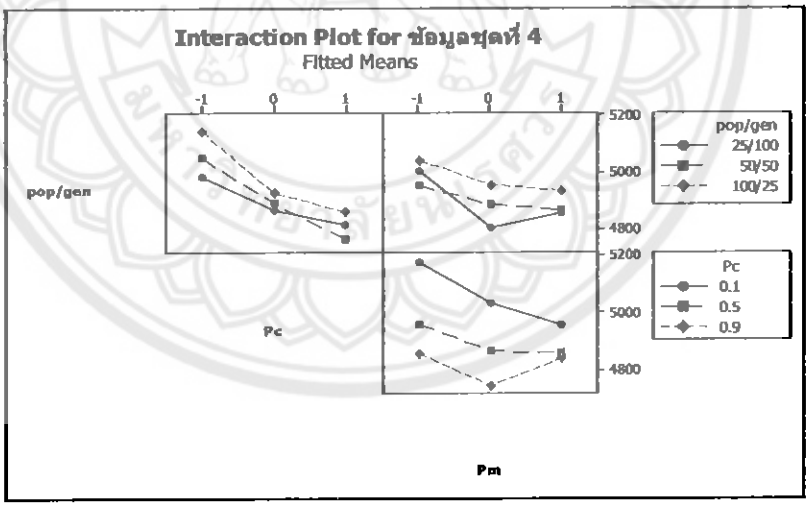
จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.17 (ข) พบว่ากราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.17 (ค) พบว่ากราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก

จากรูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดของประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับกลาง คือ 0.5



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยร่วม

จากรูปที่ 4.19 แสดงกราฟผลกระทบจากปัจจัยร่วม (Main Effects Plot) ระหว่าง P_c*P_m ซึ่งผลที่ได้สอดคล้องกับกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด คือ ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับกลาง คือ 0.5

จากผลการศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ OX ด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกัน

และเมื่อนำค่าพารามิเตอร์ดังกล่าวไปทำการทดลองซ้ำ 30 ครั้งกับ 4 ชุดข้อมูล จะได้ค่าเฉลี่ยระยะทางการขนถ่ายวัสดุ และสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ 4 ชุดข้อมูลได้ดังตารางที่ 4.10

ตารางที่ 4.10 แสดงผลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

วิธี	การออกแบบการทดลอง (DOE)			
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	ข้อมูลชุดที่ 4
Parameter setting	Pop/Gen = 100/25 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.5 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 50/50 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX
ค่าเฉลี่ยระยะทาง	187.355	1361.157	1382.010	4770.537

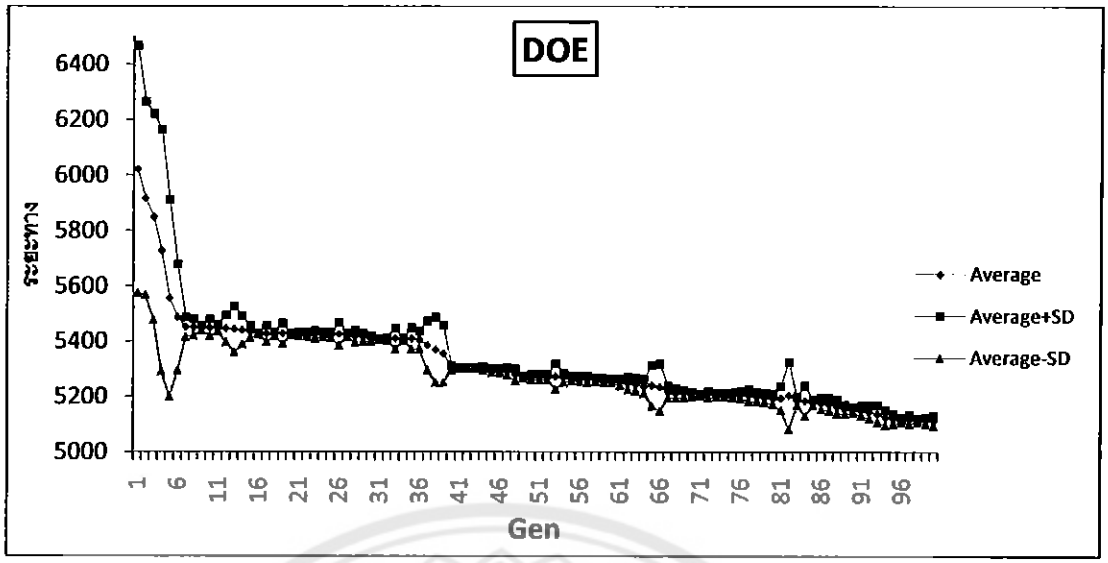
4.4 ผลการศึกษา Adaptive Parameter

การศึกษาพารามิเตอร์ GA ให้สามารถปรับตัวได้ทำการทดสอบกับข้อมูลชุดที่ 4 กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้นที่ Pop/Gen = 25/100, P_c = 0.5 และ P_m = 0.1 โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (RandomSeed) ที่แตกต่างกันจำนวน 30 ค่า โดยใช้วิธีการสลับสายพันธุ์คือ OX และวิธีการกลายพันธุ์คือ 2OAS โดยศึกษาการปรับค่า 3 กรณีคือ ค่า P_c, ค่า P_m และปรับทั้งค่า P_c และ P_m ซึ่งจะทำการปรับค่า ± 0.05 ตามค่าเบี่ยงเบนมาตรฐานของคำตอบ ค่าเฉลี่ยระยะทางการขนถ่ายวัสดุของทั้ง 3 กรณีแสดงในตารางที่ 4.11ซึ่งพบว่า ค่าเฉลี่ยระยะทางของกรณีปรับ P_m ให้คำตอบที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4.11 แสดงการสรุปผลของระยะทางการขนถ่ายวัสดุ (เมตร)
ของวิธี Adaptive Parameter

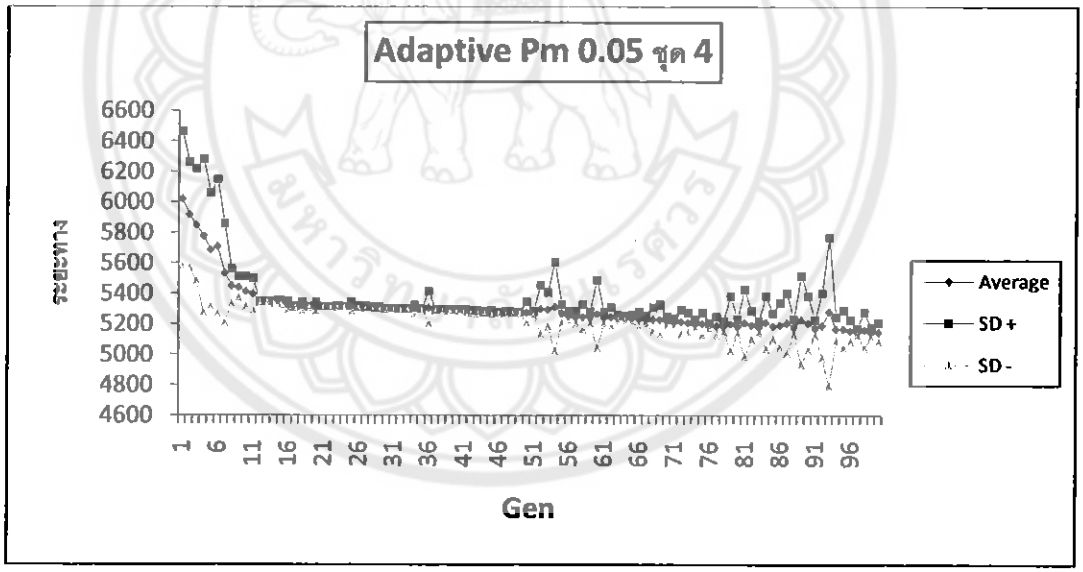
Pop/Gen	P_c	P_m	ค่าเฉลี่ยระยะทาง Adaptive P_c	ค่าเฉลี่ยระยะทาง Adaptive P_m	ค่าเฉลี่ยระยะทาง Adaptive P_c & P_m
25/100	0.5	0.1	5006.65	4866.31	4912.93

เมื่อทำการเปรียบเทียบคำตอบที่ได้จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองกับวิธี Adaptive P_m ของข้อมูลชุดที่ 4 พบว่าวิธีการออกแบบการทดลองให้ค่าเฉลี่ยระยะทางที่ดีกว่าวิธี Adaptive P_m จึงนำค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.) และค่าเฉลี่ยของคำตอบในแต่ละรุ่นมาวาดกราฟเพื่อดูการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4 ดังรูปที่ 4.20 และรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.20 แสดงการกระจายตัวของคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4

จากรูปที่ 4.20 พบว่าค่า S.D. มีการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบค่อนข้างน้อย โดยสามารถดูได้จากค่า S.D. ที่ได้ในแต่ละรุ่น



รูปที่ 4.21 แสดงการกระจายตัวของคำตอบของข้อมูลชุดที่ 4 เมื่อปรับค่า P_m ที่ 0.05

จากรูปที่ 4.21 พบว่าวิธี Adaptive P_m ค่า S.D. มีการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบมากกว่าวิธีการออกแบบการทดลอง แต่ในช่วงที่ Gen ประมาณ 10–50 พบว่ามีการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบที่ค่อนข้างน้อย ซึ่งเป็นเพราะค่า S.D. ที่ได้ในช่วง Gen ดังกล่าวมีค่าค่อนข้างต่ำอยู่แล้ว การปรับ P_m จึงส่งผลไม่มากนัก แต่หลังจาก Gen ที่ 50 การปรับ P_m ส่งผลต่อการกระจายพื้นที่การค้นหาคำตอบมากขึ้น การกระจายตัวของคำตอบจึงดีขึ้น

เมื่อนำวิธี Adaptive P_m มาทดลองกับข้อมูลชุดที่ 1, 2 และ 3 แต่ละชุดทำซ้ำจำนวน 30 ครั้ง ได้ผลเฉลี่ยระยะทางการขนถ่ายวัสดุดังตารางที่ 4.12

ตารางที่ 4.12 แสดงการสรุปผลของระยะทางการขนถ่ายวัสดุ (เมตร) ของวิธี Adaptive P_m ของข้อมูลทั้ง 4 ชุด

วิธี	Adaptive Pm 0.05			
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	ข้อมูลชุดที่ 4
Parameter setting	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 Crossover : OX
ค่าเฉลี่ยระยะทาง	193.970	1378.790	1430.070	4866.317

จากผลการทดลองที่ได้ สามารถสรุปได้ว่าวิธีการออกแบบการทดลองสามารถให้ระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) ได้ดีกว่าวิธี Adaptive P_m ในข้อมูลทั้ง 4 ชุด แต่วิธี Adaptive P_m จะมีการกระจายพื้นที่ในการหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีการออกแบบการทดลอง

4.5 อภิปรายเชิงวิพากษ์วิจารณ์ระหว่างวิธีการออกแบบการทดลองกับวิธี Adaptive Parameter

การศึกษาพารามิเตอร์ GA ด้วยวิธีการออกแบบการทดลองได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.10 และวิธี Adaptive Parameter ได้ผลดังตารางที่ 4.12 พบว่า ระยะทางการขนถ่ายวัสดุของ 4 ชุดข้อมูลที่ได้จากวิธีการออกแบบการทดลองมีค่าน้อยกว่าวิธี Adaptive P_m และแต่ละชุดข้อมูลจะมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมแตกต่างกัน เมื่อพิจารณาด้านการกระจายของคำตอบจากรูปที่ 4.20 และ 4.21 พบว่าวิธี Adaptive P_m มีพื้นที่ในการหาคำตอบได้ดีกว่าวิธีการออกแบบการทดลอง ซึ่งอาจเป็นเพราะในแต่ละ Gen ค่า P_m ที่กำหนดไว้เปลี่ยนไปทุกรอบในการหาคำตอบ จึงทำให้พื้นที่ในการหาคำตอบกระจายตัวมากขึ้น

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาครั้งต่อไป โดยจะทำการสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของโครงงานที่ได้กำหนดไว้ คือ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 กระบวนการทำงานของ GA และนำไปประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น สามารถนำกระบวนการทำงานของ GA มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นได้จริง

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางของการเคลื่อนที่ของภารขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) สามารถพัฒนาโปรกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสมขึ้นมาด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4

5.1.3 จากการศึกษาผลของวิธีการสลับสายพันธุ์ (Crossover) 3 วิธี คือ PMX, CX และ OX ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ สามารถสรุปได้ว่า วิธีการสลับสายพันธุ์ที่ดีที่สุด คือ OX ซึ่งมีระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุเฉลี่ยน้อยที่สุด (Minimize Total Material Handling Distance) จากการทดสอบกับข้อมูลทั้ง 4 ชุด

5.1.4 พารามิเตอร์ GA ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบในแต่ละชุดข้อมูลของปัญหามีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ

ชุดข้อมูล	ปัจจัย GA
ข้อมูลชุดที่ 1	Pop/Gen , Pc
ข้อมูลชุดที่ 2	Pc
ข้อมูลชุดที่ 3	Pc , Pm
ข้อมูลชุดที่ 4	Pop/Gen , Pc , Pm

5.1.5 ในการศึกษาการกำหนดพารามิเตอร์ GA ให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้พบว่า การปรับเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ระหว่างรอบของการค้นหาคำตอบให้คุณภาพของคำตอบที่ดีที่สุด หรือระยะทางการขนถ่ายวัสดุต่ำที่สุด

5.1.6 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ GA ด้วยการออกแบบการทดลองสามารถค้นหาคำตอบที่มีคุณภาพกว่าการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้วิธีในการสลับสายพันธุ์เพียง 3 วิธี คือ PMX, CX และ OX และวิธีการกลายพันธุ์ 2OAS ยังเหลือวิธีการสลับสายพันธุ์และวิธีการกลายพันธุ์อื่นที่น่าศึกษาอีก เช่น Sub Tour Chunk Crossover, Alternating Edges Crossover, Two Operations Random Swap Mutation และ Centre Inverse Mutation เป็นต้น

5.2.2 ขนาดประชากร (Population size) และจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ยังไม่ได้นำมาศึกษาสำหรับ Adaptive Parameter Setting

5.2.3 ในการศึกษาครั้งนี้เครื่องจักรแต่ละเครื่องไม่สามารถหมุนได้ ซึ่งการหมุนของเครื่องจักรก็สามารถนำมาศึกษาต่อได้

5.2.4 รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรยังมีอีกหลายแบบ เช่น การจัดเรียงเครื่องจักรแบบครึ่งวงกลม และการจัดเรียงเครื่องจักรแบบวงกลม เป็นต้น

5.2.5 ในการจัดเรียงเครื่องจักรยังสามารถนำเดินทางของ AGV เวลาการเดินทางของวัสดุ และการจัดตารางการผลิต มาพิจารณาเป็นเงื่อนไขในการค้นหาคำตอบ

เอกสารอ้างอิง

พัชราภรณ์ อริยะวงษ์. (2550). **การจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเจนเนติกอัลกอริทึม.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปารเมศ ชุติมา. (2544). **ระบบผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing System).** กรุงเทพ ฯ: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พัทธวัชร์ ธีรชาติธนาวิทย์. (2553). **การจัดตารางการผลิตของระบบผลิตแบบยืดหยุ่นด้วยวิธีเชิงพันธุกรรม.** วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

ณัฐพงศ์ คำขาด. (2550). การศึกษาเปรียบเทียบประสิทธิภาพวิธีการพาร์ทิเคิลสวอมออปติไมเซชันและเจเนติกอัลกอริทึมเพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร

สญชัย เสงี่ยมวิบูล. (2551). การวางผังโรงงานแบบพลวัตโดยใช้เจเนติกส์อัลกอริทึม. วิทยานิพนธ์ วศ.ม., มหาวิทยาลัยนเรศวร

M. Ficko, M. Brezocnik and J. Balic. (2004) Designing the layout of single and Multiple rows flexible manufacturing system by genetic algorithms.

Jong, K.D. (2007). Parametr setting in EAs: a 30 Year Perspective. Parameter setting in Evolutionary Algorithm, Springer.

ภาคผนวก

ผลการทดลอง

ตารางที่ ก1 แสดงผลการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุดของข้อมูลชุดที่ 1

Seed	Set 1		
	PMX	CX	OX
11	187.575	202.525	204.175
22	191.975	193.475	193.475
33	186.975	186.975	204.175
44	187.575	187.575	187.575
55	187.575	187.575	187.575
66	203.425	186.975	193.475
77	202.875	187.575	187.575
88	187.575	187.575	187.575
99	193.475	187.575	187.575
101	186.975	202.525	193.475
102	197.775	197.775	187.575
103	208.525	197.775	210.325
111	197.775	197.775	187.575
200	187.575	187.575	187.575
222	187.575	187.575	201.375
300	187.575	187.575	187.575
333	187.575	187.575	187.575
400	219.575	219.575	193.475
444	187.575	193.475	202.975
500	201.375	187.575	187.575
555	197.775	187.575	193.475
600	186.975	187.575	193.475
666	197.775	209.425	186.975
700	187.575	212.625	186.975
777	202.875	187.575	202.875
800	187.575	212.625	186.975
888	200.625	186.975	208.525
900	193.475	193.475	193.475
999	186.975	203.425	186.975
1010	187.575	224.025	187.575
ค่าเฉลี่ย	193.603	195.330	192.918

ตารางที่ ก2 แสดงผลการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุดของข้อมูลชุดที่ 2

Seed	Set 2		
	PMX	CX	OX
11	1440.70	1412.25	1311.10
22	1430.80	1408.40	1464.30
33	1500.40	1416.95	1364.30
44	1283.95	1481.90	1436.40
55	1323.10	1409.60	1436.40
66	1346.70	1398.50	1321.70
77	1384.75	1471.50	1444.65
88	1403.90	1367.70	1305.65
99	1317.95	1392.90	1336.50
101	1316.90	1329.65	1303.40
102	1414.40	1414.20	1416.55
103	1430.50	1383.15	1347.50
111	1357.10	1348.60	1335.15
200	1382.45	1477.10	1298.55
222	1373.05	1504.10	1301.65
300	1335.30	1323.80	1292.80
333	1351.50	1494.40	1364.30
400	1405.15	1400.10	1295.90
444	1372.00	1416.40	1378.15
500	1301.80	1398.90	1356.75
555	1364.40	1305.05	1356.50
600	1384.50	1388.80	1334.65
666	1441.75	1346.10	1367.40
700	1474.50	1430.35	1443.10
777	1471.00	1379.45	1394.15
800	1373.90	1282.45	1422.10
888	1431.55	1413.45	1351.50
900	1394.80	1436.10	1410.75
999	1552.85	1470.15	1394.35
1010	1417.65	1275.30	1270.75
ค่าเฉลี่ย	**1392.64**	**1399.24**	**1361.90**

ตารางที่ ก3 แสดงผลการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุดของข้อมูลชุดที่ 3

Seed	Set 3		
	PMX	CX	OX
11	1413.55	1365.15	1396.15
22	1501.65	1369.35	1507.35
33	1359.05	1447.55	1398.05
44	1360.55	1479.95	1415.35
55	1402.25	1457.45	1459.35
66	1353.05	1439.35	1398.35
77	1422.65	1488.15	1364.05
88	1472.95	1394.05	1447.05
99	1346.45	1435.55	1398.85
101	1446.95	1425.55	1417.05
102	1430.35	1390.25	1434.05
103	1411.95	1359.55	1437.05
111	1420.15	1415.95	1438.75
200	1391.25	1429.75	1357.75
222	1465.55	1465.55	1465.55
300	1392.55	1418.85	1405.35
333	1393.45	1353.75	1364.65
400	1377.75	1443.15	1438.75
444	1448.95	1431.85	1416.05
500	1498.35	1412.35	1412.35
555	1415.95	1465.35	1473.35
600	1387.25	1455.05	1406.45
666	1412.75	1423.45	1483.55
700	1438.45	1518.35	1377.05
777	1459.85	1456.35	1411.15
800	1369.25	1357.85	1370.05
888	1442.25	1440.05	1382.95
900	1416.35	1548.55	1472.85
999	1438.25	1505.55	1342.45
1010	1493.95	1458.15	1402.25
ค่าเฉลี่ย	1419.46	1435.06	1416.47

ตารางที่ ก4 แสดงผลการทดลองที่มีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางการเคลื่อนที่ของการขนถ่ายวัสดุน้อยที่สุดของข้อมูลชุดที่ 4

Seed	Set 4		
	PMX	CX	OX
11	4882.075	4766.325	4549.525
22	4707.625	4941.275	4631.625
33	4755.875	5004.225	4910.325
44	4975.825	4834.875	4867.775
55	4571.975	4819.525	4527.925
66	4981.725	4879.975	5052.575
77	5043.875	4915.075	4655.825
88	5002.225	5052.175	4909.175
99	4897.725	5225.625	4746.075
101	4737.325	4975.025	4821.125
102	4897.875	4755.925	4821.125
103	4934.975	4716.225	4811.175
111	5025.325	4918.575	4911.475
200	5007.275	5019.575	4899.375
222	5044.475	4974.275	4889.725
300	5030.575	4843.525	4869.275
333	5041.775	5193.075	4866.325
400	4844.175	5018.175	4767.875
444	5156.875	4898.725	4890.775
500	4937.925	4943.875	4940.375
555	4846.325	4722.475	4823.025
600	4944.275	4993.875	4936.425
666	4905.525	4820.325	5053.825
700	4939.875	4837.475	4690.125
777	5171.375	5171.375	4990.425
800	4784.325	4875.925	4834.325
888	4937.775	4700.225	4899.025
900	5118.825	5140.575	5053.075
999	4726.175	4951.625	4998.225
1010	4643.925	5056.925	4729.625
ค่าเฉลี่ย	4916.530	4932.228	4844.918

ตารางที่ ก5 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

Run	Parameter Setting HMCR PAR			Seed 111	Seed 222	Seed 333	Seed 444	Seed 555
	pop/gen	P_c	P_m	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	197.775	197.775	193.475	197.775	210.725
2	25/100	0.1	0.5	187.575	202.525	187.575	193.475	200.125
3	25/100	0.1	0.9	197.775	221.525	187.575	187.575	193.475
4	25/100	0.5	0.1	187.675	193.475	193.575	200.625	202.975
5	25/100	0.5	0.5	200.625	201.375	187.575	187.575	187.575
6	25/100	0.5	0.9	187.575	201.375	187.575	202.975	193.475
7	25/100	0.9	0.1	187.575	204.175	187.575	187.575	186.975
8	25/100	0.9	0.5	187.575	187.575	187.575	187.575	187.575
9	25/100	0.9	0.9	187.575	204.175	202.525	187.575	186.975
10	50/50	0.1	0.1	187.575	187.575	187.575	190.375	220.475
11	50/50	0.1	0.5	187.575	187.575	202.875	202.975	193.475
12	50/50	0.1	0.9	193.475	206.875	187.575	187.575	187.575
13	50/50	0.5	0.1	194.125	186.975	187.575	187.575	220.475
14	50/50	0.5	0.5	187.075	187.575	187.575	187.575	187.575
15	50/50	0.5	0.9	187.575	187.575	193.475	187.575	187.575
16	50/50	0.9	0.1	187.575	186.975	187.575	187.575	202.975
17	50/50	0.9	0.5	193.475	186.975	187.575	187.575	193.475
18	50/50	0.9	0.9	186.975	186.975	187.575	187.575	187.575
19	100/25	0.1	0.1	189.375	196.825	189.775	187.675	187.575
20	100/25	0.1	0.5	187.575	187.575	186.975	187.575	187.575
21	100/25	0.1	0.9	193.475	187.575	186.975	187.575	187.575
22	100/25	0.5	0.1	187.575	187.575	186.975	187.575	187.575
23	100/25	0.5	0.5	187.575	187.575	186.975	187.575	187.575
24	100/25	0.5	0.9	187.575	187.575	186.975	186.975	187.575
25	100/25	0.9	0.1	187.575	186.975	186.975	187.575	187.575
26	100/25	0.9	0.5	187.575	186.975	186.975	187.575	187.575
27	100/25	0.9	0.9	187.575	187.575	186.975	187.575	187.575

ตารางที่ ก6 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

Run	Parameter Setting			Seed 111	Seed 222	Seed 333	Seed 444	Seed 555
	pop/gen	P_c	P_m	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	1314.60	1426.85	1482.85	1349.10	1408.40
2	25/100	0.1	0.5	1412.10	1389.20	1398.40	1444.55	1458.40
3	25/100	0.1	0.9	1432.40	1398.50	1318.65	1324.50	1417.25
4	25/100	0.5	0.1	1346.85	1432.55	1301.30	1435.70	1324.55
5	25/100	0.5	0.5	1348.15	1240.80	1367.25	1340.30	1376.95
6	25/100	0.5	0.9	1335.15	1301.65	1364.30	1378.15	1356.50
7	25/100	0.9	0.1	1348.10	1313.45	1357.95	1336.05	1341.20
8	25/100	0.9	0.5	1329.60	1449.05	1365.15	1295.15	1364.35
9	25/100	0.9	0.9	1391.05	1402.55	1333.50	1310.70	1448.55
10	50/50	0.1	0.1	1518.10	1462.30	1425.65	1471.30	1326.55
11	50/50	0.1	0.5	1482.30	1384.30	1311.90	1368.60	1368.60
12	50/50	0.1	0.9	1352.25	1384.20	1454.25	1357.20	1414.15
13	50/50	0.5	0.1	1349.35	1334.25	1424.40	1440.80	1468.65
14	50/50	0.5	0.5	1383.00	1398.30	1204.40	1348.10	1296.60
15	50/50	0.5	0.9	1420.70	1327.55	1372.30	1362.65	1282.80
16	50/50	0.9	0.1	1472.80	1380.75	1395.05	1365.65	1419.00
17	50/50	0.9	0.5	1387.50	1428.20	1386.60	1321.20	1388.25
18	50/50	0.9	0.9	1324.75	1385.35	1343.80	1249.85	1346.80
19	100/25	0.1	0.1	1473.25	1465.70	1458.00	1422.50	1510.55
20	100/25	0.1	0.5	1462.25	1410.90	1408.75	1379.35	1484.20
21	100/25	0.1	0.9	1388.80	1408.35	1409.40	1450.85	1459.95
22	100/25	0.5	0.1	1364.00	1439.60	1313.50	1315.90	1344.00
23	100/25	0.5	0.5	1393.50	1377.70	1364.90	1377.80	1428.90
24	100/25	0.5	0.9	1434.55	1383.95	1391.55	1262.95	1401.65
25	100/25	0.9	0.1	1354.25	1370.50	1300.10	1325.00	1281.35
26	100/25	0.9	0.5	1342.40	1361.20	1308.35	1337.45	1402.10
27	100/25	0.9	0.9	1349.75	1348.95	1266.80	1396.95	1324.65

80

ตารางที่ ก7 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

Run	Parameter Setting			Seed 111	Seed 222	Seed 333	Seed 444	Seed 555
	pop/gen	P_c	P_m	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	1546.45	1374.15	1453.85	1456.35	1574.05
2	25/100	0.1	0.5	1504.35	1465.55	1453.85	1454.75	1583.75
3	25/100	0.1	0.9	1504.05	1454.15	1453.85	1426.95	1588.55
4	25/100	0.5	0.1	1398.65	1422.65	1393.15	1470.25	1438.55
5	25/100	0.5	0.5	1417.85	1357.55	1409.65	1370.45	1463.55
6	25/100	0.5	0.9	1438.75	1465.55	1364.65	1416.05	1473.35
7	25/100	0.9	0.1	1380.45	1475.75	1422.65	1452.05	1454.15
8	25/100	0.9	0.5	1382.65	1380.75	1387.55	1369.25	1359.05
9	25/100	0.9	0.9	1447.75	1484.05	1399.25	1378.25	1356.05
10	50/50	0.1	0.1	1479.65	1427.35	1415.55	1437.75	1449.45
11	50/50	0.1	0.5	1463.75	1462.25	1453.85	1411.15	1444.35
12	50/50	0.1	0.9	1463.75	1465.55	1453.85	1446.65	1409.85
13	50/50	0.5	0.1	1463.75	1408.25	1477.75	1433.85	1387.85
14	50/50	0.5	0.5	1462.55	1430.55	1359.25	1443.75	1406.15
15	50/50	0.5	0.9	1463.75	1384.15	1453.85	1381.65	1424.35
16	50/50	0.9	0.1	1419.95	1383.85	1435.55	1381.35	1426.75
17	50/50	0.9	0.5	1413.05	1375.85	1359.05	1356.35	1402.15
18	50/50	0.9	0.9	1414.55	1384.15	1413.85	1381.25	1407.55
19	100/25	0.1	0.1	1501.05	1483.25	1483.95	1528.85	1475.85
20	100/25	0.1	0.5	1479.65	1465.55	1403.25	1426.35	1433.55
21	100/25	0.1	0.9	1463.75	1465.55	1359.25	1431.65	1432.15
22	100/25	0.5	0.1	1452.25	1426.25	1408.95	1471.75	1391.65
23	100/25	0.5	0.5	1437.45	1432.15	1369.55	1405.45	1434.55
24	100/25	0.5	0.9	1403.35	1432.65	1393.45	1414.15	1421.05
25	100/25	0.9	0.1	1407.05	1379.25	1415.55	1384.65	1484.05
26	100/25	0.9	0.5	1439.15	1432.65	1357.25	1407.35	1403.45
27	100/25	0.9	0.9	1463.05	1373.55	1365.15	1348.25	1368.55

ดูตามกล่าว หน้า 125

ตารางที่ ก8 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

Run	Parameter Setting			Seed 111	Seed 222	Seed 333	Seed 444	Seed 555
	pop/gen	P_c	P_m	meters	meters	meters	meters	meters
1	25/100	0.1	0.1	5146.775	5069.075	5182.125	5327.175	5129.525
2	25/100	0.1	0.5	4982.275	4986.075	4710.025	5091.425	5003.975
3	25/100	0.1	0.9	4863.975	4855.325	4946.025	4769.025	4671.625
4	25/100	0.5	0.1	4834.575	4951.275	5068.075	4940.575	4925.325
5	25/100	0.5	0.5	4645.375	4591.975	4863.725	4936.675	4877.475
6	25/100	0.5	0.9	4911.475	4889.725	4866.325	4890.775	4823.025
7	25/100	0.9	0.1	4804.225	4764.525	4967.775	5138.175	4804.225
8	25/100	0.9	0.5	4626.525	4809.225	4651.425	4691.175	4568.675
9	25/100	0.9	0.9	4836.975	4706.425	5066.975	4905.175	4871.075
10	50/50	0.1	0.1	5105.075	5140.925	5282.075	5195.675	5024.975
11	50/50	0.1	0.5	4926.975	4911.025	5041.375	5079.975	4980.825
12	50/50	0.1	0.9	4924.975	4999.025	4859.375	5237.675	5009.775
13	50/50	0.5	0.1	4752.425	4990.475	4813.125	5144.325	4701.575
14	50/50	0.5	0.5	4979.325	4814.275	5165.975	4946.625	4860.675
15	50/50	0.5	0.9	4911.875	4845.925	5050.125	4618.575	4754.925
16	50/50	0.9	0.1	4874.025	4832.475	4790.525	4877.325	4760.475
17	50/50	0.9	0.5	4846.125	4624.525	4638.225	4691.175	4784.675
18	50/50	0.9	0.9	4634.025	4652.075	4774.225	4952.125	4758.475
19	100/25	0.1	0.1	5151.375	5240.275	5197.875	5352.375	5154.525
20	100/25	0.1	0.5	5137.025	5080.075	5148.075	5272.775	5169.225
21	100/25	0.1	0.9	4980.775	5097.975	4922.525	5106.875	5115.225
22	100/25	0.5	0.1	5112.825	5025.125	5153.525	4792.475	5194.325
23	100/25	0.5	0.5	4718.125	4990.975	4933.325	5010.975	4640.925
24	100/25	0.5	0.9	4908.575	4796.875	4812.925	4944.525	4874.625
25	100/25	0.9	0.1	4778.975	4802.325	4819.225	5106.875	4716.775
26	100/25	0.9	0.5	4729.375	4821.675	4897.525	4900.275	4882.275
27	100/25	0.9	0.9	4965.125	4918.475	4986.675	4856.725	4711.575

ตารางที่ ก9 แสดงผลการทดลอง Adaptive Parameter

Seed	Adaptive Pc	Adaptive Pm	Adaptive Pc & Pm
11	4854.925	4817.625	4858.575
22	4845.675	5058.975	4810.375
33	4832.575	4842.125	4974.125
44	4735.475	4916.025	4958.625
55	4888.675	4683.725	4704.275
66	4947.325	4768.975	4726.575
77	5106.325	5007.075	5018.975
88	4832.575	5013.225	5051.075
99	5021.675	4977.025	5250.225
101	5133.175	4848.125	4881.775
102	5279.975	4955.525	4939.725
103	5067.625	4906.725	4913.175
111	4978.675	4701.625	4933.175
200	5030.025	5134.025	4979.025
222	5033.975	4900.075	4975.625
300	4869.325	4458.625	4493.475
333	5167.875	4692.275	4956.375
400	5148.525	4897.325	4881.625
444	4853.025	4763.575	5136.475
500	4901.675	4876.775	4908.025
555	5102.225	5121.775	4757.525
600	4924.125	4874.975	4878.325
666	5257.875	4874.975	4832.825
700	5072.975	4985.475	5047.325
777	5158.125	4774.075	5039.325
800	4938.675	4881.175	4945.075
888	5132.675	4744.225	4923.275
900	5120.375	4796.725	5073.525
999	5057.075	5059.475	5018.225
1010	4906.325	4657.175	4521.225
ค่าเฉลี่ย	***5006.652***	***4866.317***	***4912.932***

ตารางที่ ก10 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

Seed	Pop/Gen	Pc	Pm	ระยะทาง
11	100/25	0.9	0.5	186.975
22	100/25	0.9	0.5	186.975
33	100/25	0.9	0.5	186.975
44	100/25	0.9	0.5	187.575
55	100/25	0.9	0.5	187.575
66	100/25	0.9	0.5	186.975
77	100/25	0.9	0.5	187.575
88	100/25	0.9	0.5	187.575
99	100/25	0.9	0.5	187.575
101	100/25	0.9	0.5	187.575
102	100/25	0.9	0.5	187.575
103	100/25	0.9	0.5	186.975
111	100/25	0.9	0.5	187.575
200	100/25	0.9	0.5	187.575
222	100/25	0.9	0.5	186.975
300	100/25	0.9	0.5	186.975
333	100/25	0.9	0.5	186.975
400	100/25	0.9	0.5	187.575
444	100/25	0.9	0.5	187.575
500	100/25	0.9	0.5	187.575
555	100/25	0.9	0.5	187.575
600	100/25	0.9	0.5	186.975
666	100/25	0.9	0.5	187.575
700	100/25	0.9	0.5	187.575
777	100/25	0.9	0.5	186.975
800	100/25	0.9	0.5	187.575
888	100/25	0.9	0.5	186.975
900	100/25	0.9	0.5	187.575
999	100/25	0.9	0.5	187.575
1010	100/25	0.9	0.5	187.575
			ค่าเฉลี่ย	**187.355**

ตารางที่ ก11 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

Seed	Pop/Gen	Pc	Pm	ระยะทาง
11	25/100	0.9	0.9	1367.750
22	25/100	0.9	0.9	1354.000
33	25/100	0.9	0.9	1380.500
44	25/100	0.9	0.9	1422.700
55	25/100	0.9	0.9	1314.250
66	25/100	0.9	0.9	1326.450
77	25/100	0.9	0.9	1267.250
88	25/100	0.9	0.9	1346.400
99	25/100	0.9	0.9	1336.250
101	25/100	0.9	0.9	1324.800
102	25/100	0.9	0.9	1414.400
103	25/100	0.9	0.9	1377.950
111	25/100	0.9	0.9	1391.050
200	25/100	0.9	0.9	1332.900
222	25/100	0.9	0.9	1402.550
300	25/100	0.9	0.9	1374.050
333	25/100	0.9	0.9	1333.500
400	25/100	0.9	0.9	1231.650
444	25/100	0.9	0.9	1310.700
500	25/100	0.9	0.9	1352.000
555	25/100	0.9	0.9	1448.550
600	25/100	0.9	0.9	1395.300
666	25/100	0.9	0.9	1353.150
700	25/100	0.9	0.9	1386.600
777	25/100	0.9	0.9	1336.600
800	25/100	0.9	0.9	1341.250
888	25/100	0.9	0.9	1376.150
900	25/100	0.9	0.9	1442.750
999	25/100	0.9	0.9	1347.300
1010	25/100	0.9	0.9	1445.950
			ค่าเฉลี่ย	1361.157

ตารางที่ ก12 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

Seed	Pop/Gen	Pc	Pm	ระยะทาง
11	50/50	0.9	0.5	1395.150
22	50/50	0.9	0.5	1357.950
33	50/50	0.9	0.5	1397.150
44	50/50	0.9	0.5	1396.050
55	50/50	0.9	0.5	1357.750
66	50/50	0.9	0.5	1347.750
77	50/50	0.9	0.5	1396.950
88	50/50	0.9	0.5	1348.250
99	50/50	0.9	0.5	1405.250
101	50/50	0.9	0.5	1403.450
102	50/50	0.9	0.5	1409.150
103	50/50	0.9	0.5	1359.050
111	50/50	0.9	0.5	1413.050
200	50/50	0.9	0.5	1364.650
222	50/50	0.9	0.5	1375.850
300	50/50	0.9	0.5	1365.150
333	50/50	0.9	0.5	1359.050
400	50/50	0.9	0.5	1377.050
444	50/50	0.9	0.5	1356.350
500	50/50	0.9	0.5	1417.350
555	50/50	0.9	0.5	1402.150
600	50/50	0.9	0.5	1348.950
666	50/50	0.9	0.5	1381.650
700	50/50	0.9	0.5	1374.250
777	50/50	0.9	0.5	1376.050
800	50/50	0.9	0.5	1366.350
888	50/50	0.9	0.5	1400.350
900	50/50	0.9	0.5	1410.050
999	50/50	0.9	0.5	1394.950
1010	50/50	0.9	0.5	1403.150
			ค่าเฉลี่ย	**1382.010**

ตารางที่ ก13 แสดงผลการทดลองของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุดที่ได้
จากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

Seed	Pop/Gen	P_c	P_m	ผลการทดลอง
11	25/100	0.9	0.5	4744.475
22	25/100	0.9	0.5	4620.275
33	25/100	0.9	0.5	4868.325
44	25/100	0.9	0.5	4922.275
55	25/100	0.9	0.5	4648.375
66	25/100	0.9	0.5	4524.425
77	25/100	0.9	0.5	4771.625
88	25/100	0.9	0.5	4823.325
99	25/100	0.9	0.5	4777.625
101	25/100	0.9	0.5	4979.475
102	25/100	0.9	0.5	4800.475
103	25/100	0.9	0.5	4959.975
111	25/100	0.9	0.5	4626.525
200	25/100	0.9	0.5	4828.225
222	25/100	0.9	0.5	4809.225
300	25/100	0.9	0.5	4582.625
333	25/100	0.9	0.5	4651.425
400	25/100	0.9	0.5	4963.925
444	25/100	0.9	0.5	4691.175
500	25/100	0.9	0.5	4540.225
555	25/100	0.9	0.5	4568.675
600	25/100	0.9	0.5	4824.175
666	25/100	0.9	0.5	4722.325
700	25/100	0.9	0.5	4694.375
777	25/100	0.9	0.5	4994.825
800	25/100	0.9	0.5	4752.925
888	25/100	0.9	0.5	4900.725
900	25/100	0.9	0.5	5041.175
999	25/100	0.9	0.5	4709.775
1010	25/100	0.9	0.5	4773.125
			ค่าเฉลี่ย	4770.537

ตารางที่ ก14 แสดงระยะทางการขนถ่ายวัสดุ (เมตร) ของค่าพารามิเตอร์ที่ดีที่สุด ที่ได้จากการออกแบบการทดลอง (พัชราภรณ์ อิริยะวงศ์)

Seed	Pop/Gen	P_c	P_m	ผลการทดลอง
11	25/100	0.5	0.9	4910.225
22	25/100	0.5	0.9	4704.575
33	25/100	0.5	0.9	4891.375
44	25/100	0.5	0.9	4851.675
55	25/100	0.5	0.9	4717.875
66	25/100	0.5	0.9	4891.475
77	25/100	0.5	0.9	5015.175
88	25/100	0.5	0.9	5009.275
99	25/100	0.5	0.9	5021.125
101	25/100	0.5	0.9	4946.875
102	25/100	0.5	0.9	4858.025
103	25/100	0.5	0.9	4897.625
111	25/100	0.5	0.9	4889.075
200	25/100	0.5	0.9	4760.225
222	25/100	0.5	0.9	4975.425
300	25/100	0.5	0.9	5108.325
333	25/100	0.5	0.9	4800.325
400	25/100	0.5	0.9	4969.775
444	25/100	0.5	0.9	5189.925
500	25/100	0.5	0.9	4914.975
555	25/100	0.5	0.9	4855.225
600	25/100	0.5	0.9	4968.375
666	25/100	0.5	0.9	5221.275
700	25/100	0.5	0.9	5113.625
777	25/100	0.5	0.9	4750.025
800	25/100	0.5	0.9	4957.325
888	25/100	0.5	0.9	4843.225
900	25/100	0.5	0.9	4791.225
999	25/100	0.5	0.9	4857.275
1010	25/100	0.5	0.9	4879.775
			ค่าเฉลี่ย	4918.69

ตารางที่ ก15 แสดงผลการทดลอง Adaptive P_m 0.05

ค่า Seed	Adaptive Pm 0.05			
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	ข้อมูลชุดที่ 4
11	193.475	1460.550	1411.850	4817.625
22	201.375	1463.050	1469.650	5058.975
33	204.175	1429.600	1437.350	4842.125
44	215.925	1463.050	1541.850	4916.025
55	193.475	1396.350	1364.350	4683.725
66	187.575	1365.900	1528.650	4768.975
77	187.575	1325.300	1455.950	5007.075
88	187.575	1332.500	1359.850	5013.225
99	190.375	1352.400	1416.450	4977.025
101	187.575	1310.050	1455.450	4848.125
102	190.375	1414.200	1416.350	4955.525
103	186.975	1441.350	1456.050	4906.725
111	187.575	1345.200	1408.450	4701.625
200	187.575	1399.250	1361.550	5134.025
222	187.575	1245.450	1458.850	4900.075
300	187.575	1239.450	1457.150	4458.625
333	187.575	1289.200	1429.650	4692.275
400	193.475	1357.900	1422.250	4897.325
444	204.175	1431.500	1442.450	4763.575
500	187.575	1328.750	1389.350	4876.775
555	202.975	1452.650	1421.750	5121.775
600	187.575	1301.300	1398.950	4874.975
666	212.625	1477.500	1440.450	4874.975
700	193.475	1446.700	1347.750	4985.475
777	202.875	1298.650	1459.750	4774.075
800	193.475	1356.550	1382.350	4881.175
888	208.525	1372.050	1383.950	4744.225
900	193.475	1420.800	1380.150	4796.725
999	186.975	1371.400	1545.250	5059.475
1010	187.575	1475.100	1458.250	4657.175
ค่าเฉลี่ย	**193.970**	**1378.790**	**1430.070**	**4866.317**