อภินันทนาการ

สำนักหอสมุด

การออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน

MACHINE LAYOUT DESIGN WITH CONSIDERING DISPATCHING RULES

นางสาวณิริชา ตามวงค์ รหัส 55366590
นางสาวอินทุกาญจน์ ทองประเสริฐแสง รหัส 55366620

ที่ทำการหอสมุด มหาวิทยาลัยนเรศวร
วันลงทะเบียน - 6 ก.พ. 2561
เลขทะเบียน 11294391
เลขเรียกหนังสือ ปร ณ 449 ก 2558
I 7224J2

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2558

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวณิริชา ตามวงค์ รหัส 55366590
	นางสาวอินทุกาญจน์ ทองประเสริฐแสง รหัส 55366620
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2558

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

.....กรรมการ

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวณิริชา ตามวงค์ รหัส 55366590
	นางสาวอินทุกาญจน์ ทองประเสริฐแสง รหัส 55366620
ที่ปรึกษาโครงงาน	ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2558

.....

บทคัดย่อ

ระยะเวลาที่ใช้ในการผลิตซึ่งประกอบด้วย เวลาการผลิต เวลาการขนถ่ายวัสดุ และเวลาการรอคอยในสายการผลิต มีส่วนเกี่ยวข้องกับต้นทุนการผลิต ซึ่งต้นทุนดังกล่าวสามารถลดลงได้ด้วยผังการจัดเรียงเครื่องจักรที่ดี การขนถ่ายวัสดุระหว่างเครื่องจักรมีผลต่อระยะทางและเวลาที่ใช้ในการขนถ่ายวัสดุ อีกทั้งยังส่งผลต่อการใช้งานของเครื่องจักรและอุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุ จึงอาจก่อให้เกิดการรอคอยระหว่างการผลิต กฎการจัดลำดับงานจึงถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อลดเวลาสูญเปล่าในขบวนการผลิต ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรจึงเป็น Non-Deterministic Polynomial-Time Hard Problem เนื่องจากเวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรจะเพิ่มขึ้นแบบเอ็กโพเนนเชียลตามขนาดของปัญหา โครงการนี้จึงทำการประยุกต์ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) ในการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักร เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการผลิตให้น้อยที่สุด ภายใต้กฎการจัดลำดับงานด้วยวิธีเลือกงานที่ใช้เวลาน้อยที่สุดมาทำก่อน (Shortest Processing Time : SPT) และวิธีเลือกงานที่ใกล้กำหนดส่งมอบมากที่สุดมาทำก่อน (Earliest Due Date : EDD) และทำการศึกษาค่าพารามิเตอร์ GA ที่เหมาะสมสำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร ในการดำเนินโครงงานนี้ใช้ชุดปัญหาทดสอบจำนวน 4 ชุด ที่มีความแตกต่างกันด้านข้อมูลของเครื่องจักรที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ จำนวนประเภทของผลิตภัณฑ์ และลำดับการผลิต

ผลจากการดำเนินโครงการพบว่า การจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม เพื่อลดเวลาที่ใช้ในการผลิตให้น้อยที่สุดสำหรับกฎการจัดลำดับงานแบบ SPT และ EDD มีความแตกต่างกัน การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ GA ซึ่งประกอบด้วย ค่าเวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิตมีผลต่อระยะทางการขนถ่ายวัสดุ ค่าพารามิเตอร์ GA ที่เหมาะสมสำหรับแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกัน

Project title	Consideration of Processing time for machine layout in flexible manufacturing	
Name	Miss Niricha Tamwong	ID. 55366590
	Miss Intukran Thongprasertsang	ID. 55366620
Project advisor	Miss Srisatja Vitayasak	
Major	Industrial Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2015	

Abstract

Total flow times consisting of processing time, transportation time, and idle time relate to the production cost which can be reduced by the effective machine layout design. Material handling between machines has resulted in transportation distance and time. Also, it affects machine operation and availability of handling equipment, by which there are waiting times for machine and handling equipment. These time losses can be improved using the priority rule of dispatching jobs. The machine layout problem is a non-deterministic polynomial-time hard problem, which means that the computational time required to produce solutions increases exponentially with problem size. The objectives of this work are to apply the Genetic Algorithm (GA) for designing machine layout under two dispatching rules (Shortest Processing Time : SPT and Earliest Due Date : EDD), and to investigate the appropriate GA parameter setting for machine layout problems. Machine layout design was aimed to minimize total flow time. Experiments were conducted using four benchmark datasets obtained from the literature.

The computational results showed that the appropriate machine layouts for SPT and EDD rules were different. The GA parameters including a combination of population size and number of generations, crossover probability, and mutation probability had effected to material handling distances. The appropriate GA parameter setting for each dataset was different.

กิตติกรรมประกาศ

ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ที่ได้สละเวลาให้ความรู้ ข้อเสนอแนะ คำปรึกษาต่างๆ ในกระบวนการทำโครงงานจนปริญญานิพนธ์สามารถสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

ขอขอบพระคุณหัวหน้าภาควิชา คณะกรรมการ คณาจารย์ และบุคลากรภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการทุกท่านที่เสียสละเวลา เอื้อเฟื้อสถานที่ ให้ความช่วยเหลือตลอดการศึกษารวมไปถึงการทำปริญญานิพนธ์ในครั้งนี้

ท้ายสุดนี้ผู้ดำเนินโครงงานขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา และครอบครัวที่คอยเป็นกำลังใจสำคัญมาตลอดการศึกษาจนประสบความสำเร็จ และอีกหลายท่านที่ไม่ได้เอ่ยนามในครั้งนี้ขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้ด้วย

ผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวณิริชา ตามวงค์
นางสาวอินทุกาญจน์ ทองประเสริฐแสง

เมษายน 2559

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ก
บทคัดย่อ ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) ค
กิตติกรรมประกาศ ง
สารบัญ จ
สารบัญตาราง ช
สารบัญรูป ช

บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน 1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน 1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน 1
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ 1
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน 2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน 2
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน 2
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 4
2.1 การจัดวางผังเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม 4
2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น 5
2.3 เวลาที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิต 6
2.4 วิธีเจนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic Algorithm) 7
2.5 สถิติ T-Test 13
2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE) 14
2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) 15
2.8 กฎการจัดลำดับงาน (Dispatcing Rules) 17
2.9 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk 18

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงงาน 19
3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร 19
3.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอลิทึมสำหรับแก้ปัญหา 23
3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานโดยการนำเจนเนติกอัลกอลิทึมมาใช้ในการหาคำตอบ 24
3.4 ทดสอบและแก้ไขโปรแกรม 26
3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง 27
3.6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ 27

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 28
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS 28
4.2 ผลการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ 31

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 50
5.1 สรุปผลการทดลอง 50
5.2 ข้อเสนอแนะ 50

เอกสารอ้างอิง 52
ภาคผนวก 53
ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 64

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร 16

3.1 จำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโครงงาน 20

3.2 แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท 20

3.3 แสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับชนิดแต่ละผลิตภัณฑ์ 21

3.4 แสดงปัจจัยและระดับการทดลอง 23

4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1 32

4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1 ความเร็ว 20 เมตรต่อนาที 36

4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2 39

4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3 42

4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4 45

4.6 แสดงผลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม 48

4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของชุดข้อมูลที่ 1 49

5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ 50

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 รูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นทั้ง 5 รูปแบบ 6

2.2 แสดงโครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึม 7

2.3 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Crossover 9

2.4 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ 2OAS 10

2.5 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy 12

3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 19

3.2 เส้นทางวิ่งของ AGV 22

3.3 การประยุกต์ใช้ GA สำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น 25

3.4 การคำนวณเวลาการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง 1 ผลิตภัณฑ์ 26

4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม 28

4.2 แสดงการเลือกแฟ้มข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม 29

4.3 แสดงการเลือกวิธี Genetic Algorithm 29

4.4 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ 30

4.5 หน้าจอแสดงผล 30

4.6 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค 31

4.7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ข้อมูลชุดที่ 1 33

4.8 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก ข้อมูลชุดที่ 1 34

4.9 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม ข้อมูลชุดที่ 1 34

4.10 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง 3 แบบ ข้อมูลชุดที่ 1 ความเร็ว 20 เมตรต่อนาที 37

4.11 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก ข้อมูลชุดที่ 1 ความเร็ว 20 เมตรต่อนาที 38

4.12 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ข้อมูลชุดที่ 2 40

4.13 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก ข้อมูลชุดที่ 2 41

4.14 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ข้อมูลชุดที่ 3 43

4.15 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก ข้อมูลชุดที่ 3 44

4.16 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม ข้อมูลชุดที่ 3 44

4.17 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ ข้อมูลชุดที่ 4 46

4.18 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก ข้อมูลชุดที่ 4 47

4.19 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม ข้อมูลชุดที่ 4 48

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการผลิตมีแนวโน้มที่เพิ่มมากขึ้นในประเทศที่กำลังพัฒนา ส่งผลให้มีการแข่งขันค่อนข้างสูง โดยเฉพาะการปรับปรุงกระบวนการด้วยการลดต้นทุน และปรับปรุงคุณภาพของการผลิต ทั้งทางด้านการเพิ่มความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ การลดของเสีย การลดเวลา หรือการลดขั้นตอนการผลิต เป็นต้น ซึ่งโรงงานอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ปรับปรุงด้วยระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น (Flexible Manufacturing : FMS) เนื่องจากระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นสามารถนำมาประยุกต์ ความยืดหยุ่นของเครื่องจักร การขนถ่ายวัสดุ เพื่อรองรับต่อการเปลี่ยนแปลงได้

ในกระบวนการผลิตจะมีระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนผลิตทั้งหมด (Total Flow Time) ซึ่งหาได้จากเวลาการที่ใช้ในการผลิต (Processing Time) กับการรอคอยในแต่ละสายการผลิต (Idle Time) ในอุตสาหกรรมส่วนใหญ่ปรับปรุงเพื่อให้เวลาที่สูญเปล่าเกิดขึ้นน้อยที่สุด โดยการจัดลำดับการทำงานที่ทำให้เวลาในการทำงานทั้งหมดสั้นที่สุด สามารถใช้กฎการจัดลำดับความสำคัญ (Priority Rule of Dispatching Jobs) มาทำการเปรียบเทียบ เพื่อเลือกลักษณะที่เหมาะสม

ด้วยเหตุผลดังกล่าว ผู้ศึกษาจึงมุ่งเน้นการจัดเรียงเครื่องจักร โดยคำนึงถึงกฎการจัดลำดับงานเวลาในกระบวนการผลิต และนำวิธีเจนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic Algorithm : GA) ประยุกต์ใช้ในการหาคำตอบที่เหมาะสมจากหลายล้านคำตอบ และนำเสนอออกมาในรูปแบบของโปรแกรม

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมช่วยการออกแบบการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น โดยประยุกต์ใช้กระบวนการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึม

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมสามารถแสดงผลระยะเวลาที่เหมาะสมโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน เพื่อหาเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด (Minimize Total Flow Time)

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ข้อมูลการทดลองอ้างอิงจาก Nearchou, (2005)

1.5.2 โปรแกรมที่ถูกสร้างขึ้นใช้ข้อมูลจำลองในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรมแบบยืดหยุ่น

1.5.3 เครื่องจักรมีการจัดเรียงแบบหลายแถว (Multiple Rows Layout)

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

1.5.5 เครื่องจักรแถวเดียวกันจะมีการจัดเรียงบนระนาบเดียวกันในแกน X

1.5.6 เครื่องจักรทั้งหมดไม่สามารถเปลี่ยนทิศทางการวางได้

1.5.7 ความกว้างและความยาวของพื้นที่โรงงานกำหนดขนาดได้ไม่เกินด้านละ 1,000 เมตร

1.5.8 ใช้วิธีเจนเนติกอัลกอลีทึม

1.5.9 อุปกรณ์ขนถ่ายเริ่มจากจุดเริ่มต้น เมื่อผลิตภัณฑ์เสร็จสิ้นทุกกระบวนการแล้วจะนำไปส่งที่จุดสิ้นสุดของผลิตภัณฑ์

1.5.10 การขนถ่ายวัสดุ โดยใช้อุปกรณ์ขนถ่ายวัสดุเดินทางเป็นเส้นตรง ยึดจากเครื่องจักรที่ทำกระบวนการเสร็จสิ้นก่อนก็จะรับแล้วนำไปส่งกระบวนการถัดไป กรณีที่เครื่องจักรทำกระบวนการเสร็จสิ้นพร้อมกัน อุปกรณ์ขนถ่ายจะไปกระทำเครื่องที่อยู่ใกล้ที่สุดก่อน แล้วจบการทำงานที่เครื่องสุดท้ายที่ไปส่งวัสดุ

1.5.11 กำหนดเวลาการทำงานของเครื่องจักรแต่ละเครื่อง และแต่ละผลิตภัณฑ์ไม่เท่ากัน

1.5.12 กำหนดจุดรับชิ้นงานและจุดส่งชิ้นงานของอุปกรณ์ขนถ่ายเป็นจุดเดียวกัน

1.5.13 เวลาการเริ่มผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเป็นไปตามกฎการจัดลำดับ EDD และ SPT โดยเมื่ออุปกรณ์ขนถ่ายรับชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปส่งเครื่องจักรของผลิตภัณฑ์ที่ 1 แล้วกลับไปจุดเริ่มต้นเพื่อรับชิ้นงานไปส่งเครื่องจักรของผลิตภัณฑ์ที่ 2 จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ 2 ถึงจะเริ่มกระบวนการ

1.5.14 ทุกเครื่องจักรจะมีจุดวางผลิตภัณฑ์

1.5.15 เวลาที่กำหนดใน EDD เป็นเวลาที่บอกว่า อีกกี่วันที่ต้องส่งของ เพื่อดูลำดับการผลิตว่าเริ่มก่อนหรือหลัง ไม่คำนึงถึงเวลาที่ผลิตเกินส่งของไม่ทัน

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

1.6.1 มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.6.2 ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2558 ถึง เมษายน พ.ศ. 2559

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา							
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.
1.8.1	การศึกษาและรวบรวมข้อมูลด้านระบบการผลิต, ผลิตภัณฑ์, เครื่องจักร, อุปกรณ์การขนถ่าย, กฎการจัดลำดับงาน	←	→						
1.8.2	การศึกษาโครงสร้างการทำงาน, วิธีการใช้ของเจนเนติกอัลกอลิทึม		←	→					
1.8.3	การพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำเจนเนติกอัลกอลิทึมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ไขปัญหา				←		→		
1.8.4	การทดสอบ และแก้ไขโปรแกรม				←		→		
1.8.5	การวิเคราะห์ผลการทดลอง						←	→	
1.8.6	การสรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ								↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 การจัดวางผังเครื่องจักรในโรงงานอุตสาหกรรม

การจัดวางผังและการจัดเรียงเครื่องจักรมีความสำคัญมากในระบบการผลิต ขึ้นอยู่กับกระบวนการผลิต ผลิตภัณฑ์ที่จะทำการผลิต เวลาที่ใช้ในการผลิต และจำนวนเครื่องจักร เพราะเป็นการจัดวางทรัพยากรที่ใช้ในการผลิต ณ ตำแหน่งที่เหมาะสมเพื่อให้การผลิตมีประสิทธิภาพ และลดต้นทุนที่เกิดจากค่าใช้จ่ายในการขนถ่ายวัสดุ แบ่งเป็น 4 ประเภทใหญ่ๆ ดังนี้

2.1.1 การวางผังโรงงานแบบผลิตภัณฑ์อยู่กับที่ (Fixed Position Layout)

เป็นการจัดวางชิ้นงานอยู่กับที่และจัดให้เครื่องจักร อุปกรณ์ หรือวัสดุอื่นๆ อยู่รอบนอก ซึ่งเหมาะสมสำหรับผลิตภัณฑ์ที่มีขนาดใหญ่และน้ำหนักมาก เนื่องจากการเคลื่อนย้ายของผลิตภัณฑ์ยากลำบาก หรือไม่มีการเคลื่อนย้ายของตัวผลิตภัณฑ์เลย เช่น การต่อเรือ การก่อสร้างอาคาร การก่อสร้างเขื่อน เป็นต้น

2.1.2 การวางผังโรงงานตามชนิดของผลิตภัณฑ์ (Product Layout)

เป็นการวางผังตามลำดับการผลิตของผลิตภัณฑ์ เหมาะสำหรับผลิตภัณฑ์ที่ต้องการผลิตให้ได้ในปริมาณที่มาก และผลิตภัณฑ์มีลักษณะแตกต่างจากกันน้อย มักเป็นการผลิตแบบต่อเนื่อง เพราะต้องจัดวางเครื่องจักรตามลำดับขั้นตอนของการผลิตหรือการประกอบ โดยเริ่มจากวัตถุดิบไปถึงกระบวนการผลิตแต่ละหน่วย จนสำเร็จเป็นผลิตภัณฑ์ เช่น ผลไม้กระป๋อง ยาสีฟัน ยา เป็นต้น

2.1.3 การวางผังโรงงานตามกระบวนการผลิต (Process Layout)

เป็นการวางผังตามเครื่องจักร ซึ่งจัดให้เครื่องประเภทเดียวกันอยู่ในกลุ่มเดียวกัน เหมาะสำหรับการผลิตผลิตภัณฑ์ที่หลากหลาย และปริมาณการผลิตจำนวนไม่มาก ขนาดของผลิตภัณฑ์ไม่แน่นอน การจัดวางผังตามกระบวนการผลิตจะมีความยืดหยุ่นในการปรับเปลี่ยนผลิตภัณฑ์สูง เช่น เครื่องกลึงก็จะอยู่ในแผนกเดียวกัน เป็นต้น

2.1.4 การวางผังโรงงานตามกลุ่มผลิตภัณฑ์ (Group Layout)

เป็นการวางผังในรูปแบบการจัดกลุ่มเครื่องจักรที่มีผลิตภัณฑ์เหมือนกันให้เป็นกลุ่ม โดยภายในกลุ่มเครื่องจักรเหล่านั้น จะมีการลำดับการผลิตโดยมากแล้วผลิตภัณฑ์จะถูกผลิตเสร็จโดยกลุ่มเครื่องจักรใดเครื่องจักรหนึ่ง เพื่อตอบสนองความต้องการที่จะผลิตสินค้าที่มีความหลากหลายมากขึ้น หรืออาจเรียกว่ากระบวนการผลิตแบบเซลลูลาร์ (Cellular Manufacturing System)

2.2 ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

เป็นการออกแบบระบบการผลิตแบบบูรณาการ สามารถตอบสนองการเปลี่ยนแปลงของผลิตภัณฑ์ ปริมาณการผลิตและความต้องการข้องลูกค้าได้รวดเร็วกว่าการผลิตแบบดั้งเดิม

ระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น คือ กลุ่มของเครื่องจักรเอ็นซี (NC Machine Tool) ซึ่งสามารถผลิตชิ้นส่วนกลุ่มหนึ่งได้อย่างสุ่ม มีการเคลื่อนย้ายวัสดุอัตโนมัติ และมีระบบคอมพิวเตอร์ควบคุมส่วนกลางช่วยในการตัดสินใจ ทำให้เกิดสมดุลในการเคลื่อนที่ของทรัพยากรให้มีประโยชน์สูงสุด ซึ่งทำให้ระบบสามารถดัดแปลงตัวเองอัตโนมัติเมื่อชิ้นงานมีการเปลี่ยนแปลงชนิดของผลิตภัณฑ์ หรือปรับเปลี่ยนการทำงานของเครื่องจักร เน้นการผลิตที่มีระดับปานกลาง และมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ไม่มากเกินไป มี 5 รูปแบบ ดังนี้

2.2.1 จัดเรียงเครื่องจักรแบบแถวเดียว (Single – Row Layout)

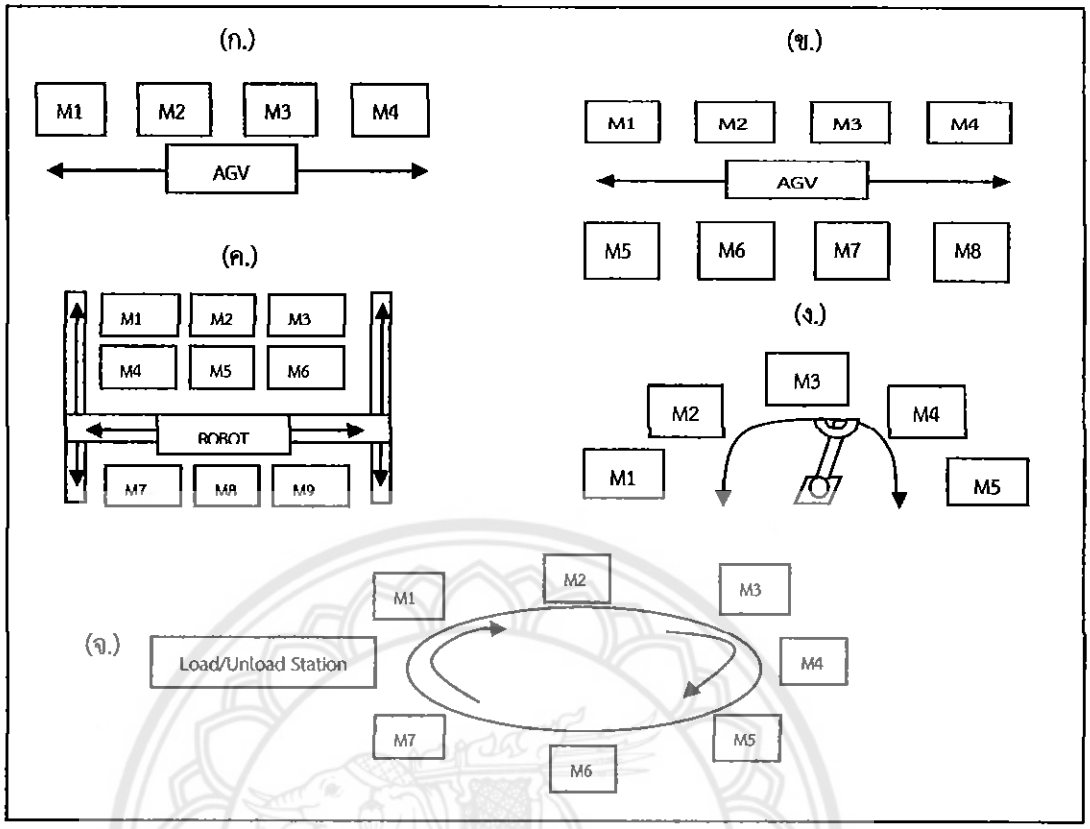
2.2.2 จัดเรียงเครื่องจักรแบบสองแถว (Double – Row Layout)

2.2.3 จัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถว (Multiple – Row Layout)

2.2.4 จัดเรียงเครื่องจักรแบบครึ่งวงกลม (Semi Circular)

2.2.5 จัดเรียงเครื่องจักรแบบวงกลม (Closed Unidirectional Loop Layout)

แสดงรูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นกับความแตกต่างของอุปกรณ์ขนย้ายวัตถุดิบในแต่ละรูปแบบ ดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 รูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นทั้ง 5 รูปแบบ
(ก.) Single – Row Layout (ข.) Double – Row Layout (ค.) Multiple – Row Layout
(ง.) Semi Circular (จ.) Closed Unidirectional Loop Layout
ที่มา : Nearchou, (2006)

2.3 เวลาที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิต

เวลาที่เกี่ยวข้องกับระบบการผลิต สามารถศึกษาได้ 4 วิธี คือ การศึกษาเวลาโดยตรง (Direct Time Study), การสุ่มงาน (Work Sampling), การศึกษาเวลาจากข้อมูลเวลามาตรฐานและสูตร (Standard Data and Formulas) และการศึกษาเวลาโดยระบบหาเวลาก่อนล่วงหน้า หรือการสังเคราะห์เวลา (Predetermined Motion Time System) เป็นต้น (โกศล ดีศีลธรรม, 2553)

เวลาในการผลิต (Cycle Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการผลิต หรือประกอบงานหนึ่งรอบกระบวนการ ซึ่งจะเริ่มนับตั้งแต่จุดเริ่มต้นของกระบวนการนั้นจนถึงเวลาที่กลับมาตั้งแต่ต้นเพื่อจะเริ่มทำการผลิตในรอบต่อไป

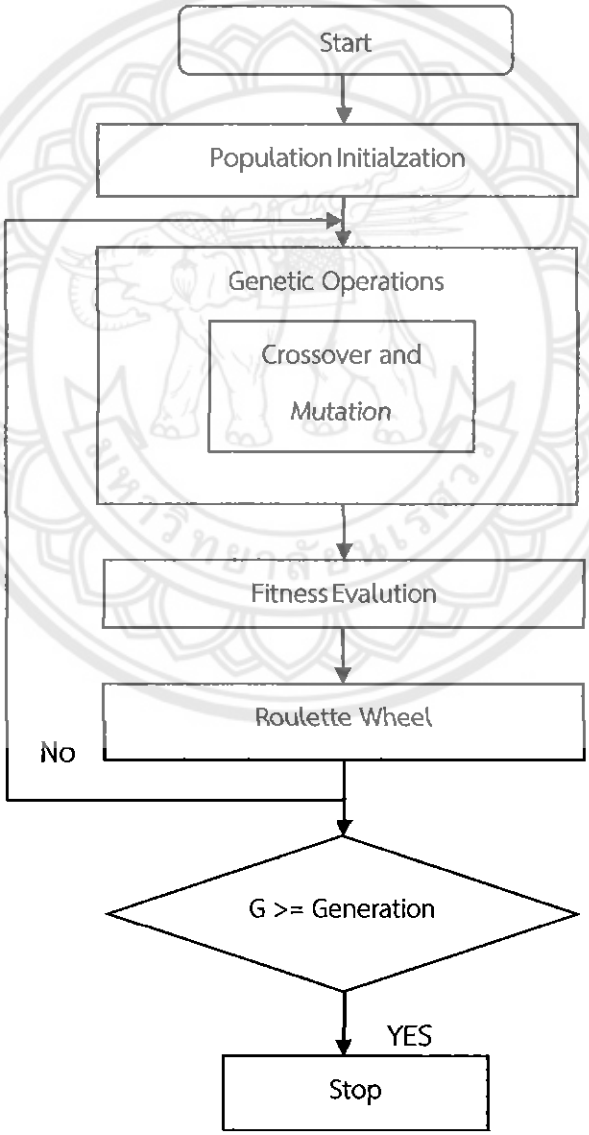
เวลาที่ใช้ในการทำงาน (Processing Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการผลิต หรือประกอบชิ้นงาน

เวลารอคอย (Waiting Time) หมายถึง เวลาที่ต้องรอคอยชิ้นงาน เพื่อทำการผลิตหรือประกอบในกระบวนการเดียวกัน

เวลาทั้งหมดในการผลิต (Total Flow Time) หมายถึง เวลาที่ใช้ในการทำงานรวมไปถึงเวลาที่ต้องสูญเสียไป เนื่องจากการรอคอยงานของแต่ละงานรวมกัน

2.4 วิธีการเจนเนติกอัลกอลิทึม (Genetic Algorithm)

เป็นแนวคิดสมัยใหม่ที่นำมาประยุกต์ใช้แก้ปัญหาการหาค่าที่ดีที่สุด โดยมีพื้นฐานมาจากกระบวนคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) และกระบวนการคัดเลือกทางพันธุศาสตร์ (Natural Genetics Selection) ซึ่งคิดค้นโดย John Honlland เมื่อปี ค.ศ. 1975 โดยนำแนวคิดที่ว่า สิ่งมีชีวิตทั้งหลายมีทั้งส่วนดีและส่วนที่ไม่ดี ซึ่งลักษณะที่ดีย่อมมีโอกาสอยู่รอดได้มากกว่า และจะได้สนับสนุนให้มีการถ่ายทอดไปสู่ลูกหลานได้มากกว่าเช่นกัน ดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 แสดงโครงสร้างการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึม

ที่มา : ดัดแปลงจาก Pongcharoen, 2004

2.4.1 องค์ประกอบหลักที่สำคัญของเจนเนติกอัลกอลิทึม

2.4.1.1 Chromosome Encoding หรือรูปแบบโครโมโซมที่ใช้ในการนำเสนอทางเลือกที่สามารถจะเป็นไปได้ของแต่ละปัญหา

2.4.1.2 Initial Population คือ ประชากรต้นกำเนิดที่จะเข้าไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยการสุ่มเลือกประชากรต้นแบบตามจำนวนของประชากรที่กำหนดไว้เป็น Parameter ของอัลกอลิทึมจากประชากรทั้งหมดที่มีอยู่

2.4.1.3 Fitness Function เป็นฟังก์ชันสำหรับการประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือกของคำตอบ ในโครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตัวเอง เพื่อนำมาพิจารณาว่าเหมาะสมหรือไม่ที่จะนำมาสืบทอด โดยใช้สมการที่สอดคล้องกับแต่ละปัญหา

2.4.1.4 Genetic Operator ใช้ในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลตลอดกระบวนการ ได้แก่ Selection, Crossover และ Mutation

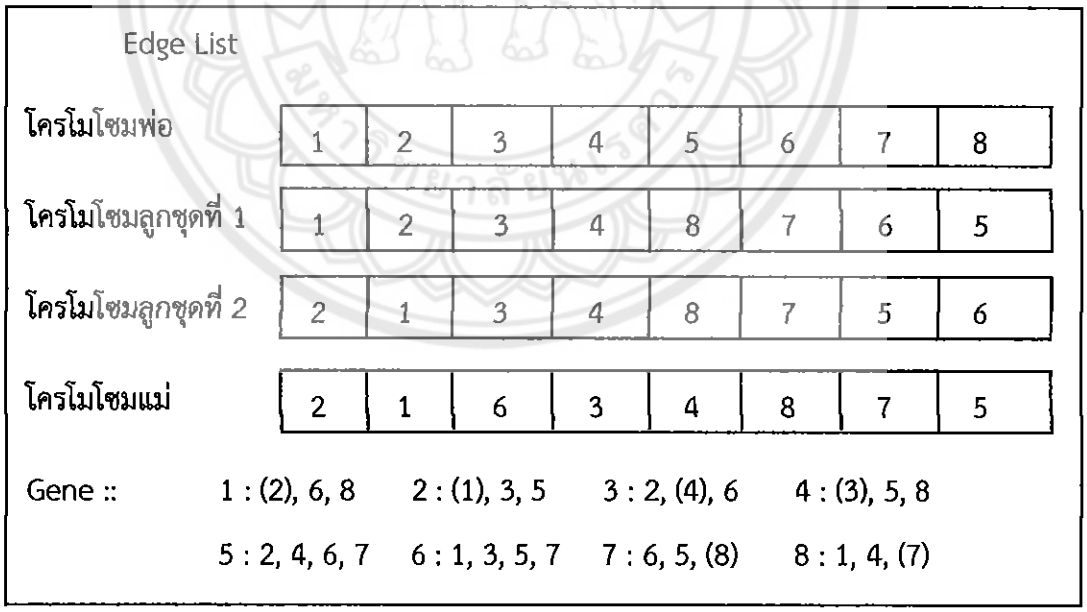
2.4.1.5 Parameter ที่สำคัญเช่น ขนาดของประชากร ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ และจำนวนรุ่น เป็นต้น อ้างอิงจาก นายสิทธิศักดิ์ กันทะหล้า, (2551).

2.4.2 ขั้นตอนการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึม

2.4.2.1 ขั้นตอนที่ 1 การสร้างโครโมโซม (Encoding Chromosome) ทำการสุ่มคำตอบมาจำนวนหนึ่งแล้วแปลง (Encoding) โดยการนำโครโมโซมแต่ละตัวที่ประกอบไปด้วยยีนจำนวนหนึ่งมาเรียงต่อกัน ซึ่งยีนมี 2 รูปแบบ คือ แบบตัวเลข และแบบตัวอักษรผสมตัวเลข (Alphanumeric) แล้วนำค่าคำตอบที่แปลงเหล่านั้นเป็น "โครโมโซม (Chromosome)" และเรียกกลุ่มโครโมโซมเหล่านี้ว่า "ประชากร (Population)"

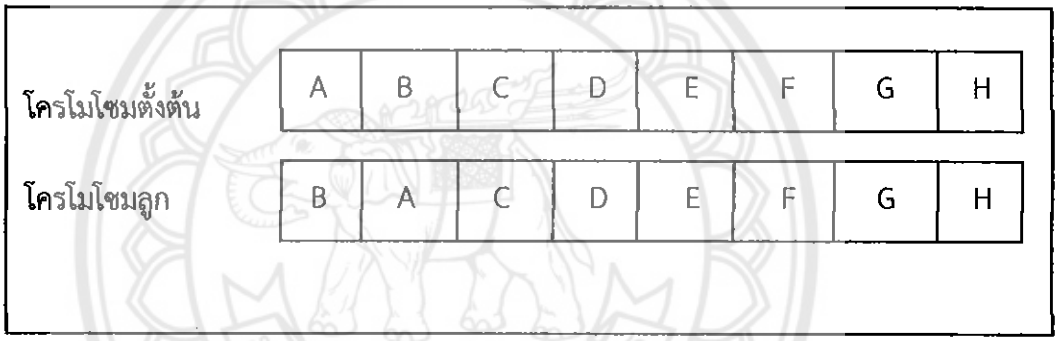
2.4.2.2 ขั้นตอนที่ 2 กระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operation) การนำโครโมโซมทั้งหมดในขั้นตอนที่ 1 มาเข้าสู่กระบวนการทางพันธุกรรมซึ่งมี 2 ขั้นตอน คือการสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) โดยทั้ง 2 ขั้นตอนสามารถแบ่งออกเป็น 2 รูปแบบ คือ แบบอนุกรม (Series) เป็นการสลับสายพันธุ์ก่อนแล้วค่อยทำการกลายพันธุ์ และแบบขนาน เป็นการสลับสายพันธุ์ไปพร้อมๆ กับการกลายพันธุ์ เมื่อทำกระบวนการทางพันธุกรรมเสร็จแล้วจะเกิดโครโมโซมใหม่ที่เรียกว่า "โครโมโซมลูก (Offspring)" ซึ่งเป็นการนำโครโมโซมลูกไปเก็บในกลุ่มของประชากรจะมี 2 แบบ คือ เก็บตามขนาดที่กำหนด (Regular) หรือแบบแทนที่ (Replace) ประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับประชากรเดิม และเก็บแบบขยาย (Enlarge) โครโมโซมลูกที่ได้มาจากการสลับสายพันธุ์หรือการกลายพันธุ์ จะไม่ถูกนำไปแทนที่ตำแหน่งโครโมโซมพ่อแม่ ดังนั้นขนาดของประชากรรุ่นใหม่จะมีขนาดเท่ากับประชากรเดิมบวกด้วยขนาดลูกที่เกิดในแต่ละรุ่น ด้วยการเก็บแบบขยายตัวนี้จะทำให้โครโมโซมพ่อแม่ และโครโมโซมลูกมีโอกาสเท่ากันที่จะผ่านไปถึงกระบวนการคัดสรรเพื่อเป็นประชากรรุ่นถัดไป

ก. การสลับสายพันธุ์ (Crossover) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมพ่อกับแม่ ขึ้นมาอย่างละโครโมโซม แล้วทำการสลับยีนหรือกลุ่มยีนระหว่างโครโมโซมพ่อและแม่ ทำให้เกิดโครโมโซมลูก (Offspring) สองโครโมโซม โดยตัวแปรที่กำหนดจำนวนโครโมโซมต้องผ่านการสลับสายพันธุ์ คือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการสลับสายพันธุ์ (Probabilities of Crossover : P_c) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดประชากร การสลับสายพันธุ์ด้วยวิธี EERX โดยอ้างอิงจากการศึกษาของ Murata et al., (1996) คือ วิธีนี้จะมีลิสต์ที่เรียกว่า Edge List เอาไว้เก็บยีนข้างเคียงของแต่ละยีนในโครโมโซมพ่อและแม่ หากมียีนที่ซ้ำกันให้ลบออก 1 ตัว ในการสืบทอดนั้นจะเริ่มสุ่มเลือกยีนในโครโมโซมพ่อขึ้นมา แล้วสืบทอดไปยังโครโมโซมลูกโดยตรง จากนั้นให้ดูว่ายีนดังกล่าวอ้างอิงถึงค่าใด ก็ให้ลบค่านั้นออกจาก Edge List ทั้งหมด ซึ่งในกรณีนี้ คือ ยีน 1 ขั้นตอนต่อไป คือ การหายีนที่จะนำมาวางเรียงลำดับต่อไป โดยพิจารณาจากข้อมูลใน Edge List แถวที่มียีนในลำดับปัจจุบันที่อ้างถึง หากดูจากตัวอย่าง การพิจารณาแถวของยีน 1 พบว่ามีสมาชิก คือ 2, 6, 8 โดยเลือกให้ความสำคัญกับยีนที่ซ้ำกัน สังเกตจากเครื่องหมาย () ที่ครอบไว้ เมื่อพบยีนดังกล่าว ก็สามารถนำไปสืบทอดโครโมโซมลูกได้เลย ถ้าค่าตัวนั้นถูกเลือกไปแล้ว ให้พิจารณาสมาชิกที่เหลือใน Edge List น้อยที่สุดจะถูกนำไปวางในลำดับถัดไป ถ้ามีสมาชิกใน Edge List เท่ากันตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ให้ใช้การสุ่มเป็นตัวตัดสิน และทำซ้ำจนกว่าจะได้โครโมโซมลูกตัวแรกครบทุกยีน แล้วค่อยเปลี่ยนไปทำโครโมโซมลูกตัวถัดไป ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงวิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Crossover

ข. การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นการทดแทนยีนที่สูญหายไปจากประชากรในระหว่างกระบวนการถ่ายทอดทางพันธุกรรม และเป็นการค้นพบยีนใหม่ที่เคยปรากฏในประชากรเริ่มต้นมาก่อน โดยจะทำการสุ่มเลือกโครโมโซมมา 1 โครโมโซมแล้วทำการสลับ หรือเปลี่ยนแปลงยีน "ภายใน" ตัวโครโมโซมนั้น ซึ่งผลที่ได้จะเป็นโครโมโซมลูก 1 โครโมโซม โดยตัวแปรที่เป็นตัวกำหนดจำนวนโครโมโซมที่ต้องผ่านการกลายพันธุ์ คือ ความน่าจะเป็นของโครโมโซมลูกที่เกิดจากการกลายพันธุ์ (Probabilities of Mutation : P_m) ซึ่งจะมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดประชากร วิธีการกลายพันธุ์มีหลายวิธี ซึ่งในโครงงานนี้จะอ้างอิงข้อมูลจาก Murata et al., (1996) คือ การกลายพันธุ์แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมจาก Pop Size โดยนำโครโมโซมที่สุ่มเลือกนั้นมาทำการสุ่มเลือกยีนใดยีนหนึ่งเพื่อเป็นยีนตั้งต้น จากนั้นทำการเลือกยีนที่อยู่ติดกันแล้วทำการสลับตำแหน่งของยีนทั้งสอง จากนั้นนำโครโมโซมลูกไปเก็บในกลุ่มของโครโมโซม ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงการกลายพันธุ์แบบ 2OAS

2.4.2.3 ขั้นตอนที่ 3 การคำนวณค่าความเหมาะสม (Fitness Computation) โครโมโซมทั้งหมดที่ผ่านมาในกระบวนการทางพันธุกรรมมาแล้ว จะถูกประเมินค่าความเหมาะสมที่จะกลายเป็นโอกาสอยู่รอดของแต่ละโครโมโซม โดยการคำนวณค่าความเหมาะสมจะอ้างอิงจากการศึกษาของ Gen and Cheng, (1997) ซึ่งจะมี 3 ขั้นตอน คือ

ขั้นที่ 1 ขั้นการถอดรหัสโครงสร้างโครโมโซมให้กลายเป็นโครงสร้างคำตอบ (Decoding Chromosome) การถอดรหัสของโครโมโซมในแต่ละปัญหา จะมีวิธีการถอดรหัสที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่กับฟังก์ชันเป้าหมาย (Objective Function) ที่กำหนดขึ้น

ขั้นที่ 2 นำแต่ละโครโมโซมไปคำนวณฟังก์ชันเป้าหมาย [f(x)] เพื่อประเมินหาค่าคำตอบ

ขั้นที่ 3 เปลี่ยนผลลัพธ์ของสมการเป้าหมายเป็นค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ซึ่งขึ้นอยู่กับเป้าหมายของปัญหาว่าต้องการหาค่าคำตอบที่มากที่สุด (Maximize Problem) หรือต้องการหาค่าคำตอบที่น้อยที่สุด (Minimize Problem) ซึ่งมีวิธีการดังนี้

สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่ามากที่สุด (Maximize Problem) ค่าความเหมาะสมจะเท่ากับ ค่าผลลัพธ์ของสมการเป้าหมาย สามารถเขียนสมการ ดังสมการที่ 2.1

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

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

f (f_k) คือ ฟังก์ชันเป้าหมาย

pop_size คือ ขนาดของประชากร หรือจำนวนโครโมโซม

ส่วนปัญหาที่ต้องการหาค่าน้อยที่สุด (Minimize Problem) ในกรณีนี้จำเป็นจะต้องมีการปรับค่าจากค่าคำตอบที่น้อยซึ่งเป็นคำตอบที่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมมาก และค่าคำตอบที่มากซึ่งเป็นคำตอบที่ไม่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมน้อย ซึ่งในที่นี้จะใช้วิธีการกลับค่าโดยนำแนวคิดมาจาก วัฒนพล ชัยเนตร (2548) ที่นำค่าคำตอบที่แย่ที่สุด (Worst Sulotion : x_w) มาพิจารณาโดยนำ x_w มาเป็นตัวตั้งแล้วลบด้วยค่าคำตอบของโครโมโซมแต่ละโครโมโซม จากนั้นนำมาเพิ่มพจน์ "+1" เข้ามาในสมการเพื่อให้ได้โครโมโซมที่แย่ที่สุดที่มีโอกาสเข้ามาสู่กระบวนการคัดสรร เพราะในกรณีที่โครโมโซมตัวที่แย่ที่สุดถูกลบด้วยตัวเลขของมันเองแล้วจะทำให้มีโอกาสในการอยู่รอดเท่ากับศูนย์ สามารถเขียนสมการ ดังสมการที่ 2.2

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

เมื่อ x_w คือ โครโมโซมที่มีค่าคำตอบแย่ที่สุด

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

2.4.2.4 ขั้นตอนที่ 4 การคัดสรร (Selection) ในโครงงานนี้จะเลือกใช้วิธีคัดสรรแบบ Stochastic Sampling คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบไม่แน่นอน รูปแบบการคัดสรรประเภทนี้ ได้แก่ "รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)" และวิธีการคัดสรรแบบ (Deterministic Sampling) คือ วิธีการคัดสรรที่มีรูปแบบแน่นอน ได้แก่ Elitist Selection

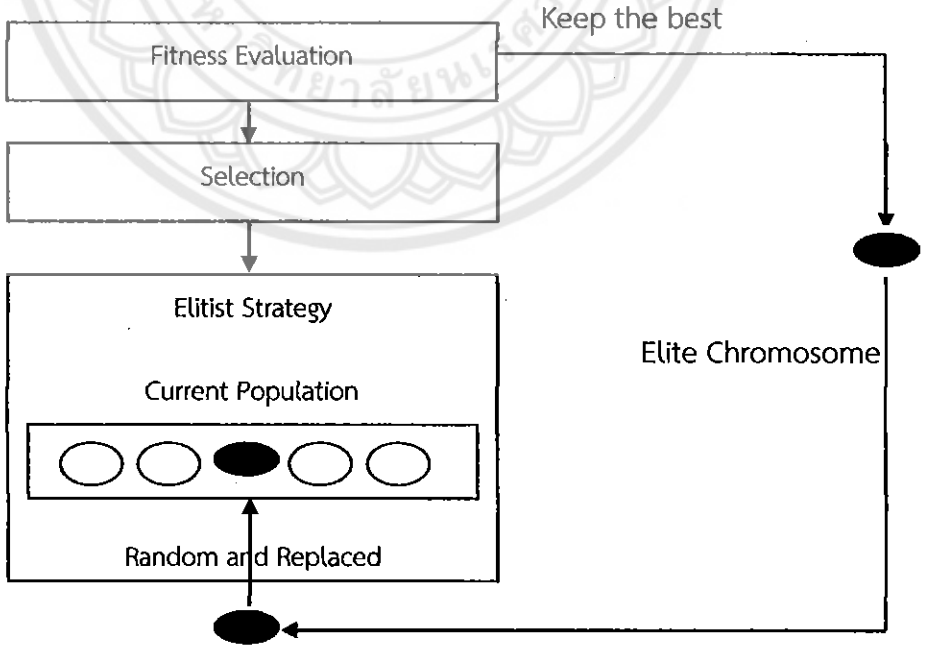
ก. รูปแบบการคัดสรรด้วยวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) คือ โครโมโซมทุกตัวจะถูกจัดสรรลงบนวงล้อเสี่ยงทายด้วย 1 โครโมโซมจะแทน 1 ช่อง ซึ่งจะมีจำนวนวงล้อเท่ากับจำนวนโครโมโซมทั้งหมด และความกว้างของแต่ละช่องก็จะถูกกำหนดโดยความน่าจะเป็นในการถูกเลือกสำหรับแต่ละโครโมโซมตามสัดส่วนค่าความเหมาะสมของโครโมโซมนั้น หากปั่น (Spin) ของวงล้อหมุนเสี่ยงทายตกตรงที่ช่องใด โครโมโซมที่ช่องนั้นจะอ้างถึงการอยู่รอดในรุ่น

(Generation) ถัดไป สำหรับโครโมโซม k แทนค่าความเหมาะสม (Fitness Value) ของโครโมโซม ด้วย f_k และแทนความน่าจะเป็นในการถูกเลือก (Selection Probability) ของโครโมโซม ด้วย p_k (Gen & Cheng, 1997) สามารถหาความน่าจะเป็นในการถูกเลือก และเขียนเป็นสมการ ดังสมการที่ 2.3

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

การทำงานของวงล้อเสี่ยงทายเพื่อคัดสรรโครโมโซมที่จะผ่านไปในรุ่นถัดไปนั้น เกิดขึ้นจากการหมุนวงล้อเสี่ยงทายเท่ากับจำนวนของโครโมโซมหรือค่า Pop size โดยที่แต่ละครั้งของการหมุนนั้น หากมาร์คเกอร์ (Marker : ▮) ชี้ไปที่ช่องของโครโมโซมใด โครโมโซมนั้นจะได้ผ่านไปยังรุ่นถัดไป แล้วค่อยหมุนครั้งต่อไปจนได้ครบทุกโครโมโซม

ข. รูปแบบการคัดสรรด้วย Elitist Selection คือ การรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดีในแต่ละรอบ ในการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึมจะมีโครโมโซมตัวที่ดีที่สุดที่ได้รับโอกาสในการอยู่รอด แต่ก็อาจเกิดกรณีตัวที่ดีที่สุดนั้นไม่สามารถผ่านไปในรุ่นถัดไปได้ ทำให้วิวัฒนาการของโครโมโซมไม่ต่อเนื่องด้วยเหตุนี้ Murata et al., (1996) จึงได้เสนอกลยุทธ์การรักษาเผ่าพันธุ์ชนชั้นดี (Elitist Strategy) โดยที่หลังจากโครโมโซมทั้งหมดผ่านขั้นตอนการประเมินค่าแล้ว กลยุทธ์นี้จะเลือกเก็บโครโมโซมที่ดีที่สุดเอาไว้ เพื่อนำไปแทนโครโมโซมรุ่นถัดไปโดยจะสุ่มเลือกจากประชากรรุ่นปัจจุบันขึ้นมา 1 ตัวแล้วแทนด้วยโครโมโซมที่ดีที่สุดที่เก็บไว้ลงไป ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงกลไกการทำงานของ Elitist Strategy

ที่มา : Murata et al., (1996)

2.4.2.5 ขั้นตอนที่ 5 การตรวจสอบเงื่อนไขหยุดการทำงาน (Termination) เจนเนติกอัลกอลิทึมจะหยุดการทำงานเมื่อมีการทำงานครบจำนวนรุ่น (Number of Generation) ที่กำหนดเอาไว้ ถ้าหากการทำงานยังไม่ครบจำนวนรุ่น ก็จะวนกลับไปทำในกระบวนการทางพันธุกรรม (Genetic Operations) ซ้ำอีกรอบจนกว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด

2.5 สถิติ T-Test

เป็นสถิติที่ใช้ทดสอบความแตกต่าง หรือเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของกลุ่มตัวอย่าง 2 กลุ่ม ใช้สำหรับการทดสอบข้อมูลที่มีการแจกแจงแบบปกติ (Normal Distribution) สำหรับตัวอย่าง 2 กลุ่ม มี 2 ลักษณะคือเป็นตัวอย่างที่อิสระต่อกัน (Independent Sample) และตัวอย่างที่สัมพันธ์กัน (Related Samples) ลักษณะโค้งการแจกแจง t เป็นรูประฆังคว่ำคล้ายการแจกแจงแบบปกติ แต่โค้งลาดต่ำกว่าความสูงของโค้งขึ้นอยู่กับระดับชั้นความเสรี (Degree of Freedom) เขียนแทนสัญลักษณ์ด้วย v (วราภรณ์ สุขสุชะโน, 2554.)

การตั้งสมมติฐานมี 2 ข้อ ซึ่งเรียกว่า สมมติฐานว่าง (Null Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_0 และสมมติฐานทางเลือก (Alternative Hypothesis) เขียนแทนด้วย H_a ตามพจนานุกรมราชบัณฑิตยสถาน (2542)

2.5.1 ขั้นตอนการทดสอบสมมติฐาน

2.5.1.1 ตั้งสมมติฐาน H_0 และ H_a

2.5.1.2 เลือกสถิติที่ใช้ทดสอบ และคำนวณค่าสถิติ เช่น t, z เป็นต้น หรือใช้โปรแกรม Excel, SPSS, MINITAB

2.5.1.3 กำหนดระดับนัยสำคัญ (Level of Significant) ซึ่งความน่าจะเป็นหรือโอกาสที่เกิดความผิดพลาดจากสาเหตุ นิยมใช้ 0.05, 0.01

2.5.1.4 เปรียบเทียบค่าสถิติที่คำนวณได้กับค่าส่วนกลับของระดับนัยสำคัญที่กำหนด

2.5.1.5 จากการเปรียบเทียบนำไปสู่การสรุปผลยอมรับว่า H_0 เป็นจริง หรือไม่ยอมรับ H_0 เป็นจริง ถ้าไม่ยอมรับ H_0 ก็หมายความว่า ยอมรับ H_a เป็นจริง

2.5.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ชุดที่มีความสัมพันธ์กัน (Related Samples)

ข้อมูลมีลักษณะเป็นคู่ แต่ละคู่วัดจากหน่วยของตัวอย่างเดียวกัน ตัวอย่าง การวิจัยเพื่อเปรียบเทียบเจตคติของนิสิตที่มีต่อการสูบบุหรี่ก่อน และหลังดูวีดีทัศน์ที่เกี่ยวกับอันตรายของการสูบบุหรี่ โดยวัดคะแนนเจตคติก่อนและหลังดูวีดีทัศน์ของนิสิตแต่ละคน มีคะแนนเต็ม 10

การตั้งสมมติฐาน H_0 : เจตคติของนิสิตที่มีต่อการสูบบุหรี่ก่อนและหลังดูวีดีทัศน์ไม่ต่างกัน

H_a : เจตคติของนิสิตที่มีต่อการสูบบุหรี่ก่อนและหลังดูวีดีทัศน์ต่างกัน

2.5.3 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของข้อมูล 2 ชุดที่อิสระกัน (Independent Samples)

ตัวอย่าง การศึกษาเพื่อเปรียบเทียบระดับกรดยูริกในเซรุ่นของผู้ป่วยเบาหวานกับคนปกติ

การตั้งสมมติฐาน H_0 : ระดับกรดยูริกในเซรุ่มของผู้ป่วยเบาหวานและคนปกติไม่แตกต่างกัน

H_a : ระดับกรดยูริกในเซรุ่มของผู้ป่วยเบาหวานและคนปกติแตกต่างกัน

2.5.4 ข้อตกลงเบื้องต้น

2.5.4.1 ข้อมูลมีลักษณะเป็นปริมาณ มีมาตรวัดอัตราส่วน (Ratio Scale) หรืออันตรภาค (Interval Scale)

2.5.4.2 ข้อมูลมีการแจกแจงปกติ

2.5.4.3 ไม่ทราบค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐานของประชากร

2.5.4.4 ในกรณีที่ไม่สอดคล้องกับข้อตกลงเบื้องต้น

ก. ถ้าประชากรมีการแจกแจงใดๆ และมีจำนวนตัวอย่างมากพอ สามารถเลือกใช้ค่าสถิติ t หรือ z ทดสอบได้ เมื่อตัวแปรของค่าสถิติ z มีการแจกแจงแบบปกติค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนเท่ากับ 0 และ 1 ตามลำดับ ซึ่งเป็นไปตามทฤษฎีขีดจำกัดกลาง ที่กล่าวว่า ค่าเฉลี่ยของตัวอย่างไม่ว่าจะสุ่มจากประชากรที่มีการแจกแจงใดๆ เมื่อจำนวนตัวอย่างมากพอ การแจกแจงค่าเฉลี่ยสามารถประมาณได้ด้วยการแจกแจงปกติ

ข. ถ้าประชากรไม่มีการแจกแจงปกติ และจำนวนตัวอย่างน้อย หรือข้อมูลมีลักษณะเป็นคุณภาพ มีมาตรวัดนามบัญญัติ หรือเรียงลำดับ ควรใช้กระบวนการที่เรียกว่า การแจกแจงอิสระ (Distribution Free) หรือไม่มีพารามิเตอร์ ได้แก่ Sign Test, Wilcoxon Rank – Sum Test เป็นต้น

2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลอง คือ การวางแผนล่วงหน้าเกี่ยวกับการทดลองเพื่อให้ข้อมูลที่เก็บรวบรวมได้ตรงกับเป้าหมายที่ต้องการทดสอบ และสามารถนำข้อมูลที่ได้มาวิเคราะห์ด้วยวิธีทางสถิติ นอกจากนี้การออกแบบการทดลองยังถูกใช้เพื่อทำการศึกษาเกี่ยวกับการค้นหาผลกระทบของปัจจัยที่มีนัยสำคัญต่อการเปลี่ยนแปลงของผลคำตอบ รวมไปถึงการกรองปัจจัย (Screening of Factors)

เพื่อหาค่าของปัจจัย หรือพารามิเตอร์ที่เหมาะสมมากที่สุดของกระบวนการ ซึ่งกลยุทธ์ของการทดลองมีหลากหลายวิธี เพียงเลือกให้เหมาะสมกับการทดลอง เช่น

การออกแบบการทดลองเชิงแฟคทอเรียล (Factorial Designs) คือ การทดลองที่สมบูรณ์ซึ่งพิจารณาถึงผลที่เกิดจากการรวมกันของระดับ (Levels) ของปัจจัย (Factors) ทั้งหมดที่เป็นไปได้นั้น โดยการทดลองจะศึกษาถึงผลปัจจัยตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป เช่น กรณีที่มีปัจจัย A ประกอบด้วย a ระดับ และปัจจัย B ประกอบด้วย b ระดับ ดังนั้นในการทำซ้ำของการทดลองจะประกอบด้วยการทดลองทั้งหมด ab การทดลอง ผลกระทบของปัจจัยจะอธิบายได้ในลักษณะผลกระทบหลัก (Main Effect) คือ ผลกระทบของปัจจัยที่ศึกษาเกิดการเปลี่ยนแปลงกับผลตอบสนองปัจจัยนั้นๆ หรือลักษณะของการมีปฏิสัมพันธ์ (Interaction) ต่อกันระหว่างปัจจัย คือ ผลตอบสนองที่ได้ในแต่ละระดับของปัจจัยหนึ่งจะขึ้นอยู่กับระดับปัจจัยอื่นๆ ด้วย

2.7 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA)

เป็นการวิเคราะห์อัตราส่วนความแปรปรวนระหว่างกลุ่ม (Between – Group Variance) และความแปรปรวนภายในกลุ่ม (Within – Group Variance) ความแปรปรวนระหว่างกลุ่มเป็นค่าที่เกิดจากความแตกต่างของค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ ถ้าค่าเฉลี่ยระหว่างกลุ่มต่างๆ แตกต่างกันมาก ค่าความแปรปรวนระหว่างกลุ่มจะมากตามไปด้วย ส่วนความแปรปรวนภายในกลุ่มเป็นค่าที่แสดงคะแนนของแต่ละตัวที่อยู่ภายในกลุ่มว่าแต่ละกลุ่มมีการกระจายมากหรือน้อย ค่าที่คำนวณได้เรียกว่าความคลาดเคลื่อน

การตรวจสอบสมมติฐานขั้นต้นและความถูกต้องของแบบจำลองทำได้โดยการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) ซึ่งจะมีการตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นปกติโดยการทำกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติของส่วนตกค้าง (Normal Probability Plot of the Residuals) ถ้าหากการแจกแจงของความผิดพลาดเป็นแบบปกติรูปกราฟที่จะได้เป็นเส้นตรง ทำการตรวจสอบสมมติฐานค่าความแปรปรวน σ^2 มีค่าคงตัวโดยการทำกราฟส่วนตกค้างกับค่าที่ถูกฟิต (Plot of Residuals Versus Fitted Valued) ถ้าหากทำแบบจำลองถูกต้อง และสมมติฐานมีความเหมาะสมแล้วกราฟที่ได้ควรจะมีรูปแบบเฉพาะ สุดท้ายทำภารตรวจสอบสมมติฐานของความเป็นอิสระโดยการทำกราฟส่วนตกค้างตามลำดับเวลาการเก็บข้อมูล (Plot of Residuals Versus the Order of the Data) จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล โดยวิธีการทดสอบจะทำโดยอาศัยตารางการวิเคราะห์ความแปรปรวน ดังตารางที่ 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.)	ผลเฉลี่ยกำลังที่สอง (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}	$\frac{MS_{BC}}{MS_E}$

ตารางที่ 2.1 การวิเคราะห์ความแปรปรวนของการทดลองเชิงแฟคทอเรียล 3 ตัวแปร แบบ Fixed Effect Model (ต่อ)

แหล่งที่มา (Source of Variation)	ผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares)	องศาเสรี (d.f.)	ผลเฉลี่ยกำลังที่สอง (Mean Squares)	ค่าสถิติ F_0
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 กฎการจัดลำดับงาน (Dispatcing Rules)

วิธีการจัดลำดับงานที่เหมาะสม หมายถึง การจัดลำดับของการทำงานที่ทำให้เวลาในการทำงานทั้งหมดสั้นที่สุด โดยใช้เทคนิคของการจัดลำดับงานโดยใช้กฎความสำคัญ ซึ่งจัดงานตามลักษณะ 4 แบบ ได้แก่ First Come First Serve (FCFS), Shortest Processing Time (SPT), Longest Processing Time (LPT) และ Earliest Due Date (EDD) แล้วทำการเปรียบเทียบการจัดงานในแต่ละลักษณะ จากนั้นเลือกลักษณะของการจัดลำดับงานที่ทำให้ค่าดีที่สุด แต่โดยปกติแล้วตัวชี้วัดจะไม่สามารถระบุลงได้อย่างชัดเจน เพราะการจัดงานแต่ละลักษณะมักมีทั้งข้อดีและข้อเสียแตกต่างกันไป ซึ่งในการศึกษานี้จะขอกล่าวเฉพาะเทคนิคที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้เท่านั้น คือ SPT และ EDD ดังนี้

2.8.1 Shortest Processing Time (SPT)

Shortest Processing Time หมายถึง การจัดลำดับความสำคัญของการทำงานโดยให้ทำงานที่ใช้เวลาสั้นที่สุดก่อนแล้วค่อยทำงานที่ใช้เวลามากเป็นลำดับถัดไป จะเห็นได้ว่า SPT เป็นวิธีที่มุ่งในการลดเวลาแล้วเสร็จของงานแต่ละงานและพยายามทำให้งานต่างๆ ออกจากระบบการผลิตให้เร็วที่สุด ข้อดีของการจัดลำดับงานแบบนี้ คือ เวลาโดยเฉลี่ยของงานในระบบจะต่ำที่สุด ทำให้เกิดสินค้าคงเหลือในระหว่างการผลิตน้อยและสามารถประหยัดพื้นที่ในการจัดเก็บ แต่ข้อเสีย คือ งานที่ใช้เวลาในการผลิตนานๆ มักถูกผลักไปอยู่ในอันดับท้ายทำให้เกิดการรอคอย

2.8.2 Earliest Due Date (EDD)

Earliest Due Date หมายถึง การจัดลำดับความสำคัญในการทำงานโดยให้ทำงานที่มีกำหนดส่งมอบเร็วที่สุดก่อนแล้วจึงค่อยทำงานที่มีกำหนดส่งมอบนานกว่าเป็นลำดับถัดไป โดยทั่วไปเป็นวิธีที่มุ่งเน้นลดการล่าช้าจากกำหนดการส่งมอบทำให้ปริมาณงานล่าช้าลดน้อยลงเสมอ แต่วิธี

ดังกล่าวอาจทำให้มีจำนวนงานที่เข้ามาในระบบมากกว่าวิธีอื่นๆ และทำให้เกิดสินค้าคงเหลือระหว่างผลิตสูง

2.9 โปรแกรมภาษา Tcl/Tk

เป็นโปรแกรมภาษาสคริปต์ Tcl – Tool Command Language (อ่านว่า Tickle) ที่ต้องใช้ตัวแปรภาษาหรืออินเตอร์พรีตเตอร์ในการทำงาน คล้ายกับภาษา 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) เช่นกัน Tcl/Tk ถูกพัฒนาโดย John K. Outsterhoot โดยตอนแรกนั้นตั้งใจให้ Tcl เป็นคำสั่งภาษาที่ใช้สำหรับสั่งงานแบบอินเตอร์แอคทีฟเท่านั้น แต่ต่อมาได้มีการพัฒนาความสามารถของ Tcl ให้มีมากขึ้น การพัฒนาแอพพลิเคชั่นด้วย Tcl/Tk นั้นสามารถนำไปใช้งานได้บนหลายๆ แพล็ตฟอร์ม ตั้งแต่ UNIX, Macintosh และ Windows

การใช้ Tcl/Tk แบบนอนอินเตอร์แอคทีฟ คือ การเขียนสคริปต์คำสั่งเก็บไว้ในไฟล์ก่อนจากนั้นจึงเรียก Tclsh หรือ Wish มาแปลคำสั่งในสคริปต์ที่ได้เขียนอีกครั้งหนึ่ง วิธีนี้มีประโยชน์มากกว่าการใช้งานแบบอินเตอร์แอคทีฟ เนื่องจากทำให้สามารถสั่งงานได้ต่อเนื่องด้วยชุดคำสั่ง ทำให้ได้แอปพลิเคชั่นที่เต็มรูปแบบ สมมติว่าได้ทำการเขียนสคริปต์ไว้ในไฟล์ Myprog.tcl แล้วจะเรียกใช้โปรแกรมที่เขียนมาทำงานที่ยูนิกส์พรอมต์ได้ ดังนี้

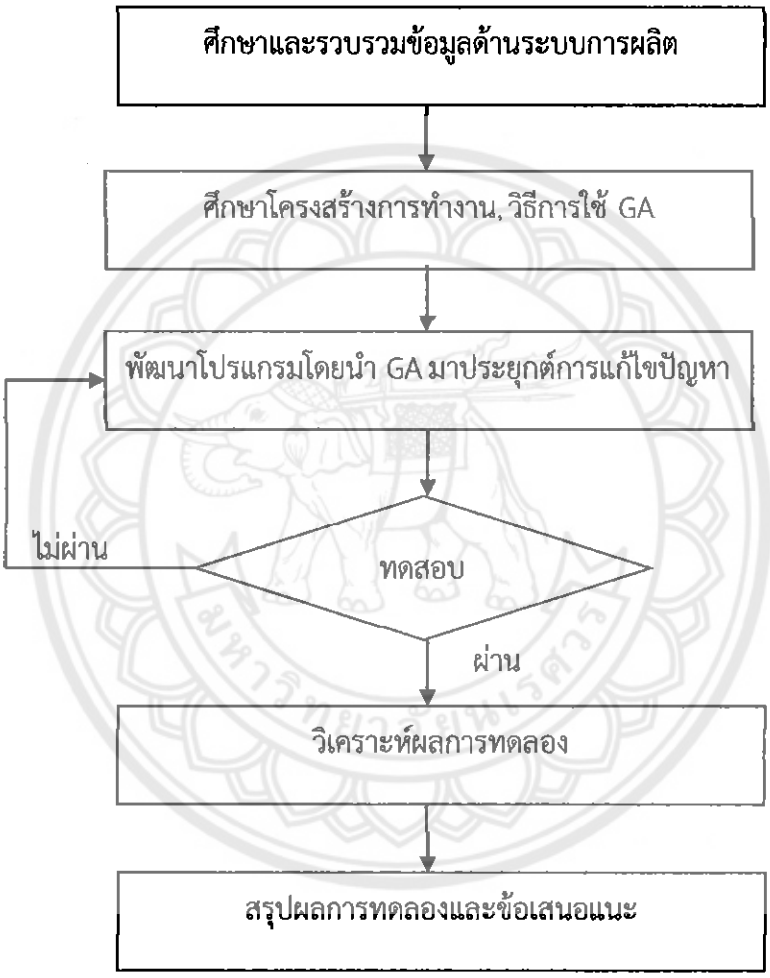
```
$tclsh myprog.tcl
```

หรือ

```
$wish myprog.tcl
```

บทที่ 3
วิธีดำเนินโครงงาน

เนื่องจากโครงงานนี้มีจุดประสงค์เพื่อประยุกต์ใช้กระบวนการทำงานของเจนเนติกอัลกอลิทึม ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่นโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร

ในโครงงานนี้ได้นำปัญหาการออกแบบจัดเรียงเครื่องจักรมาตรฐานที่ได้ตีพิมพ์ โดยข้อมูลดังกล่าวถูกศึกษาโดย Nearchou, (2005) ดังตารางที่ 3.1-3.2 ส่วนการกำหนดเวลาการทำงานของเครื่องจักร ผู้จัดทำใช้วิธีการสุ่มตัวเลข โดยที่เครื่องจักรแต่ละเครื่อง และแต่ละผลิตภัณฑ์ เวลาการทำงานจะไม่เท่ากัน ดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 แสดงข้อมูล จำนวนเครื่องจักร และจำนวนผลิตภัณฑ์ที่ใช้ในโครงงาน

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

ตารางที่ 3.2 *แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท*

Part	Required Machine Sequence
	(a) 10-machine, 3-part
1	2-1-6-5-8-9-3-4
2	10-8-7-5-9-6-1
3	9-2-7-4
	(b) 20-machine, 5-part
1	4-3-2-12-1-9-16-18-5-8-20-15-14-6-11
2	10-9-1-3-18-17-5-6-2-11-4
3	17-11-6-8-7-15-16-9-1-20
4	14-17-11-3-16-5-13-18-20-19-12-10-6-8-15
5	6-18-8-4-2-7-5-9-14-19-1-20-10-16-11-15-13-12
	(c) 15-machine, 9-part
1	4-2-5-1-6-8-14-9-11-3-15-12
2	3-2-15-14-11-1-17-10-4-5-13-6-9
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

ตารางที่ 3.2 (ต่อ) แสดงลำดับความต้องการของเครื่องจักรในการผลิตผลิตภัณฑ์แต่ละประเภท

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

ตารางที่ 3.3 แสดงเวลาการทำงานของเครื่องจักรขึ้นอยู่กับชนิดแต่ละผลิตภัณฑ์

Part	Required Machine Sequence	Processing Time (Min.)	Total Processing Time (Min.)
	(a) 10-machine, 3-part		
1	2-1-6-5-8-9-3-4	3.6-3.3-4.5-5.9-5.4-3.5-4.5-3.5	34.2
2	10-8-7-5-9-6-1	3.2-5.0-7.7-6.1-3.3-4.5-3.3	33.7
3	9-2-7-4	2.9-3.1-6.1-4.1	18.9

3.1.1 ข้อมูลของเครื่องจักร

โดยเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะมีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ความกว้างและความยาวของเครื่องจักรถูกกำหนดโดยผู้ใช้ มีหน่วยเป็นเมตร มีจุดวางผลิตภัณฑ์ตรงกึ่งกลางเครื่องจักร เวลาการเริ่มผลิตของผลิตภัณฑ์แต่ละชนิดเป็นไปตามกฎการจัดลำดับ EDD และ SPT โดยเมื่ออุปกรณ์ขนถ่ายรับชิ้นงานจากจุดเริ่มต้นไปส่งเครื่องจักรของผลิตภัณฑ์ที่ 1 แล้วกลับไปจุดเริ่มต้น เพื่อรับชิ้นงานไปส่งเครื่องจักรของผลิตภัณฑ์ที่ 2 จากนั้นผลิตภัณฑ์ที่ 2 ถึงจะเริ่มกระบวนการ

3.1.2 ข้อมูลการวางผังเครื่องจักร

โดยเนื้อที่โรงงานมีรูปทรงสี่เหลี่ยมมุมฉาก ความกว้างและความยาวของเครื่องจักรถูกกำหนดโดยผู้ใช้ มีหน่วยเป็นเมตร และช่องว่างระหว่างเครื่องจักร รวมไปถึงช่องว่างระหว่างของแต่ละ

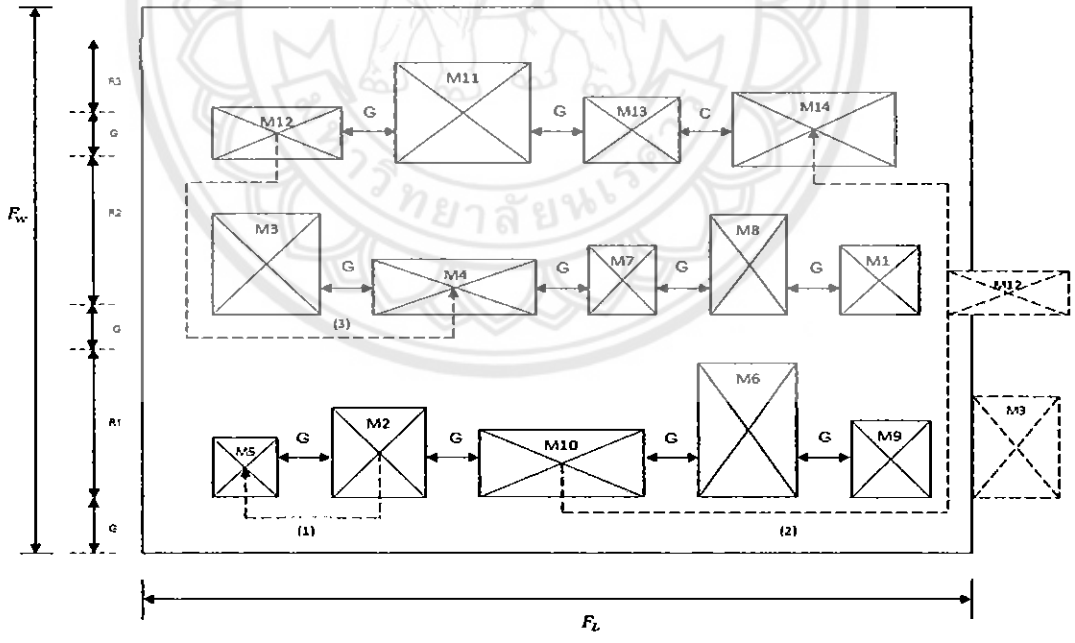
แถวให้มีขนาดเท่ากัน กำหนดให้เป็น G (Gap Between Machine) ที่เว้นไว้ให้ AGV และเว้นไว้เป็นทางเดินสำหรับการทำงานของโรงงาน มีหน่วยเป็น เมตร

3.1.3 ข้อมูลการวิ่งของ AGV

โครงงานนี้ได้กำหนดสมมติฐานความเร็วของ AGV อยู่ที่ 50 เมตรต่อนาที ซึ่งในโปรแกรมสามารถปรับค่าความเร็วได้ มีหน่วยเป็น เมตรต่อนาที และการเคลื่อนที่ของ AGV คือ เดินทางเป็นเส้นตรง จากซ้ายไปขวา หรือขวาไปซ้าย จากบนลงล่าง หรือจากล่างขึ้นบน แบ่งออกเป็น 2 กรณี คือ

กรณีที่ 1 คือ เดินทางในแถวเดียวกันโดย AGV จะออกจากเครื่องต้นทาง ทางด้านล่าง แล้วเคลื่อนที่ไปตามช่องว่าง G ที่กำหนดไว้ แล้วเลื่อนซ้าย/ขวาไปหาเครื่องจักรปลายทาง และเข้าหาอีกเครื่องจักรทางด้านล่างเช่นกัน ดังแสดงในรูป 3.2 (1)

กรณีที่ 2 คือ เดินทางคนละแถวจากแถวล่างขึ้นไปแถวบน ดังแสดงในรูป 3.2 (2) และจากแถวบนลงล่าง ดังแสดงในรูป 3.2 (3) โดย AGV จะออกจากเครื่องต้นทางทางด้านล่าง แล้วเคลื่อนที่ไปทางด้านขวาสุด หรือซ้ายสุดของแถว แล้วค่อยเดินทางขึ้น/ลงไปแถวของเครื่องจักรปลายทาง โดยการเลือกเส้นทางว่าจะไปทางซ้าย หรือขวานั้นจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุด จากนั้น AGV จะเข้าหาเครื่องจักรปลายทาง ทางด้านล่างของตัวเครื่องจักร



รูปที่ 3.2 เส้นทางวิ่งของ AGV

ที่มา : พัชราภรณ์, 2007

3.2 การประยุกต์ใช้เจนเนติกอัลกอลิทึมสำหรับการแก้ปัญหา

3.2.1 วิธีการสลับสายพันธุ์

ทำการศึกษาวิธีการสลับสายพันธุ์ด้วยวิธี EERX ซึ่งจะอ้างอิงค่าพารามิเตอร์จากการศึกษาของ พัชราภรณ์ อริยะวงษ์ ที่ได้จากการทดลอง แล้วนำวิธีการสลับสายพันธุ์ดังกล่าวมาทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

3.2.2 วิธีการกลายพันธุ์

แบบ Two Operation Adjacent Swap Mutation (2OAS) เป็นการสุ่มเลือกโครโมโซมจาก Pop size โดยนำโครโมโซมที่สุ่มเลือกนั้นมาทำการสุ่มเลือกยีนใดยีนหนึ่ง เพื่อเป็นยีนตั้งต้น จากนั้นทำการเลือกโครโมโซมลูกไปเก็บในกลุ่มของโครโมโซม

3.2.3 ค่าพารามิเตอร์

ในการออกแบบการทดลองนั้น ได้กำหนดปัจจัยไว้ 4 ปัจจัย คือ ขนาดประชากร/จำนวนรุ่น, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ และกฎการจัดลำดับความสำคัญ โดย 3 ปัจจัยแรกจะแบ่งออกเป็น 3 ระดับ เพื่อทดสอบกรองปัจจัยที่มีผลกระทบ และพารามิเตอร์สามารถปรับค่าได้ ดังแสดงในตารางที่ 3.4 ซึ่งจะทำการทดสอบกับข้อมูลทั้ง 4 ชุดและการทดลองจะมีการทำซ้ำ 5 ครั้ง โดยใช้หมายเลขในการสุ่ม (Random Seed) ที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 3.4 แสดงปัจจัยและระดับการทดลอง

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
กฎการจัดลำดับความสำคัญ (S/E)	2	SPT	EDD	-

จากปัจจัยและระดับการทดลอง ใช้การออกแบบเชิงแฟกทอเรียลสมบูรณ์โดยทำการรัน 3x3x3x2 = 54 รัน ซึ่งกำหนดวิธี SPT คือ 1 และวิธี EDD คือ 2 แสดงดังตาราง ก ในภาคผนวก

3.2.4 การประเมินคำตอบที่ดีที่สุด

จะทำการคำนวณหาค่าระยะเวลาที่ใช้ในกระบวนการผลิตที่เหมาะสมโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน เพื่อหาเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด (Minimize Total Flow Time) มีหน่วยเป็นนาที โดยสมการวัตถุประสงค์ ดังสมการที่ 3.1

$$\text{Flow Time} = \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M-1}\sum_{q=1}^{P}\left(W_{bqi} + U_{qi} + W_{aqi} + \left(\frac{V}{D_{ij}}\right)\right) + \left(\frac{V}{\sum_{q=1}^{P}(D_{qoi(start)} + D_{qj(stop)o})}\right) \quad (3.1)$$

เมื่อกำหนด M คือ จำนวนเครื่องจักร (m = 1, 2, 3, ..., M)

P คือ ผลิตภัณฑ์

q คือ ชนิดผลิตภัณฑ์ (q = 1, 2, ..., P)

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

i(start) คือ เครื่องจักรเริ่มต้นของกระบวนการการทำงาน

j(stop) คือ เครื่องจักรสุดท้ายของกระบวนการทำงาน

W_a คือ เวลารออุปกรณ์ขนถ่าย

W_{aqi} คือ เวลารออุปกรณ์ขนถ่ายของผลิตภัณฑ์ q ที่เครื่องจักร i

W_b คือ เวลารอคอยเครื่องจักร

W_{bqi} คือ เวลารอคอยเครื่องจักรของผลิตภัณฑ์ q ที่เครื่องจักร i

U_{qi} คือ เวลาทำงานของกระบวนการผลิตของผลิตภัณฑ์ q ที่เครื่องจักร i

V คือ ความเร็วของอุปกรณ์ขนถ่าย

D_{ij} คือ ระยะทางจากเครื่องจักร i ไปเครื่องจักร j

o คือ จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด

$D_{qoi(start)}$ คือ ระยะทางของผลิตภัณฑ์ q จากจุดเริ่มต้นไปยังเครื่องจักร i

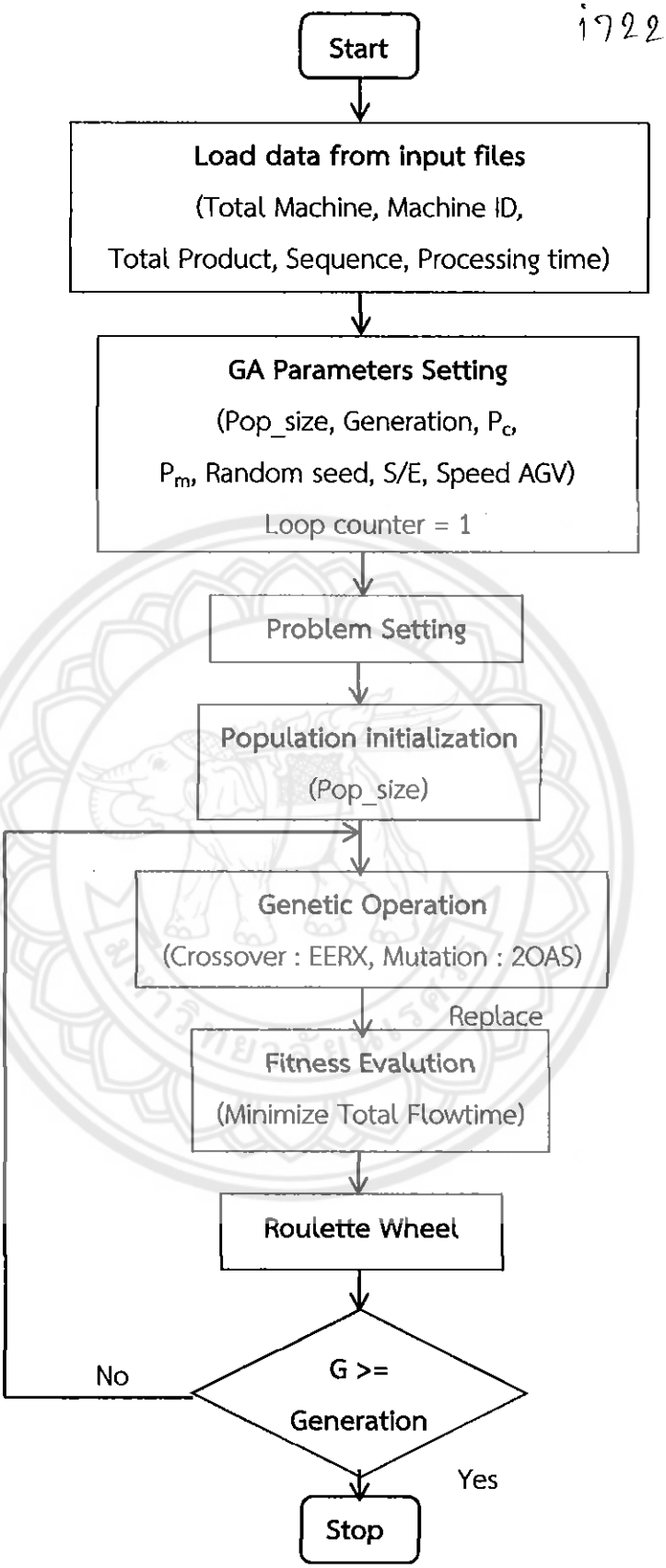
$D_{qj(stop)o}$ คือ ระยะทางของผลิตภัณฑ์ q จากเครื่องจักร j ไปยังจุดสิ้นสุดกระบวนการทำงาน

แล้วนำค่าที่คำนวณได้ไปทำการประเมินค่าความเหมาะสม ซึ่งในโครงงานนี้ต้องการหาค่าเวลาที่น้อยที่สุด (Minimize Total Flow Time) จึงต้องปรับค่าฟังก์ชันเป้าหมายจากค่าคำตอบน้อย ซึ่งเป็นคำตอบที่ดีให้มีค่าความเหมาะสมมาก และค่าคำตอบที่มาก ซึ่งเป็นค่าคำตอบที่ไม่ดี ให้มีค่าความเหมาะสมน้อย โดยวิธีการกลับค่าตามสมการ (2.2) ที่ได้เสนอไปก่อนหน้านี้ในบทที่ 2 หัวข้อที่ 2.4.2

3.3 ขั้นตอนการดำเนินโครงงานโดยการนำเจนเนติกอัลกอลิทึมมาใช้ในการหาคำตอบ

การดำเนินโครงงานด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4 ซึ่งเป็นโปรแกรมที่สามารถจัดการในส่วนของการติดต่อผู้ใช้ได้ดี ประกอบไปด้วยสามส่วนหลัก คือ ส่วนของแฟ้มข้อมูลนำเข้า, ส่วนของการประมวลผล และส่วนแฟ้มข้อมูลนำออก ซึ่งผู้ใช้โปรแกรมจะควบคุมผ่านทางหน้าจอควบคุมโปรแกรม ดังรูปที่ 3.3

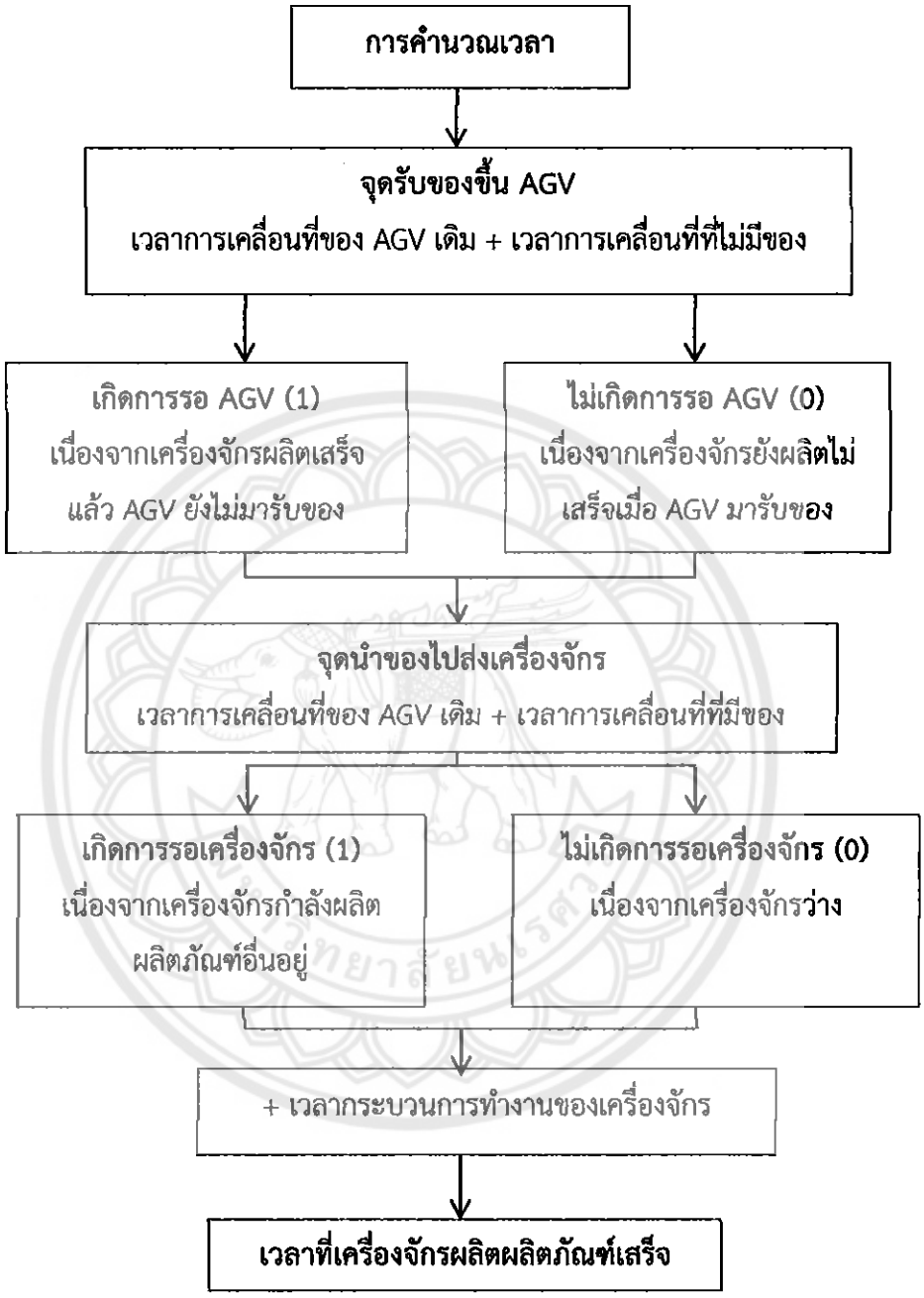
17224329
สำนักหอสมุด
- 6 ก.ย. 2561



รูปที่ 3.3 การประยุกต์ใช้ GA สำหรับปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

ที่มา : ดัดแปลงจาก พัชราภรณ์, 2007

การทำงานของโปรแกรมในส่วนของการคำนวณเวลา กำหนดให้ การรอ AGV และ เครื่องจักร เป็น 1 ไม่เกิดการรอคอยเป็น 0 ซึ่งมีทั้งหมด 4 กรณี คือ 00, 01, 10, 11 แสดงดังรูปที่ 3.4



รูปที่ 3.4 การคำนวณเวลาการทำงานของเครื่องจักร 1 เครื่อง 1 ผลิตภัณฑ์

3.4 การทดสอบและแก้ไขโปรแกรม

ทำการทดสอบเพื่อแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นจากการทดลองของการใช้โปรแกรม Tcl and the Tk

3.5 วิเคราะห์ผลการทดลอง

ทำการวิเคราะห์ผลการทดลองด้วยเครื่องมือทางสถิติ

3.6 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

ทำการสรุปผลการทดลองเมื่อมีการพิจารณากฎการจัดลำดับเข้ามาเกี่ยวข้องสำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

เนื้อหาในบทนี้จะกล่าวถึงลักษณะของโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด (Minimize Total Flow Time) โดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน ผลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่สามารถปรับเปลี่ยนค่าได้ ซึ่งสามารถสรุปได้ ดังนี้

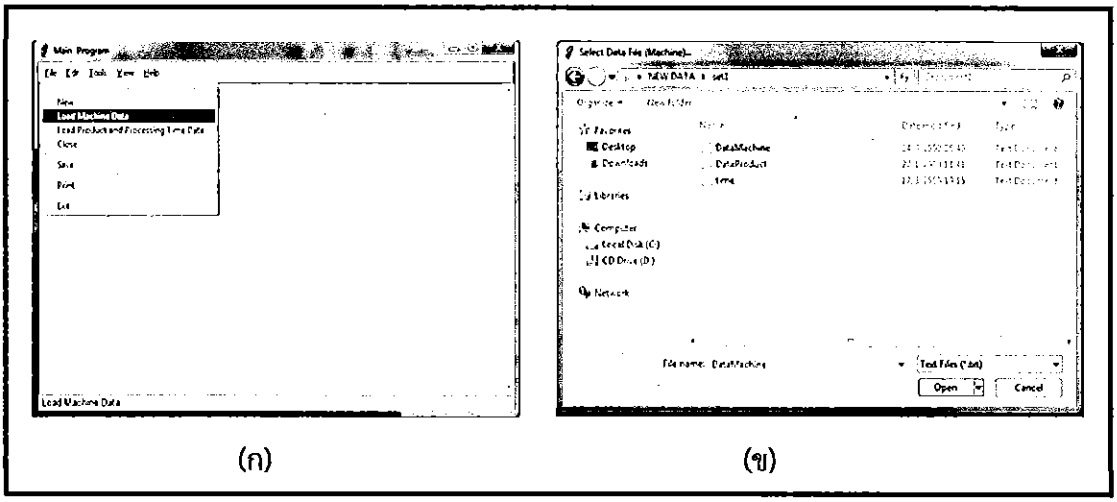
4.1 ผลการพัฒนาโปรแกรมเพื่อนำ GA มาใช้หาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบ FMS

พัฒนาด้วยโปรแกรม Tcl and the TK เวอร์ชั่น 8.4 โดยโปรแกรมมีลักษณะดังนี้

4.1.1 หน้าจอหลัก

ลักษณะหน้าจอหลักของโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจะมีลักษณะ ดังรูปที่ 4.1 โดยจะใช้ในการนำแฟ้มข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมนั้น สามารถทำได้ดังรูปที่ 4.2 คือ ข้อมูลเครื่องจักร ข้อมูลผลิตภัณฑ์ ลำดับการทำงาน และเวลาในกระบวนการทำงานของเครื่องจักร

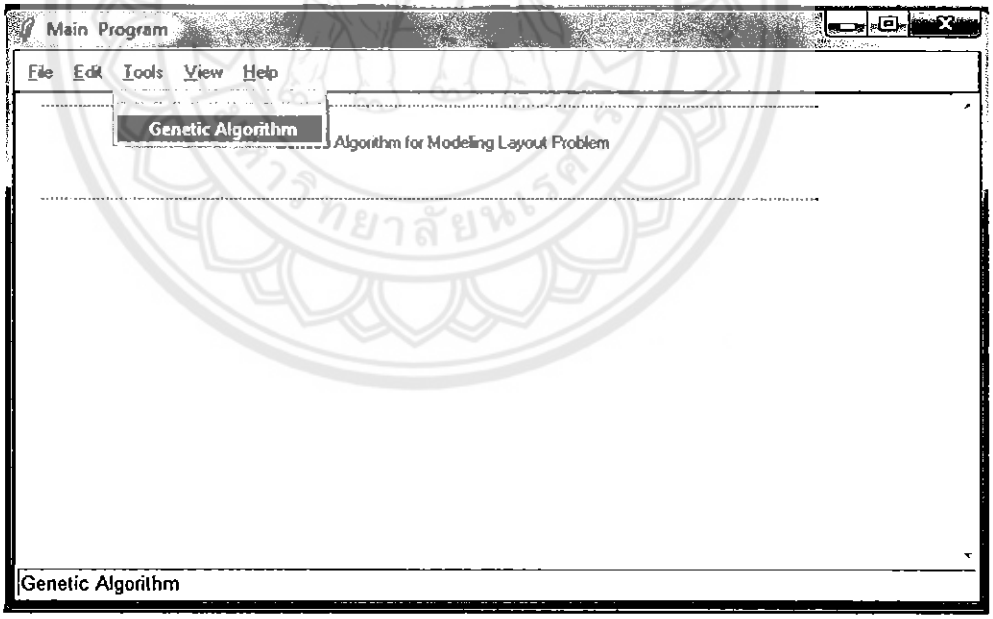
รูปที่ 4.1 แสดงหน้าจอหลักของโปรแกรม



รูปที่ 4.2 (ก) แสดงการเลือกแฟ้มข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม
(ข) แสดงการนำแฟ้มข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

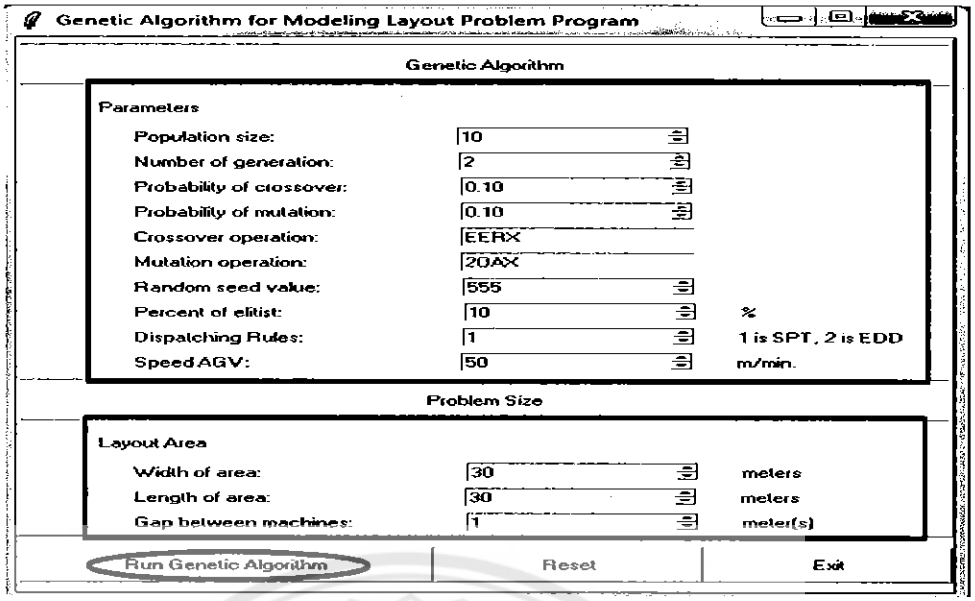
4.1.2 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

เมื่อทำการโหลดแฟ้มข้อมูลต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ทำการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังแสดงในรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 แสดงการเลือกวิธี Genetic Algorithm

ซึ่งหน้าต่างของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนของการกำหนดค่าพารามิเตอร์ และส่วนของขนาดของพื้นที่โรงงาน เมื่อกำหนดค่าต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ต้องกดปุ่ม Run Genetic Algorithm ทุกครั้ง เพื่อให้โปรแกรมเริ่มทำงาน ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แสดงการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

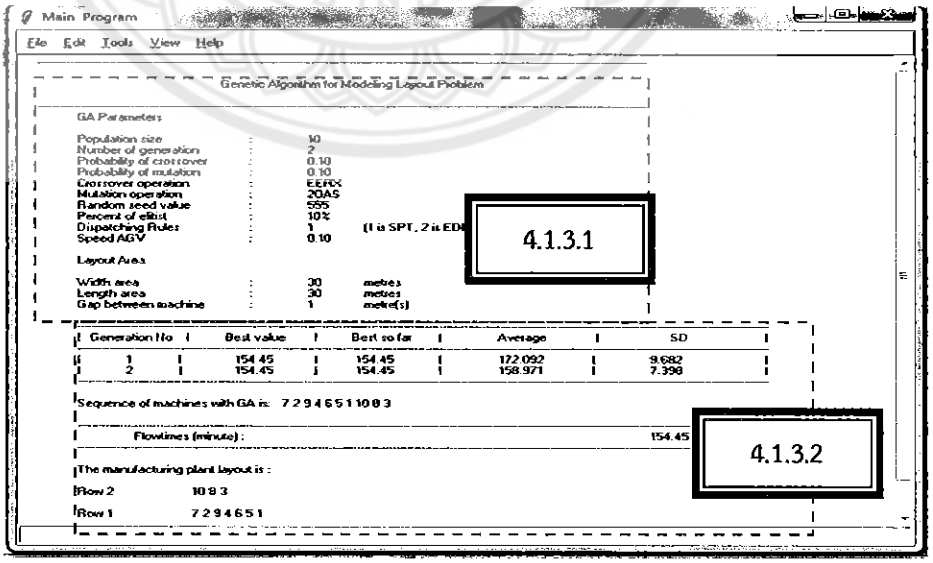
4.1.3 หน้าจอแสดงผล

หน้าจอแสดงผล แบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

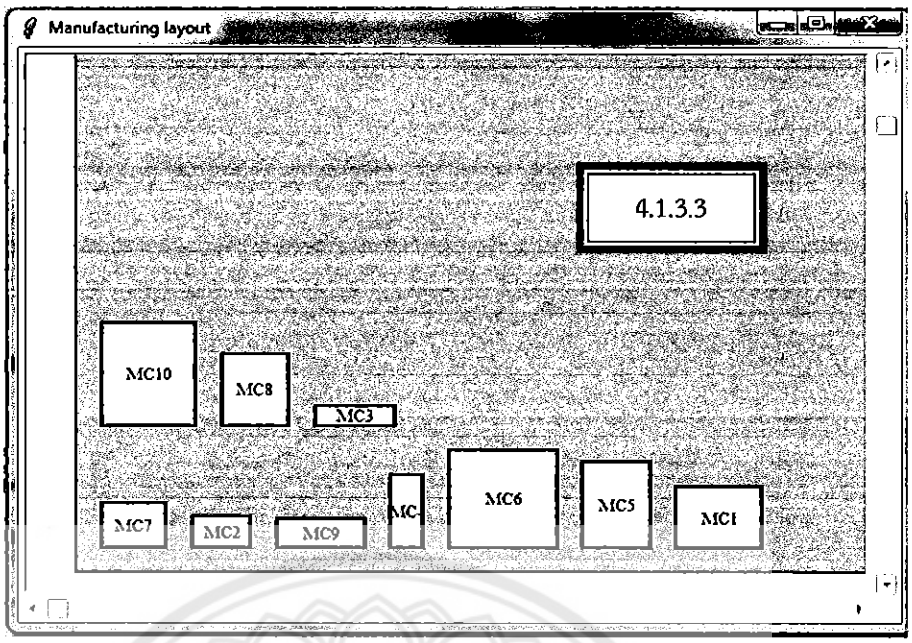
4.1.3.1 แสดงค่าพารามิเตอร์ และขนาดโรงงานที่กำหนด

4.1.3.2 แสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการรันโปรแกรม

4.1.3.3 แสดงผลการเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค ซึ่งทั้ง 3 ส่วน **มีลักษณะดังรูปที่** 4.5 **และ** รูปที่ 4.6



รูปที่ 4.5 หน้าจอแสดงผล



รูปที่ 4.6 แสดงผลการจัดเรียงเครื่องจักรแบบกราฟฟิค

4.2 ผลการออกแบบการทดลองเพื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์

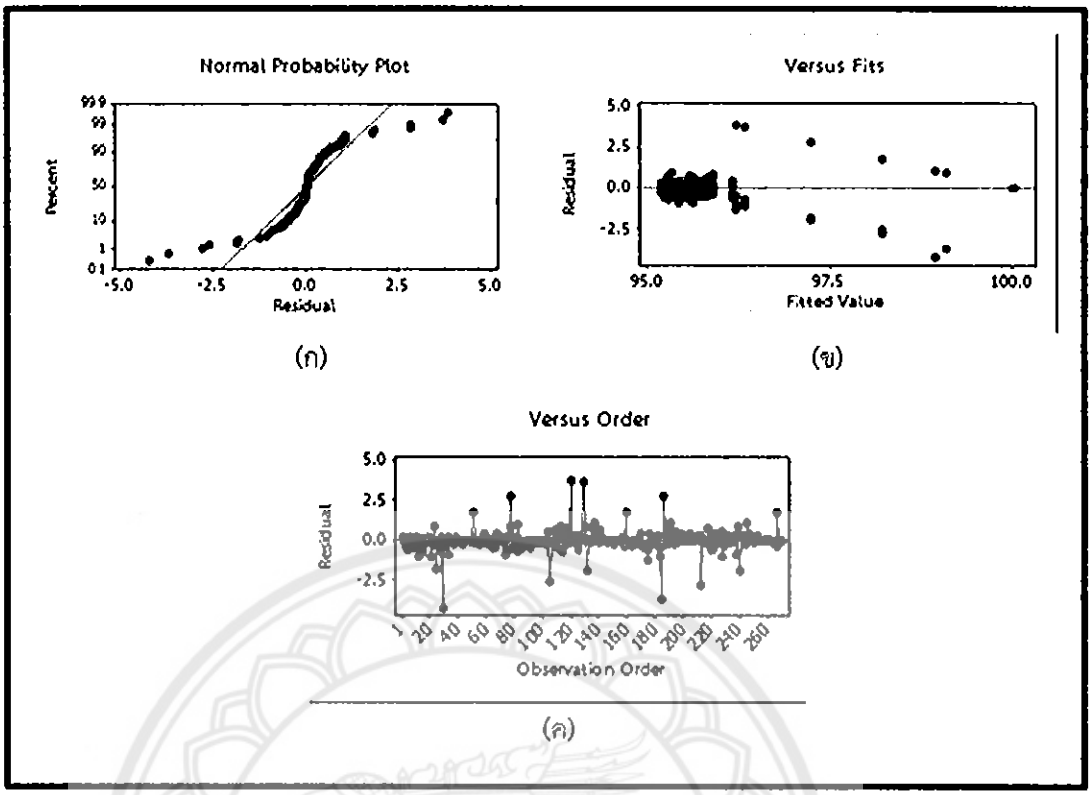
ในการวิเคราะห์ผลการทดลองจะใช้โปรแกรมประยุกต์ทางด้านสถิติ คือ โปรแกรม Minitab 16 และใช้การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบจำลองเชิงเส้นทั่วไป โดยพิจารณาให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดที่พบ (เวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด) เป็นตัวแปรตาม ซึ่งได้ผลการทดลองจากข้อมูลทั้ง 4 ชุด ดังนี้

4.2.1 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 1

ตารางที่ 4.1 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/Gen	2	363.221	181.610	268.48	0.000
P_c	2	1.729	0.864	1.28	0.281
P_m	2	298.257	149.129	220.46	0.000
S/E	1	0.247	0.247	0.37	0.546
(Pop/Gen)(P_c)	4	6.666	1.667	2.46	0.046
(Pop/Gen)(P_m)	4	330.534	82.634	122.16	0.000
(Pop/Gen)(S/E)	2	2.173	1.087	1.61	0.203
(P_c)(P_m)	4	10.025	2.506	3.71	0.006
(P_c)(S/E)	2	2.992	1.496	2.21	0.112
(P_m)(S/E)	2	0.322	0.161	0.24	0.788
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)	8	10.651	1.331	1.97	0.052
(Pop/Gen)(P_c)(S/E)	4	4.694	1.173	1.73	0.143
(Pop/Gen)(P_m)(S/E)	4	3.595	0.899	1.33	0.260
(P_c)(P_m)(S/E)	4	4.035	1.009	1.49	0.206
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E)	8	5.897	0.737	1.09	0.371
Error	212	146.113	0.676		
Total	269	1191.151			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.1 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m), Pop/Gen*P_c, Pop/Gen*P_m และ P_c*P_m มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ส่วนค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), กฎการจัดลำดับงาน (S/E), (Pop/Gen)(S/E), (P_c)(S/E), (P_m)(S/E), (Pop/Gen)(P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m)(S/E), (P_c)(P_m)(S/E), และ (Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E) นั้น พบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้างดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 **แบบ คือ**

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

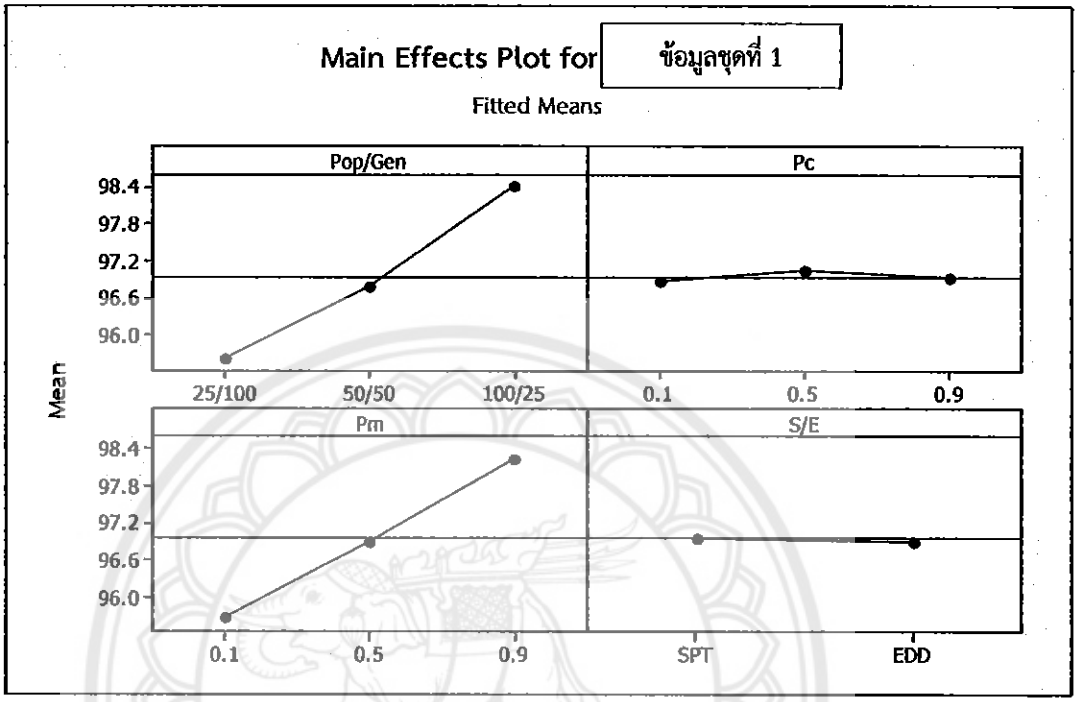
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.7 (ก) **พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะ**คล้ายเส้นตรง แต่จะมีบางช่วงที่ไม่เป็นเส้นตรง อาจเกิดจากปัจจัยต่าง**ๆ ของชุดข้อมูลที่** 1 **เนื่องจา**กชุดข้อมูลมีชนิดผลิตภัณฑ์ และจำนวนเครื่องจักรน้อย รวมไปถึงความเร็วของอุปกรณ์ขนถ่าย **ที่มีผลต่อกราฟการแจกแจงปกติ หรือ จำนวนการทดลองซ้ำที่มีผลต่อการกระจายของคำตอบ**

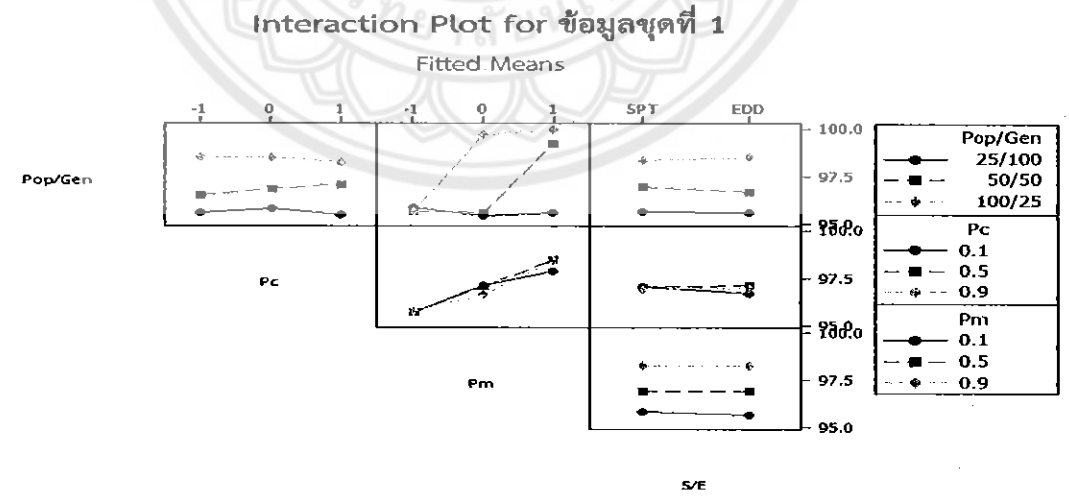
จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.7 (ข) พบว่า กราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการเกาะกลุ่ม และมีลักษณะเป็นแนวขนาน เนื่องจากค่าของข้อมูลมีลักษณะไม่ค่อยแปรปรวนมากนักอยู่ระหว่างค่า 95-96 เป็นส่วนใหญ่ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดไม่คงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.7 (ค) พบว่า กราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

กราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) และปัจจัยร่วม แสดงปัยจัยที่มีผลขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) ดังรูปที่ 4.8-4.9



รูปที่ 4.8 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก



รูปที่ 4.9 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.1 ที่แสดงไปข้างต้น ทำให้ทราบว่าปัจจัยร่วมมีผลต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการศึกษา ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะแสดงดังรูปที่ 4.8-4.9 ซึ่งค่าผลกระทบปัจจัยร่วม คือ (Pop/Gen)(P_c), (Pop/Gen)(P_m) และ (P_c)(P_m) ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับกลาง คือ 0.5 และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) คือ วิธี EDD

เนื่องจากกราฟวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) รูปที่ 4.7 มีความกระจายข้อมูลผิดปกติ ผู้ดำเนินโครงงานจึงทำการวิเคราะห์หาสาเหตุจากการตั้งสมมติฐานความเร็วของอุปกรณ์ขนถ่ายมีผล โดยตรวจสอบค่าที่ได้จากการทดลอง คือ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) คือ 0.1, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) คือ 0.1, กฎการจัดลำดับงาน (S/E) คือ วิธี SPT และ Seed คือ 555 จากสมการวัตถุประสงค์ที่ได้แสดงไปแล้วในบทที่ 3 สมการที่ 3.1 ได้เวลาในกระบวนการผลิตดังนี้

$$= \sum_{i=1}^{M}\sum_{j=1}^{M-1}\sum_{q=1}^{P}\left(W_{bqi} + U_{qi} + W_{aqi} + \left(\frac{V}{D_{ij}}\right)\right) + \left(\frac{V}{\sum_{q=1}^{P}(D_{qoi(start)} + D_{qj(stop)o})}\right)$$

$$= (5.83 + 83.5 + 0 + 5.09) + (0.5+0.7)$$

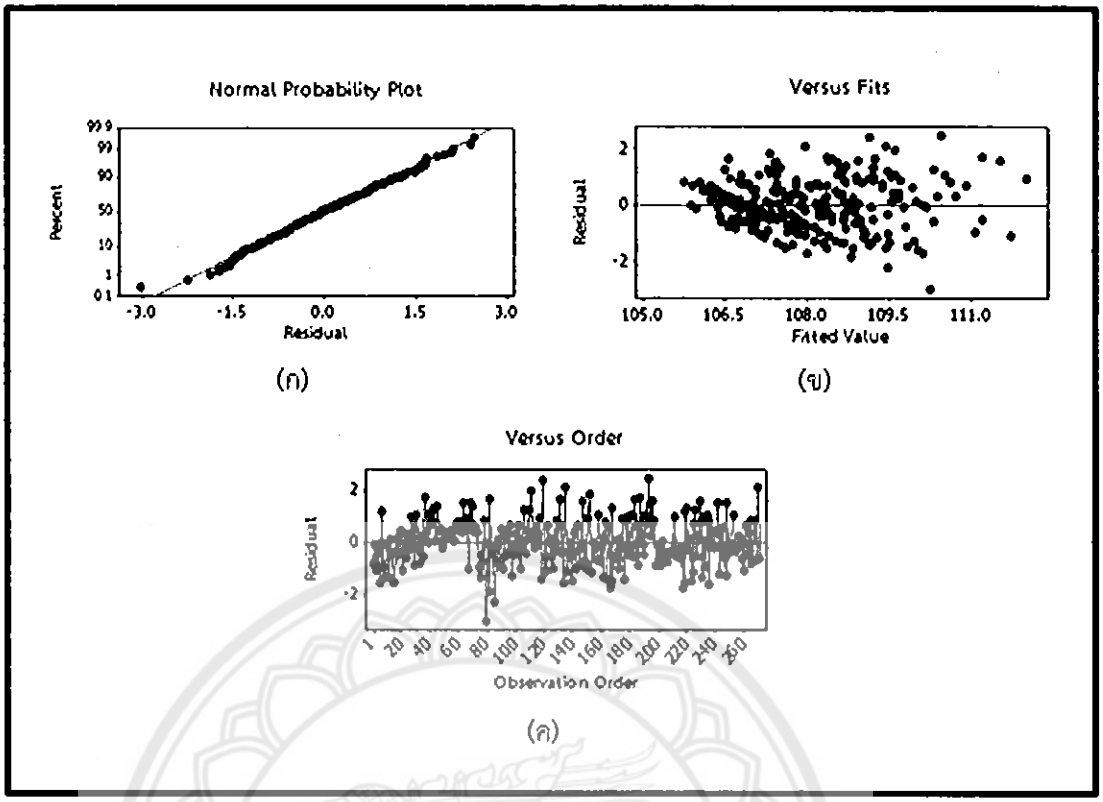
$$= 95.62 \text{ นาที}$$

จากการทดลองจะเห็นได้ว่าไม่เกิดการรออุปกรณ์ขนถ่าย อาจเกิดเนื่องจากอุปกรณ์ขนถ่ายมีความเร็วที่มากเกินไป จึงทำการทดสอบชุดข้อมูลที่ 1 อีกครั้ง โดยใช้ความเร็วของอุปกรณ์ขนถ่ายที่ 20 เมตรต่อนาที ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 1 (ความเร็ว 20 เมตรต่อนาที)

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/Gen	2	62.527	31.264	30.66	0.000
P_c	2	0.530	0.265	0.26	0.771
P_m	2	77.500	38.750	38.01	0.000
S/E	1	201.364	201.364	197.50	0.000
(Pop/Gen)(P_c)	4	4.921	1.230	1.21	0.309
(Pop/Gen)(P_m)	4	9.062	2.265	2.22	0.068
(Pop/Gen)(S/E)	2	3.612	1.806	1.77	0.173
(P_c)(P_m)	4	2.100	0.525	0.51	0.725
(P_c)(S/E)	2	0.323	0.161	0.16	0.854
(P_m)(S/E)	2	4.366	2.183	2.14	0.120
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)	8	5.760	0.720	0.71	0.686
(Pop/Gen)(P_c)(S/E)	4	2.533	0.633	0.62	0.648
(Pop/Gen)(P_m)(S/E)	4	1.635	0.409	0.40	0.808
(P_c)(P_m)(S/E)	4	1.402	0.350	0.34	0.848
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E)	8	3.182	0.398	0.39	0.925
Error	212	216.144	1.020		
Total	269	629.915			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.2 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และกฎการจัดลำดับงาน (S/E) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ส่วนค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), (Pop/Gen)(S/E), (P_c)(S/E), (P_m)(S/E), (Pop/Gen)(P_c), (Pop/Gen)(P_m), (P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m)(S/E), (P_c)(P_m)(S/E), และ (Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E) นั้น พบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ดังรูปที่ 4.10

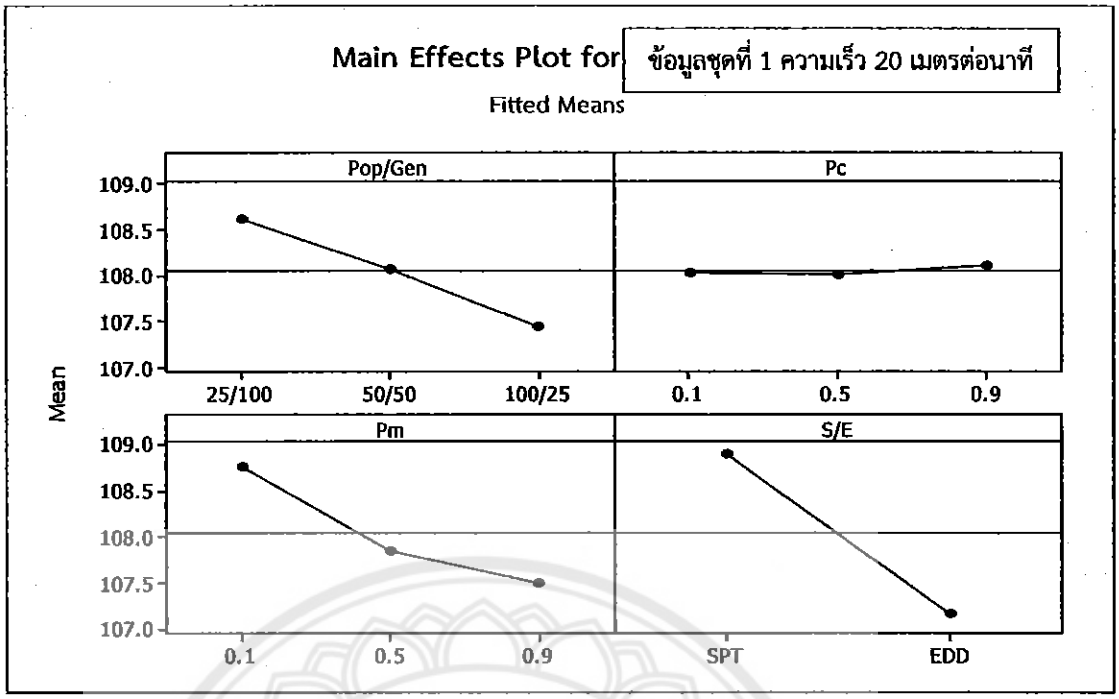


รูปที่ 4.10 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.10 (ก) พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.10 (ข) พบว่า กราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.10 (ค) พบว่า กราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ แสดงกราฟปัจจัยหลัก ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก

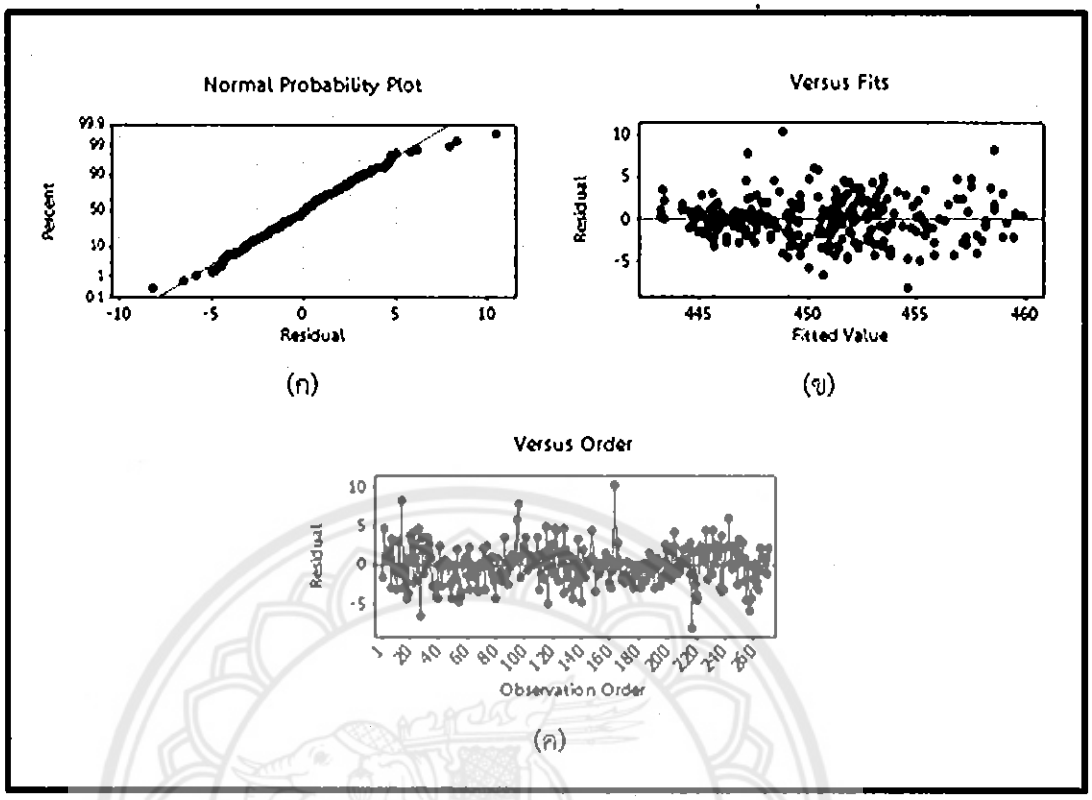
จากรูปที่ 4.11 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับสูง คือ 100/25, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับกลาง คือ 0.5, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) คือ วิธี EDD

4.2.2 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 2

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 2

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/Gen	2	39.281	19.641	2.33	0.100
P_c	2	47.845	23.923	2.84	0.061
P_m	2	1387.861	693.931	82.28	0.000
S/E	1	347.027	347.027	41.15	0.000
(Pop/Gen)(P_c)	4	14.414	3.604	0.43	0.789
(Pop/Gen)(P_m)	4	45.563	11.391	1.35	0.252
(Pop/Gen)(S/E)	2	21.793	10.896	1.29	0.277
(P_c)(P_m)	4	34.440	8.610	1.02	0.397
(P_c)(S/E)	2	1.312	0.656	0.08	0.925
(P_m)(S/E)	2	9.491	4.745	0.56	0.571
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)	8	56.008	7.001	0.83	0.577
(Pop/Gen)(P_c)(S/E)	4	26.062	6.515	0.77	0.544
(Pop/Gen)(P_m)(S/E)	4	48.163	12.041	1.43	0.226
(P_c)(P_m)(S/E)	4	73.190	18.298	2.17	0.074
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E)	8	34.643	4.330	0.51	0.846
Error	212	1787.990	8.434		
Total	269	5966.286			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.3 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และกฎการจัดลำดับงาน (S/E) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่าปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ส่วนค่าขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), (Pop/Gen)(P_c), (Pop/Gen)(P_m), (P_c)(P_m), (S/E)(Pop/Gen), (P_c)(S/E), (P_m)(S/E), (Pop/Gen)(P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m)(S/E), (P_c)(P_m)(S/E) และ (Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E) นั้น พบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้างดังรูปที่ 4.12

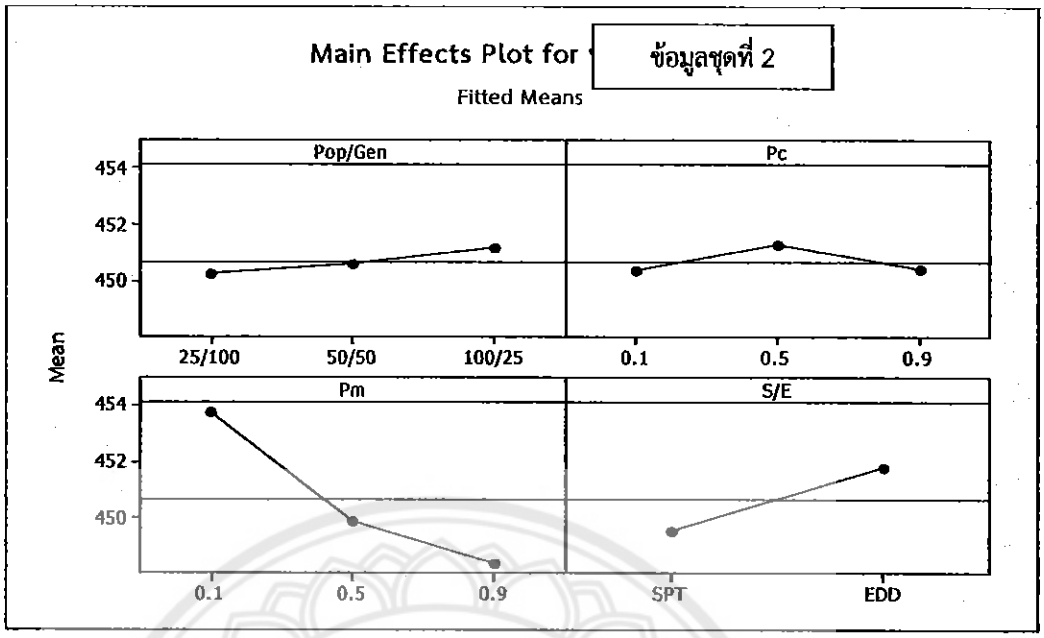


รูปที่ 4.12 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ
(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ
(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.12 (ก) พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.12 (ข) พบว่า กราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.12 (ค) พบว่า กราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ แสดงกราฟปัจจัยหลัก ดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก

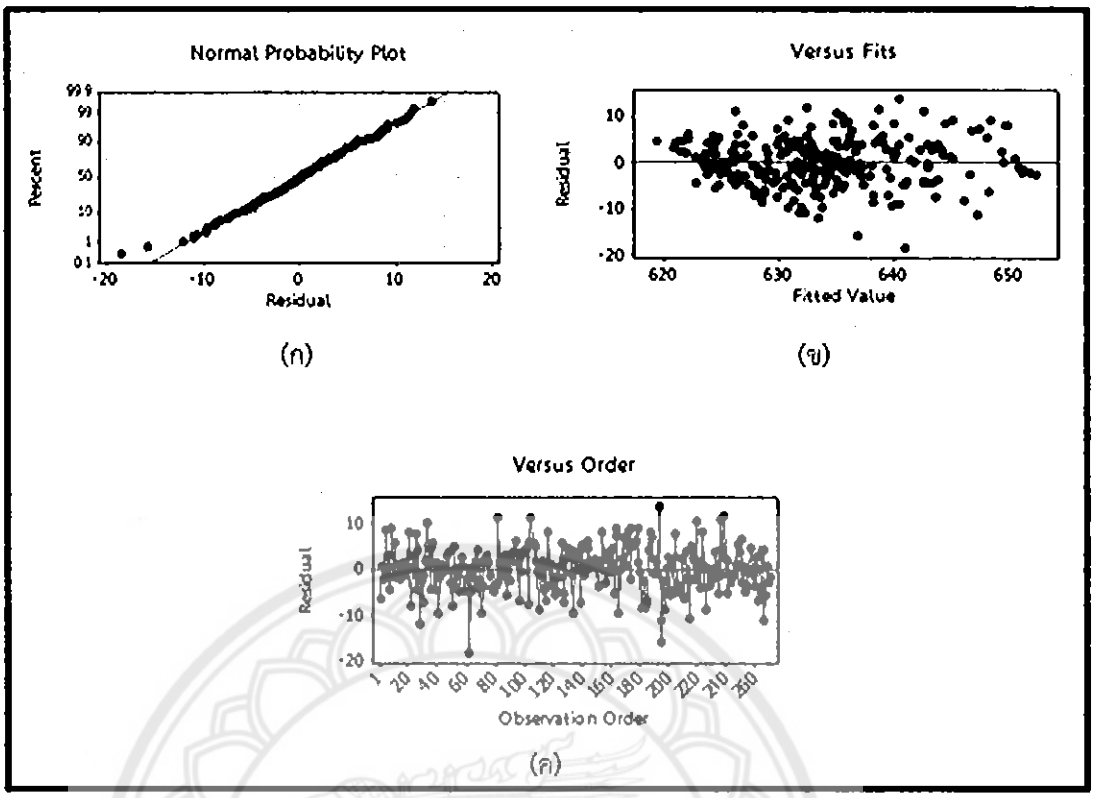
จากรูปที่ 4.13 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) **เพื่อช่วยกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่ทำการศึกษา** ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับต่ำ คือ 25/100, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) **ที่ระดับต่ำ คือ** 0.1, **ความน่า**จะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และ กฎการจัดลำ**ดับงาน** (S/E) **คือ** วิธี SPT

4.2.3 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 3

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 3

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/Gen	2	305.82	152.91	4.83	0.009
P_c	2	38.51	19.25	0.61	0.545
P_m	2	6556.37	3278.18	103.59	0.000
S/E	1	517.15	517.15	16.34	0.000
(Pop/Gen)(P_c)	4	54.97	13.74	0.43	0.784
(Pop/Gen)(P_m)	4	405.84	101.46	3.21	0.014
(Pop/Gen)(S/E)	2	118.01	59.00	1.86	0.158
(P_c)(P_m)	4	118.70	29.67	0.94	0.443
(P_c)(S/E)	2	1.75	0.88	0.03	0.973
(P_m)(S/E)	2	185.88	92.94	2.94	0.055
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)	8	243.69	30.46	0.96	0.466
(Pop/Gen)(P_c)(S/E)	4	156.96	39.24	1.24	0.295
(Pop/Gen)(P_m)(S/E)	4	50.34	12.58	0.40	0.810
(P_c)(P_m)(S/E)	4	23.07	5.77	0.18	0.947
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E)	8	233.14	29.14	0.92	0.500
Error	212	6709.18	31.65		
Total	269	20722.80			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.4 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ค่าขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m), กฎการจัดลำดับงาน (S/E) และ (Pop/Gen)(P_m) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ส่วนความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), (Pop/Gen)(P_c), (P_c)(P_m), (P_m)(S/E), (Pop/Gen)(S/E), (P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m) (Pop/Gen)(P_m)(S/E), (P_c)(P_m)(S/E) และ (P_c)(P_m)(Pop/Gen)(S/E) นั้น พบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

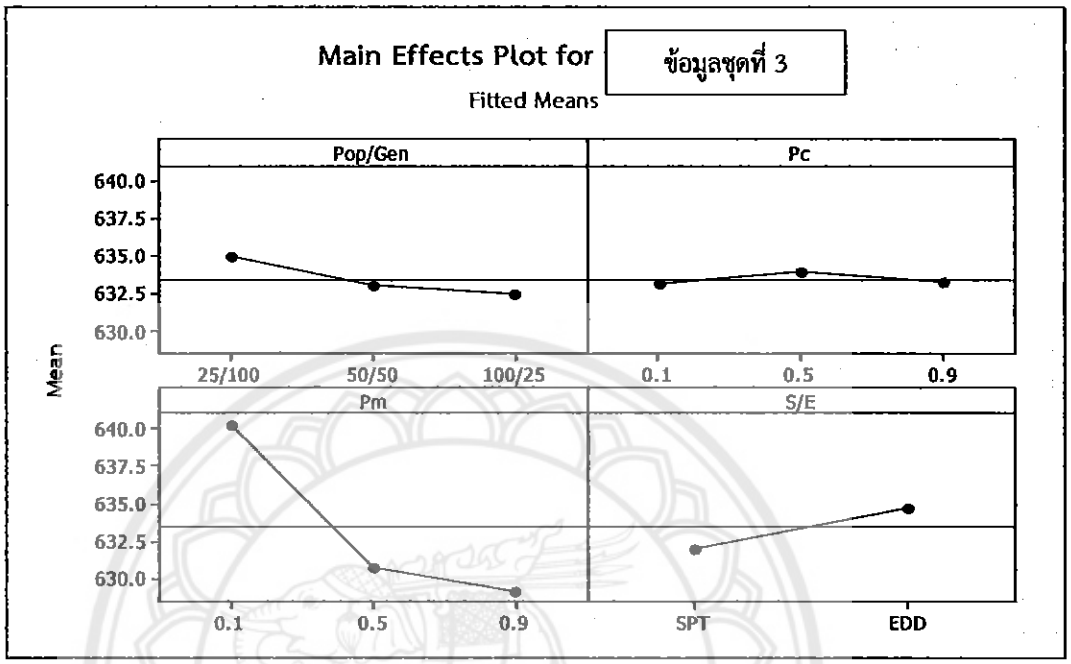
(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.14 (ก) พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

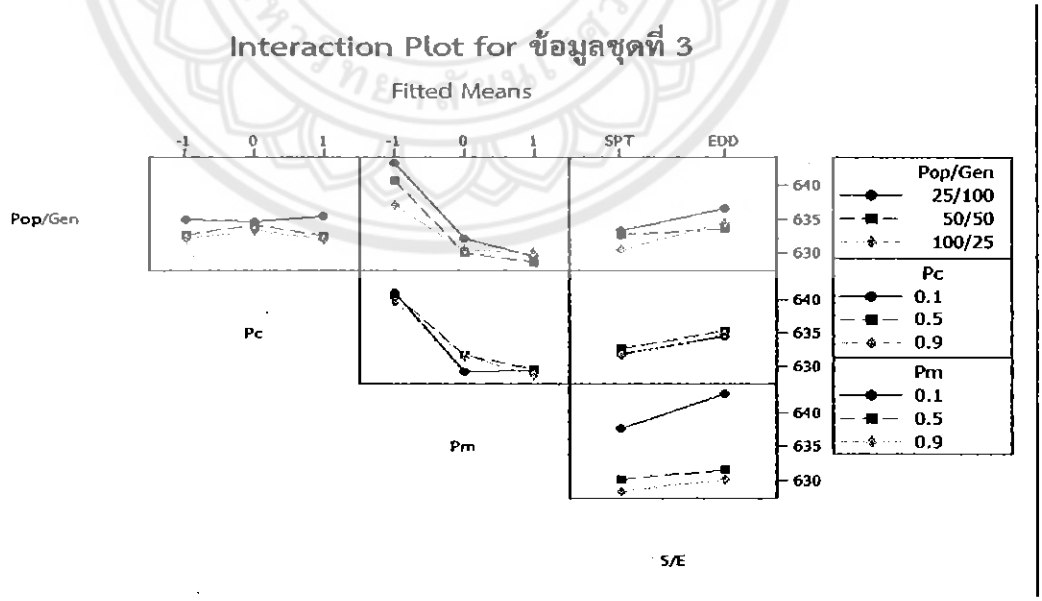
จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.14 (ข) พบว่า กราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.14 (ค) พบว่า กราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

กราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) และปัจจัยร่วม แสดงปัจจัยที่มีผลขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) ดังรูปที่ 4.15-4.16



รูปที่ 4.15 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก



รูปที่ 4.16 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.4 ที่แสดงไปข้างต้น ทำให้ทราบว่าปัจจัยร่วมมีผลต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการศึกษา ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะแสดงดังรูปที่ 4.15-4.16 ซึ่งค่าผลกระทบปัจจัยร่วม คือ (Pop/Gen)(P_m) ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับกลาง คือ 50/50, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับต่ำ คือ 0.1, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และกฎการจัดลำดับงาน (S/E) คือ วิธี SPT

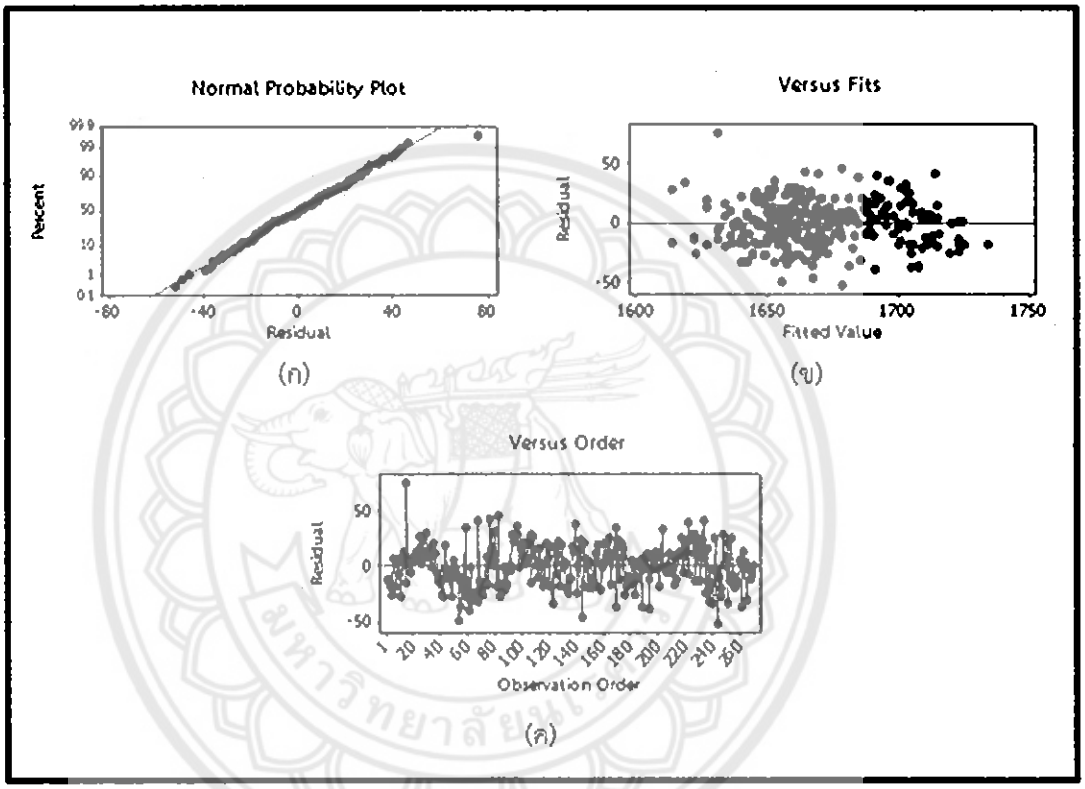
4.2.4 ผลการทดลองข้อมูลชุดที่ 4

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลชุดที่ 4

Source	Degree of Freedom	Sum of Square	Mean Square	F	P
Pop/Gen	2	13052.2	6526.1	13.47	0.000
P_c	2	778.9	389.4	0.80	0.449
P_m	2	72850.3	36425.2	75.17	0.000
S/E	1	45865.9	45865.9	94.65	0.000
(Pop/Gen)(P_c)	4	5077	126.9	0.26	0.902
(Pop/Gen)(P_m)	4	749.7	187.4	0.39	0.818
(Pop/Gen)(S/E)	2	51.3	25.6	0.05	0.948
(P_c)(P_m)	4	1392.0	348.0	0.72	0.580
(P_c)(S/E)	2	216.7	108.4	0.22	0.800
(P_m)(S/E)	2	3407.7	1703.8	3.52	0.031
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)	8	3596.0	449.5	0.93	0.495
(Pop/Gen)(P_c)(S/E)	4	2894.9	723.7	1.49	0.205
(Pop/Gen)(P_m)(S/E)	4	4279.4	1069.8	2.21	0.069
(P_c)(P_m)(S/E)	4	1119.9	280.0	0.58	0.679
(Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E)	8	1665.4	208.2	0.43	0.902
Error	212	102731.2	484.6		
Total	269	269886.6			

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติที่ได้แสดงในตารางที่ 4.5 เมื่อพิจารณาค่า P ที่ได้ของแต่ละปัจจัย พบว่า ค่าขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m), กฎการจัดลำดับงาน (S/E) และ (P_m)(S/E) มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

เนื่องจากมีค่าน้อยกว่า หรือ เท่ากับ 0.05 ซึ่งหมายความว่า ปัจจัยต่างๆ เหล่านี้มีผลกระทบต่อการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรในระบบผลิตแบบยืดหยุ่น โดยมีเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ส่วนความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), (Pop/Gen)(P_c), (P_c)(P_m), (Pop/Gen)(S/E), (P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(P_m), (Pop/Gen)(P_c)(S/E), (Pop/Gen)(P_m)(S/E), (S/E)(P_m)(P_c) และ (Pop/Gen)(P_c)(P_m)(S/E) นั้น พบว่า ค่า P มีค่าสูงกว่า 0.05 ดังนั้น ปัจจัยเหล่านี้จึงไม่มีนัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง ดังรูป 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงกราฟการวิเคราะห์ส่วนตกค้าง (Residual Analysis) 3 แบบ คือ

(ก) แสดงกราฟค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติ

(ข) แสดงกราฟความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

(ค) แสดงกราฟความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกัน

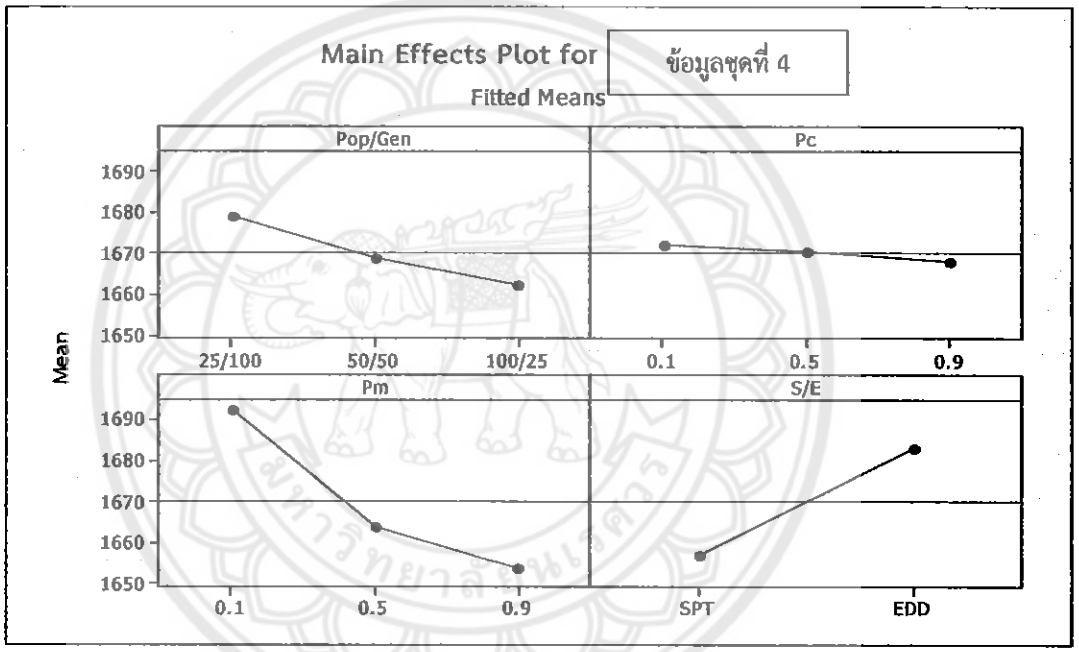
จากการตรวจสอบค่าผิดพลาดมีการแจกแจงปกติดังรูปที่ 4.17 (ก) พบว่า กราฟที่ได้มีลักษณะคล้ายเส้นตรง จึงไม่ละเมิดสมมติฐานความเป็นปกติ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีการแจกแจงแบบปกติ

จากการตรวจสอบความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่ดังรูปที่ 4.17 (ข) พบว่า กราฟที่ได้มีการเรียงตัวของข้อมูลอยู่ในแถบแนวนอนรอบๆ ค่าศูนย์ ข้อมูลมีการกระจายสม่ำเสมอ

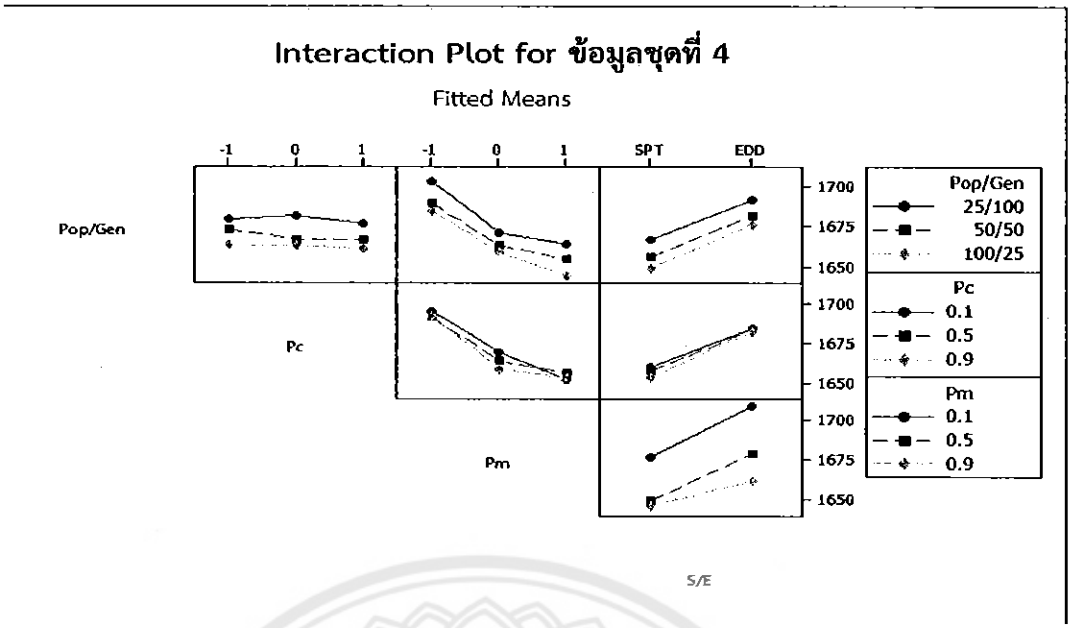
และกราฟที่ได้ไม่มีรูปแบบ หรือรูปร่างเฉพาะแต่อย่างใด จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานค่าความแปรปรวนมีค่าคงตัว แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความแปรปรวนของค่าความผิดพลาดคงที่

จากการตรวจสอบความผิดพลาดเป็นอิสระต่อกันดังรูปที่ 4.17 (ค) พบว่า กราฟที่ได้มีการกระจายตัวของข้อมูลอยู่รอบๆ เส้นศูนย์ และส่วนตกค้างที่ได้ไม่มีแนวโน้มที่จะเพิ่มขึ้น หรือลดลงตามลำดับเวลาของการเก็บข้อมูล จึงถือว่าไม่ละเมิดสมมติฐานของความเป็นอิสระ แสดงว่าข้อมูลที่ได้จากการทดลองมีความเป็นอิสระ

กราฟผลกระทบปัจจัยหลัก (Main Effects Plot) และปัจจัยร่วมแสดงปัจจัยที่มีผล ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen), ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c), ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) ดังรูปที่ 4.18-4.19



รูปที่ 4.18 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยหลัก



รูปที่ 4.19 แสดงกราฟผลกระทบปัจจัยร่วม

เนื่องจากผลการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติในตารางที่ 4.5 ที่แสดงไปข้างต้น ทำให้ทราบว่าปัจจัยร่วมมีผลต่อการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการศึกษา ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะแสดง ดังรูปที่ 4.18-4.19 ซึ่งค่าผลกระทบปัจจัยร่วม คือ (P_m)(S/E) ได้ผลการศึกษาดังนี้ ขนาดประชากรต่อจำนวนรุ่น (Pop/Gen) ที่ระดับสูง คือ 100/25, ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ (P_c) ที่ระดับสูง คือ 0.9, ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (P_m) ที่ระดับสูง คือ 0.9 และ กฎการจัดลำดับงาน (S/E) คือ วิธี SPT

จากผลการศึกษาการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมด้วยวิธีการออกแบบการทดลอง พบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแต่ละชุดข้อมูลมีความแตกต่างกัน จะได้ค่าเฉลี่ยเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด และสรุปค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับ 4 ชุดข้อมูล ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

วิธี	การออกแบบการทดลอง (DOE)			
	ข้อมูลชุดที่ 1	ข้อมูลชุดที่ 2	ข้อมูลชุดที่ 3	ข้อมูลชุดที่ 4
Parameter Setting	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 S/E = EDD	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.1 P_m = 0.9 S/E = SPT	Pop/Gen = 50/50 P_c = 0.1 P_m = 0.9 S/E = SPT	Pop/Gen = 100/25 P_c = 0.9 P_m = 0.9 S/E = SPT
ค่าเฉลี่ยเวลา	95.18	446.12	627.02	1640.28

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของชุดข้อมูลที่ 1

วิธี	ข้อมูลชุดที่ 1	
	ความเร็ว AGV 50 เมตรต่อนาที	**ความเร็ว AGV 20 เมตรต่อนาที**
Parameter Setting	Pop/Gen = 25/100 P_c = 0.9 P_m = 0.5 S/E = EDD	Pop/Gen = 100/25 P_c = 0.5 P_m = 0.9 S/E = EDD
ค่าเฉลี่ยเวลา	*95.18*	*106.62*

จากตารางที่ 4.7 ทำให้ทราบว่า เมื่อลักษณะของปัญหาเปลี่ยน ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบ ทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลา และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเปลี่ยน

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงสรุปผลการทดลอง และข้อเสนอแนะ เพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาครั้งต่อไป โดยจะทำการสรุปผลการทดลองตามวัตถุประสงค์ของโครงงานที่ได้กำหนดไว้ คือ

5.1 สรุปผลการทดลอง

5.1.1 กระบวนการทำงานของ GA และการประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักร สามารถนำกระบวนการทำงานมาประยุกต์ใช้ได้จริง

5.1.2 การพัฒนาโปรแกรมช่วยออกแบบการหารูปแบบของการจัดเรียงเครื่องจักรที่เหมาะสม ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะเวลาที่เหมาะสมโดยพิจารณากฎการจัดลำดับงาน เพื่อหาเวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด (Minimize Total Flow Time) ด้วยโปรแกรม Tcl and the Tk เวอร์ชั่น 8.4

5.1.3 สามารถนำกระบวนการทำงานการพิจารณากฎการจัดลำดับมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเรียงเครื่องจักรได้จริง แต่วิธีที่เหมาะสมขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ ที่เข้ามาเกี่ยวข้อง

5.1.4 พารามิเตอร์ GA ที่มีผลต่อคุณภาพคำตอบในแต่ละชุดข้อมูลของปัญหามีความแตกต่างกัน ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 แสดงปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพของคำตอบอย่างมีนัยสำคัญ

ชุดข้อมูล	ปัจจัย GA
ชุดข้อมูลที่ 1	Pop/Gen, P_m, (Pop/Gen)(P_c), (Pop/Gen)(P_m), (P_c)(P_m)
ชุดข้อมูลที่ 2	P_m, S/E
ชุดข้อมูลที่ 3	Pop/Gen, P_m, S/E, (Pop/Gen)(P_m)
ชุดข้อมูลที่ 4	Pop/Gen, P_m, S/E, (P_m)(S/E)

5.1.5 เมื่อลักษณะของปัญหาเปลี่ยน อาจเกิดเนื่องจากขนาดของปัญหา, ลักษณะกฎการจัดลำดับที่ใช้ และความเร็วของอุปกรณ์ขนถ่าย เป็นต้น ซึ่งปัจจัยต่างๆ เหล่านี้ ส่งผลต่อคุณภาพคำตอบ ทำให้ค่าเฉลี่ยของเวลาทั้งหมดในกระบวนการผลิต และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมเปลี่ยน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้กฎการจัดลำดับงานเพียง 2 วิธี คือ EDD และ SPT ยังเหลือวิธีการจัดลำดับงานอื่นที่น่าศึกษาอีก เช่น Longest Processing Time หรือ Slack เป็นต้น

5.2.2 การคำนวณเวลากระบวนการผลิต สามารถศึกษาการเพิ่มจำนวนเครื่อง AGV ได้ ซึ่งในกรณีนี้กำหนดให้มีแค่ 1 ตัว

5.2.3 สามารถนำการหมุนของเครื่องจักรมาศึกษาต่อได้

5.2.4 รูปแบบการจัดเรียงเครื่องจักรยังมีอีกหลายแบบ เช่น การจัดเรียงเครื่องจักรแบบครึ่งวงกลม และการจัดเรียงเครื่องจักรแบบวงกลม เป็นต้น

เอกสารอ้างอิง

โกศล ดีศีลธรรม. (1 มิถุนายน 2554). **ความเร็ว : ปัจจัยสนับสนุนผลิตภาพแห่งลีน**. สืบค้นเมื่อวันที่ 18 กันยายน 2558, จาก www.thailandindustry.com/guru/view.php?id=10502

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

วราภรณ์ สุขสุชะโน. (10 กันยายน 2553). **The t Test**. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2558, จาก http://teacher.aru.ac.th/waraporn/images/stories/pdf/t_test.pdf

ศรัณยู สัจจโภชน์. (23 มกราคม 2553). **Priority Rule for Dispatching Jobs ; เทคนิคของการจัดลำดับงานโดยใช้กฎความสำคัญ**. สืบค้นเมื่อวันที่ 15 กันยายน 2558, จาก http://www.oknation.net/blog/WoET/2010/01/23/entry-1

สุธาสินี สิงห์พระยา และสุรชิด ดีดกลิ่น. (2554). **การศึกษารูปแบบการสลับสายพันธุ์และวิธีการเจนเนติกอัลกอลิทึมแบบปรับตัวได้สำหรับการจัดเรียงเครื่องจักรแบบหลายแถวในระบบการผลิตแบบยืดหยุ่น**. ปริญญานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.

Murata T., Ishibuchi H. & Tanaka H. (1996). **Genetic Algorithms for Flowshop Scheduling Problems**. Computer & Industrial Engineering, 30(4), 1061-1071

Nearchou, A. C. (2006). **Meta-Heuristics from Nature for The Loop Layout Design Problem**. International Journal of Production Economics 101(2) : 312-328

ภาคผนวก

ผลการทดลอง

ตารางที่ 1 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
1	25/100	0.1	0.1	1	96.12	95.64	96.51	95.60	95.62
2	25/100	0.1	0.5	1	95.18	95.64	95.62	95.37	95.62
3	25/100	0.1	0.9	1	94.70	95.62	96.26	95.33	94.70
4	25/100	0.5	0.1	1	96.12	95.64	96.37	95.60	95.62
5	25/100	0.5	0.5	1	95.33	95.37	96.37	95.33	95.62
6	25/100	0.5	0.9	1	95.98	95.37	96.01	95.33	96.37
7	25/100	0.9	0.1	1	96.23	96.64	96.51	95.60	95.86
8	25/100	0.9	0.5	1	94.70	95.60	95.11	95.33	95.62
9	25/100	0.9	0.9	1	95.33	95.37	94.70	95.37	95.44
10	50/50	0.1	0.1	1	95.33	95.33	95.71	95.33	95.63
11	50/50	0.1	0.5	1	95.26	95.62	100.02	95.33	95.45
12	50/50	0.1	0.9	1	100.00	100.02	100.00	95.37	100.01
13	50/50	0.5	0.1	1	95.42	95.19	95.71	95.91	95.95
14	50/50	0.5	0.5	1	94.89	95.75	96.31	95.33	95.63
15	50/50	0.5	0.9	1	94.70	100.00	100.01	100.01	100.01
16	50/50	0.9	0.1	1	95.42	95.35	96.42	95.60	96.28
17	50/50	0.9	0.5	1	94.70	95.37	96.26	96.23	95.63
18	50/50	0.9	0.9	1	100.00	100.03	100.00	100.00	100.00
19	100/25	0.1	0.1	1	95.56	95.33	95.72	96.25	96.17
20	100/25	0.1	0.5	1	100.00	100.00	100.00	100.01	100.03
21	100/25	0.1	0.9	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
22	100/25	0.5	0.1	1	95.33	95.49	95.37	96.06	95.63
23	100/25	0.5	0.5	1	100.05	100.01	100.00	100.01	100.02
24	100/25	0.5	0.9	1	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00
25	100/25	0.9	0.1	1	95.62	95.39	95.86	96.00	95.47
26	100/25	0.9	0.5	1	100.02	95.62	100.00	95.43	100.00
27	100/25	0.9	0.9	1	100.00	100.01	100.00	100.00	100.00
28	25/100	0.1	0.1	2	95.76	95.70	95.47	95.84	96.69

ตารางที่ 2 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1 (ต่อ)

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
29	25/100	0.1	0.5	2	95.47	95.70	95.36	95.05	94.63
30	25/100	0.1	0.9	2	95.47	95.70	94.85	95.50	95.96
31	25/100	0.5	0.1	2	95.26	95.78	95.55	96.12	95.94
32	25/100	0.5	0.5	2	95.47	95.70	95.75	95.17	95.96
33	25/100	0.5	0.9	2	95.21	95.71	100.00	94.92	95.17
34	25/100	0.9	0.1	2	94.86	95.70	95.55	96.12	95.94
35	25/100	0.9	0.5	2	95.19	95.17	95.47	94.92	95.17
36	25/100	0.9	0.9	2	95.19	95.57	95.66	95.05	95.17
37	50/50	0.1	0.1	2	95.65	94.56	95.39	95.77	95.80
38	50/50	0.1	0.5	2	95.19	95.70	95.49	94.92	95.80
39	50/50	0.1	0.9	2	95.42	100.02	95.33	100.01	95.35
40	50/50	0.5	0.1	2	95.65	95.17	95.52	95.78	95.94
41	50/50	0.5	0.5	2	95.47	94.56	95.36	95.96	95.05
42	50/50	0.5	0.9	2	100.04	100.00	100.00	100.01	100.01
43	50/50	0.9	0.1	2	95.47	95.17	95.52	96.10	95.80
44	50/50	0.9	0.5	2	95.47	95.17	95.49	95.17	95.17
45	50/50	0.9	0.9	2	100.00	100.00	100.00	100.01	100.01
46	100/25	0.1	0.1	2	95.65	95.16	95.45	95.44	95.60
47	100/25	0.1	0.5	2	100.02	100.01	100.00	100.01	100.01
48	100/25	0.1	0.9	2	100.00	100.02	100.00	100.00	100.00
49	100/25	0.5	0.1	2	95.45	95.41	95.52	95.60	95.60
50	100/25	0.5	0.5	2	100.04	100.05	100.02	100.00	100.00
51	100/25	0.5	0.9	2	100.00	100.01	100.03	100.01	100.00
52	100/25	0.9	0.1	2	95.45	96.17	95.22	95.87	95.23
53	100/25	0.9	0.5	2	100.00	100.04	100.00	100.01	100.00
54	100/25	0.9	0.9	2	100.00	100.02	100.00	100.00	100.00

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1 (20 เมตรต่อนาที)

No.	Parameter Setting				Total Flow TIme (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
1	25/100	0.1	0.1	1	109.01	110.10	111.57	111.46	108.41
2	25/100	0.1	0.5	1	108.01	109.01	111.57	110.54	107.87
3	25/100	0.1	0.9	1	106.83	108.95	108.69	110.54	108.45
4	25/100	0.5	0.1	1	110.70	110.10	110.12	109.74	108.36
5	25/100	0.5	0.5	1	107.32	110.10	110.12	109.63	107.87
6	25/100	0.5	0.9	1	107.31	109.01	111.57	108.45	108.45
7	25/100	0.9	0.1	1	110.70	110.10	110.63	113.00	113.16
8	25/100	0.9	0.5	1	107.32	110.10	110.02	110.54	107.87
9	25/100	0.9	0.9	1	108.81	108.95	108.69	110.54	108.13
10	50/50	0.1	0.1	1	109.94	109.98	110.12	111.57	108.41
11	50/50	0.1	0.5	1	107.32	106.96	109.79	110.92	108.67
12	50/50	0.1	0.9	1	107.32	107.10	110.12	108.69	108.10
13	50/50	0.5	0.1	1	110.70	107.25	111.57	112.92	111.05
14	50/50	0.5	0.5	1	109.94	106.96	111.57	109.69	108.10
15	50/50	0.5	0.9	1	106.83	107.19	107.87	109.63	108.67
16	50/50	0.9	0.1	1	110.70	107.25	110.12	112.92	108.67
17	50/50	0.9	0.5	1	107.32	107.25	109.02	110.54	108.10
18	50/50	0.9	0.9	1	107.32	106.83	109.02	109.54	108.10
19	100/25	0.1	0.1	1	110.05	107.25	108.58	109.12	108.36
20	100/25	0.1	0.5	1	107.87	107.25	110.01	107.87	108.07
21	100/25	0.1	0.9	1	108.45	106.83	106.83	108.23	107.87
22	100/25	0.5	0.1	1	109.94	107.25	110.12	109.12	108.36
23	100/25	0.5	0.5	1	108.81	106.83	106.84	107.87	108.48
24	100/25	0.5	0.9	1	107.87	106.83	107.87	107.87	108.10
25	100/25	0.9	0.1	1	108.19	107.25	108.23	110.22	109.55
26	100/25	0.9	0.5	1	107.87	107.09	107.25	108.03	108.67
27	100/25	0.9	0.9	1	107.87	107.10	106.83	107.87	110.08
28	25/100	0.1	0.1	2	108.28	108.24	109.09	107.74	109.85

ตารางที่ 4 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 1 (20 เมตรต่อนาที) (ต่อ)

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
29	25/100	0.1	0.5	2	106.86	107.58	107.85	106.29	108.86
30	25/100	0.1	0.9	2	106.86	107.58	108.01	106.29	107.35
31	25/100	0.5	0.1	2	106.94	108.12	108.69	108.14	108.95
32	25/100	0.5	0.5	2	106.86	107.58	106.08	107.18	108.56
33	25/100	0.5	0.9	2	106.86	107.53	106.08	107.35	107.35
34	25/100	0.9	0.1	2	108.28	110.06	108.69	108.14	109.85
35	25/100	0.9	0.5	2	106.64	107.58	107.53	107.35	107.35
36	25/100	0.9	0.9	2	106.64	107.58	106.64	107.77	108.56
37	50/50	0.1	0.1	2	108.28	106.77	108.57	108.14	108.95
38	50/50	0.1	0.5	2	106.86	106.59	107.35	108.72	108.01
39	50/50	0.1	0.9	2	105.84	106.59	105.97	105.87	106.71
40	50/50	0.5	0.1	2	106.86	107.00	106.09	108.21	108.95
41	50/50	0.5	0.5	2	106.86	108.24	106.06	107.07	106.85
42	50/50	0.5	0.9	2	106.64	105.87	106.08	107.68	105.84
43	50/50	0.9	0.1	2	106.87	106.85	106.09	108.20	108.95
44	50/50	0.9	0.5	2	106.86	106.59	106.09	108.20	106.85
45	50/50	0.9	0.9	2	106.64	106.89	106.09	106.41	107.87
46	100/25	0.1	0.1	2	106.86	106.59	106.91	106.91	106.65
47	100/25	0.1	0.5	2	106.86	106.59	106.09	106.34	106.86
48	100/25	0.1	0.9	2	106.86	106.59	105.75	106.29	106.29
49	100/25	0.5	0.1	2	106.86	106.59	109.20	106.91	106.09
50	100/25	0.5	0.5	2	106.86	106.59	106.91	106.91	106.29
51	100/25	0.5	0.9	2	106.86	106.89	106.83	106.91	105.87
52	100/25	0.9	0.1	2	106.64	106.59	108.20	106.91	106.29
53	100/25	0.9	0.5	2	106.85	107.75	106.91	106.91	106.29
54	100/25	0.9	0.9	2	106.41	106.59	106.94	106.91	105.97

ตารางที่ 5 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
1	25/100	0.1	0.1	1	453.47	444.59	454.73	459.18	446.42
2	25/100	0.1	0.5	1	453.86	446.88	450.62	447.54	450.33
3	25/100	0.1	0.9	1	451.30	444.26	447.13	443.36	444.55
4	25/100	0.5	0.1	1	454.23	447.75	458.41	449.89	459.21
5	25/100	0.5	0.5	1	450.95	445.37	449.88	443.36	451.74
6	25/100	0.5	0.9	1	450.93	443.55	450.33	443.36	452.03
7	25/100	0.9	0.1	1	454.19	445.95	456.30	446.81	457.31
8	25/100	0.9	0.5	1	447.95	444.86	451.68	443.95	449.34
9	25/100	0.9	0.9	1	445.33	445.60	447.73	443.36	449.38
10	50/50	0.1	0.1	1	450.02	447.79	454.74	444.63	455.02
11	50/50	0.1	0.5	1	454.93	446.23	450.01	443.36	447.97
12	50/50	0.1	0.9	1	456.00	446.53	447.72	443.41	448.14
13	50/50	0.5	0.1	1	455.11	448.95	454.60	451.48	459.30
14	50/50	0.5	0.5	1	444.09	445.37	447.55	443.36	456.43
15	50/50	0.5	0.9	1	454.50	444.15	451.97	443.36	451.67
16	50/50	0.9	0.1	1	455.35	447.28	450.81	449.70	456.48
17	50/50	0.9	0.5	1	454.82	445.60	451.23	443.95	452.76
18	50/50	0.9	0.9	1	452.10	445.19	447.05	443.41	451.11
19	100/25	0.1	0.1	1	453.01	450.89	452.77	452.36	453.39
20	100/25	0.1	0.5	1	452.11	446.55	452.93	445.37	447.24
21	100/25	0.1	0.9	1	453.02	445.24	447.17	445.99	444.12
22	100/25	0.5	0.1	1	458.06	450.40	453.56	456.23	455.85
23	100/25	0.5	0.5	1	451.94	447.66	447.67	444.55	451.79
24	100/25	0.5	0.9	1	449.19	446.79	445.54	443.49	445.83
25	100/25	0.9	0.1	1	451.44	450.97	453.56	451.65	454.83
26	100/25	0.9	0.5	1	450.99	446.05	445.09	445.03	451.71
27	100/25	0.9	0.9	1	453.52	445.17	448.36	444.06	449.91
28	25/100	0.1	0.1	2	461.55	447.20	449.91	450.65	458.09

ตารางที่ 6 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 2 (ต่อ)

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
29	25/100	0.1	0.5	2	452.65	445.71	446.51	448.00	447.15
30	25/100	0.1	0.9	2	456.72	445.71	447.61	445.12	454.66
31	25/100	0.5	0.1	2	462.04	455.00	450.20	450.53	460.34
32	25/100	0.5	0.5	2	450.13	445.67	449.33	447.53	457.40
33	25/100	0.5	0.9	2	455.38	445.71	447.45	446.29	450.19
34	25/100	0.9	0.1	2	466.90	448.84	453.73	449.27	457.32
35	25/100	0.9	0.5	2	453.09	447.24	447.91	446.29	457.81
36	25/100	0.9	0.9	2	452.84	442.46	448.37	444.90	454.17
37	50/50	0.1	0.1	2	461.39	453.75	450.08	451.30	454.23
38	50/50	0.1	0.5	2	450.52	446.39	447.45	446.71	456.17
39	50/50	0.1	0.9	2	455.74	445.71	446.31	446.29	454.85
40	50/50	0.5	0.1	2	462.27	446.88	449.40	452.88	459.52
41	50/50	0.5	0.5	2	458.92	447.65	449.31	448.98	455.24
42	50/50	0.5	0.9	2	451.63	445.71	447.83	447.53	454.93
43	50/50	0.9	0.1	2	462.06	455.84	449.81	452.05	455.44
44	50/50	0.9	0.5	2	457.26	445.78	449.01	446.29	457.38
45	50/50	0.9	0.9	2	449.33	445.71	448.07	446.32	454.63
46	100/25	0.1	0.1	2	453.61	451.97	454.74	453.54	458.18
47	100/25	0.1	0.5	2	452.26	456.20	453.42	448.60	456.15
48	100/25	0.1	0.9	2	450.76	455.05	446.10	449.67	448.79
49	100/25	0.5	0.1	2	460.26	454.66	454.66	452.49	458.76
50	100/25	0.5	0.5	2	460.26	456.08	456.08	452.70	457.40
51	100/25	0.5	0.9	2	450.18	445.72	449.41	447.06	454.60
52	100/25	0.9	0.1	2	456.88	452.65	455.60	453.28	459.65
53	100/25	0.9	0.5	2	452.23	448.38	446.87	449.92	453.94
54	100/25	0.9	0.9	2	447.07	445.71	447.43	448.61	453.63

ตารางที่ 7 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
1	25/100	0.1	0.1	1	641.87	636.22	637.62	654.16	651.82
2	25/100	0.1	0.5	1	631.79	627.41	623.86	621.22	645.72
3	25/100	0.1	0.9	1	630.96	619.93	623.86	631.06	635.17
4	25/100	0.5	0.1	1	638.90	636.22	626.16	642.63	652.76
5	25/100	0.5	0.5	1	631.79	621.38	623.86	635.71	635.53
6	25/100	0.5	0.9	1	633.45	625.60	623.86	627.62	634.34
7	25/100	0.9	0.1	1	641.87	636.22	625.89	643.59	642.10
8	25/100	0.9	0.5	1	635.05	625.77	623.86	638.36	635.17
9	25/100	0.9	0.9	1	634.72	622.23	623.86	631.58	634.34
10	50/50	0.1	0.1	1	641.87	636.22	626.16	629.73	653.58
11	50/50	0.1	0.5	1	631.79	625.83	623.86	619.85	637.30
12	50/50	0.1	0.9	1	633.91	622.44	623.86	620.54	634.34
13	50/50	0.5	0.1	1	638.80	631.07	631.82	648.23	646.02
14	50/50	0.5	0.5	1	640.29	625.83	628.24	631.82	634.34
15	50/50	0.5	0.9	1	631.79	628.42	627.20	630.46	634.34
16	50/50	0.9	0.1	1	636.31	636.22	626.16	654.25	646.04
17	50/50	0.9	0.5	1	645.54	626.69	623.86	621.33	640.58
18	50/50	0.9	0.9	1	636.31	626.31	626.33	619.85	630.15
19	100/25	0.1	0.1	1	641.87	632.02	626.16	628.64	632.49
20	100/25	0.1	0.5	1	634.84	630.02	623.86	624.65	634.34
21	100/25	0.1	0.9	1	631.79	627.75	624.25	625.14	639.37
22	100/25	0.5	0.1	1	641.17	636.22	626.16	639.37	637.28
23	100/25	0.5	0.5	1	634.84	630.77	623.86	626.94	635.80
24	100/25	0.5	0.9	1	634.84	628.83	623.86	622.85	628.85
25	100/25	0.9	0.1	1	634.84	636.22	627.24	628.13	643.40
26	100/25	0.9	0.5	1	631.79	630.27	623.86	627.33	627.73
27	100/25	0.9	0.9	1	625.19	627.16	623.86	623.78	627.63
28	25/100	0.1	0.1	2	651.41	645.99	631.55	654.86	649.72

ตารางที่ 8 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 3 (ต่อ)

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
29	25/100	0.1	0.5	2	643.27	622.57	623.10	631.25	633.75
30	25/100	0.1	0.9	2	636.03	623.61	618.31	636.91	630.19
31	25/100	0.5	0.1	2	657.41	622.57	646.24	646.24	649.72
32	25/100	0.5	0.5	2	644.77	629.78	625.26	644.17	631.30
33	25/100	0.5	0.9	2	635.03	622.57	621.32	639.87	631.30
34	25/100	0.9	0.1	2	648.98	647.86	636.29	653.42	649.72
35	25/100	0.9	0.5	2	637.92	622.29	627.46	644.90	644.30
36	25/100	0.9	0.9	2	633.05	628.38	630.06	630.72	630.19
37	50/50	0.1	0.1	2	657.86	645.17	632.30	643.82	649.72
38	50/50	0.1	0.5	2	623.14	622.57	625.88	621.18	644.30
39	50/50	0.1	0.9	2	634.51	622.57	627.90	635.10	629.76
40	50/50	0.5	0.1	2	657.86	638.75	630.33	653.56	649.72
41	50/50	0.5	0.5	2	621.47	637.35	623.24	632.55	633.18
42	50/50	0.5	0.9	2	629.87	622.57	625.26	627.12	631.30
43	50/50	0.9	0.1	2	642.14	635.73	635.18	621.18	646.81
44	50/50	0.9	0.5	2	636.29	621.96	625.26	629.53	643.07
45	50/50	0.9	0.9	2	627.87	622.29	628.11	629.12	634.15
46	100/25	0.1	0.1	2	638.07	638.92	634.07	642.14	640.13
47	100/25	0.1	0.5	2	623.99	632.43	625.68	632.99	634.15
48	100/25	0.1	0.9	2	635.31	621.96	626.20	640.64	636.22
49	100/25	0.5	0.1	2	642.49	635.00	634.07	636.60	646.81
50	100/25	0.5	0.5	2	636.87	633.51	634.96	629.21	631.30
51	100/25	0.5	0.9	2	640.99	622.29	624.30	636.15	642.72
52	100/25	0.9	0.1	2	638.07	650.19	639.65	646.84	636.22
53	100/25	0.9	0.5	2	639.83	633.51	624.27	621.18	636.68
54	100/25	0.9	0.9	2	634.82	628.97	618.99	636.15	634.15

ตารางที่ 9 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
1	25/100	0.1	0.1	1	1679.15	1645.01	1716.38	1707.33	1692.03
2	25/100	0.1	0.5	1	1649.19	1647.54	1683.01	1688.81	1652.00
3	25/100	0.1	0.9	1	1635.30	1617.67	1680.64	1658.15	1665.71
4	25/100	0.5	0.1	1	1682.84	1651.75	1692.82	1731.53	1731.53
5	25/100	0.5	0.5	1	1655.12	1619.82	1659.07	1681.31	1681.31
6	25/100	0.5	0.9	1	1640.13	1628.75	1686.38	1684.69	1688.58
7	25/100	0.9	0.1	1	1708.56	1653.68	1687.25	1706.88	1706.88
8	25/100	0.9	0.5	1	1706.88	1609.38	1609.38	1609.38	1609.38
9	25/100	0.9	0.9	1	1660.84	1619.59	1674.23	1633.95	1669.02
10	50/50	0.1	0.1	1	1688.44	1656.48	1713.90	1681.81	1647.55
11	50/50	0.1	0.5	1	1666.82	1633.69	1690.13	1655.67	1637.50
12	50/50	0.1	0.9	1	1665.44	1665.44	1670.92	1643.55	1632.22
13	50/50	0.5	0.1	1	1677.30	1652.50	1652.50	1661.13	1647.17
14	50/50	0.5	0.5	1	1669.78	1619.87	1646.10	1648.52	1635.16
15	50/50	0.5	0.9	1	1661.59	1623.62	1680.01	1644.38	1632.41
16	50/50	0.9	0.1	1	1683.44	1649.05	1723.54	1657.88	1645.17
17	50/50	0.9	0.5	1	1664.44	1633.93	1633.93	1651.36	1637.76
18	50/50	0.9	0.9	1	1670.70	1623.37	1684.73	1647.84	1606.66
19	100/25	0.1	0.1	1	1664.61	1661.42	1701.77	1664.35	1648.28
20	100/25	0.1	0.5	1	1650.73	1679.15	1678.19	1637.87	1642.91
21	100/25	0.1	0.9	1	1597.27	1641.43	1614.06	1652.69	1597.27
22	100/25	0.5	0.1	1	1670.30	1691.61	1672.35	1668.53	1649.11
23	100/25	0.5	0.5	1	1634.57	1650.72	1639.53	1639.70	1639.70
24	100/25	0.5	0.9	1	1624.93	1645.80	1628.41	1628.41	1640.34
25	100/25	0.9	0.1	1	1662.56	1658.27	1695.88	1670.54	1626.10
26	100/25	0.9	0.5	1	1646.48	1662.61	1658.81	1628.55	1637.67
27	100/25	0.9	0.9	1	1628.55	1616.76	1672.92	1646.81	1624.63
28	25/100	0.1	0.1	2	1702.12	1685.44	1725.58	1712.93	1729.60

ตารางที่ 10 แสดงผลการทดลองจากการออกแบบการทดลองของข้อมูลชุดที่ 4 (ต่อ)

No.	Parameter Setting				Total Flow Time (Minutes)				
					seed	seed	seed	seed	seed
	Pop/Gen	P_c	P_m	S/E	111	222	333	444	555
29	25/100	0.1	0.5	2	1680.10	1730.75	1706.36	1685.27	1710.50
30	25/100	0.1	0.9	2	1670.01	1640.01	1674.67	1672.71	1648.01
31	25/100	0.5	0.1	2	1719.44	1702.82	1724.92	1671.99	1729.60
32	25/100	0.5	0.5	2	1686.51	1648.18	1713.52	1666.62	1685.41
33	25/100	0.5	0.9	2	1686.23	1645.52	1706.77	1682.19	1656.23
34	25/100	0.9	0.1	2	1709.27	1755.87	1716.57	1694.34	1729.60
35	25/100	0.9	0.5	2	1694.37	1661.64	1720.54	1679.33	1691.91
36	25/100	0.9	0.9	2	1672.22	1654.38	1682.51	1659.18	1710.50
37	50/50	0.1	0.1	2	1719.57	1714.45	1707.31	1698.75	1721.92
38	50/50	0.1	0.5	2	1687.53	1707.92	1684.10	1644.18	1633.56
39	50/50	0.1	0.9	2	1693.10	1659.44	1680.67	1663.71	1623.31
40	50/50	0.5	0.1	2	1714.27	1735.45	1698.37	1671.00	1729.60
41	50/50	0.5	0.5	2	1697.49	1724.64	1688.65	1688.66	1626.39
42	50/50	0.5	0.9	2	1687.79	1621.73	1682.15	1665.61	1621.58
43	50/50	0.9	0.1	2	1718.20	1700.03	1720.62	1667.32	1729.60
44	50/50	0.9	0.5	2	1677.24	1646.45	1703.49	1670.48	1677.62
45	50/50	0.9	0.9	2	1668.69	1647.09	1621.00	1664.99	1668.87
46	100/25	0.1	0.1	2	1699.32	1700.16	1704.78	1717.24	1729.6
47	100/25	0.1	0.5	2	1651.44	1680.07	1679.08	1671.64	1637.75
48	100/25	0.1	0.9	2	1635.57	1689.17	1676.90	1658.06	1639.49
49	100/25	0.5	0.1	2	1723.84	1693.93	1695.51	1694.95	1701.38
50	100/25	0.5	0.5	2	1667.05	1688.65	1698.69	1683.50	1630.79
51	100/25	0.5	0.9	2	1633.06	1659.75	1691.18	1650.13	1655.17
52	100/25	0.9	0.1	2	1703.37	1696.33	1687.57	1702.50	1689.21
53	100/25	0.9	0.5	2	1661.64	1690.30	1682.81	1654.93	1648.94
54	100/25	0.9	0.9	2	1606.02	1672.57	1673.15	1664.68	1647.74

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวณิริชา ตามวงค์

ภูมิลำเนา 427 หมู่ 13 ต.ต้นธงชัย อ.เมือง จ. ลำปาง

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลำปางกัลยาณี จ.ลำปาง
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Niricha.tamwong@gmail.com

ชื่อ นางสาวอินทุกาญจน์ ทองประเสริฐแสง

ภูมิลำเนา 159 หมู่ 13 ต.บ้านกล้วย อ.ชนแดน จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพิบูลวิทยาลัย จ.ลพบุรี
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: mn.sunshine88@gmail.com