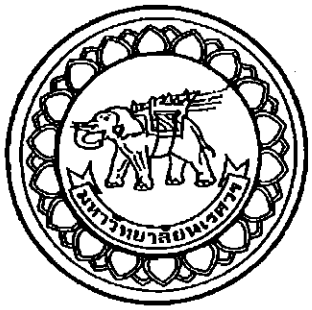


# การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

# SOLVING RESPONSE TIME VARIABILITY PROBLEM BY GENETIC ALGORITHM


นายเด่นดวง มีสกุล รหัส 52360232

นายประกฤษฎิ์ บุญอ้น รหัส 52360355



ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ - 5 ส.ค. 2556
เลขทะเบียน 1632807
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ว.865 ป 2556


ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2555

# ใบรับรองปริญญานิพนธ์

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | **การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม** |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | **นายเด่นดวง มีสกุล รหัส 52360232** |
| | นายประกฤษฎิ์ บุญอ้น รหัส 52360355 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง |
| **สาขา** | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| **ปีการศึกษา** | 2555 |

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....**ที่ปรึกษาโครงงาน**

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....**กรรมการ**

**(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)**

.....**กรรมการ**

**(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)**

| | |
|---|---|
| **ชื่อหัวข้อโครงงาน** | การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม |
| **ผู้ดำเนินโครงงาน** | นายเด่นดวง มีสกุล รหัส 52360232 |
| | นายประกฤชภู์ บุญอ้น รหัส 52360355 |
| **ที่ปรึกษาโครงงาน** | ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง |
| **สาขา** | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| **ภาควิชา** | วิศวกรรมอุตสาหการ |
| **ปีการศึกษา** | 2555 |

## บทคัดย่อ


โครงงานนี้ได้ศึกษาการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งมุ่งเน้นการจัดลำดับของกิจกรรม งานหรือผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ต้องการวัตถุประสงค์หลักของการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองก็คือ เพื่อจัดลำดับของกิจกรรมในกระบวนการผลิตให้มีความสม่ำเสมอเท่าที่จะเป็นไปได้ลดงานที่ค้างในระหว่างกระบวนการผลิต และลดปริมาณของคงคลัง ซึ่งอยู่ในรูปของผลรวมของระยะห่างระหว่างกิจกรรมให้มีระยะห่างที่น้อยที่สุดซึ่งโครงงานนี้ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้กับปัญหาความเปลี่ยนแปลงเวลาตอบสนอง

ในการดำเนินโครงงานจะเริ่มจากการศึกษาวิธีการเชิงพันธุกรรม แล้วศึกษาการสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ จากนั้นจึงพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรมขึ้นในโครงงานนี้มีได้พัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรมขึ้น 2 วิธี ได้แก่ การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single PointCrossover Operator) และการกลายพันธ์แบบสลับ (Swapping Mutation Operator) เมื่อพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรมเสร็จแล้ว จากนั้นนำข้อมูลของวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาเขียนโปรแกรม โดยใช้ Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel

จากนั้นนำโปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองที่ทำขึ้น มาทำการทดลองกับปัญหาตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้น โดยแบ่งเป็นปัญหาขนาดต่างๆ ทั้งปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลางและปัญหาขนาดใหญ่ เพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด

# กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สอนและให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการดำเนินงานตลอดมา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน และคุณพ่อ คุณแม่ รวมถึงเพื่อนทุกคนที่สนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา

คณะผู้ดำเนินโครงงานวิศวกรรม
นายเด่นดวง มีสกุล
นายประกฤชฎ์ บุญอ้น

พฤษภาคม 2556

# สารบัญ

หน้า

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

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

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง.....4
2.1 ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง.....4
2.2 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม.....10
2.3 การประยุกต์ใช้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง.....12
2.4 วิธีการเมตาฮิวริสติก.....13
2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม.....14
2.5.1 องค์ประกอบหลักๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรม.....15
2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม.....19
2.6 โปรแกรม VisualBasicforApplication.....22

# สารบัญ (ต่อ)

หน้า


บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....23

3.1 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง....23

3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก....23

3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม....23

3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรม VBA....23

3.5 พัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมกับปัญหาการเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง....23

3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์....24

3.7 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบหาค่าคำตอบของปัญหา....24

3.8 สรุปผลและนำเสนอผลงาน....24

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน....25

4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ....25

4.2 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม....32

4.3 กระบวนการทางพันธุกรรม....35

4.4 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อคำตอบ....39

4.5 สรุปผลการทดลอง....46

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ....47

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน....47

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน....47

5.3 แนวทางการแก้ปัญหา....48

5.4 ข้อเสนอแนะ....48

เอกสารอ้างอิง....49

ภาคผนวก ก. ....50

ภาคผนวก ข. ....57

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน....73

# สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงระยะห่างจากการทำซ้ำของกิจกรรม A....4
2.2 แสดงตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม A....5
2.3 แสดงลำดับที่เกิดขึ้นก่อนและหลังในกระการผลิต....5
2.4 แสดงระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง A ตำแหน่งที่....6
2.5 แสดงระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง A ตำแหน่งที่ 1ในวัฏจักรถัดไป....6
2.6 แสดงระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 2....7
2.7 แสดงระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไป....7
2.8 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 2....8
2.9 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 3....8
2.10 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 4....8
2.11 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 5 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไป....8
2.12 แสดงลักษณะของโครโมโซม....15
2.13 แสดงตำแหน่องของยีนของโครโมโซมที่แทนค่าเป็น 0 และ1....15
2.14 แสดงการออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า....16
2.15 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม....16
2.16 แสดงการข้ามสายพันธุ์....18
2.17 แสดงการกลายพันธุ์ของโครโมโซม....18
2.18 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม....19
4.1 แสดงตัวแทนคำตอบ....25
4.2 แสดงการเรียงลำดับของกิจกรรมจากค่าน้อยไปยังค่ามาก....26
4.3 แสดงตัวเลขที่ได้จากการสุ่มค่าระหว่าง 0–1....26
4.4 แสดงการเรียงตัวเลขที่สุ่มได้จากค่าน้อยไปยังค่ามาก....26
4.5 แสดงการเทียบค่าระหว่างจำนวนกิจกรรมกับชุดตัวเลขสุ่ม....27
4.6 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม....27
4.7 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม....27
4.8 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม....28
4.9 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 2 กับชุดตัวเลขสุ่ม....28
4.10 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 2 กับชุดตัวเลขสุ่ม....29

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.11 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 3 กับชุดตัวเลขสุ่ม....29
4.12 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 3 กับชุดตัวเลขสุ่ม....30
4.13 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมกับชุดตัวเลขสุ่ม....30
4.14 ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม....31
4.15 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม....33
4.16 แสดงโครโมโซมพ่อและแม่ของการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว....35
4.17 แสดงการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว....35
4.18 แสดงการเทียบค่าระหว่างโครโมโซมลูกกับจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ....36
4.19 แสดงโครโมโซมใหม่ที่ได้จากการเทียบค่ากับจำนวนกิจกรรม....37
4.20 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน....37
4.21 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน....38
4.22 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กทั้ง 2 โจทย์....40
4.23 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางทั้ง 2 โจทย์....41
4.24 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ทั้ง 2 โจทย์....42
4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น....43
4.26 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์....44
4.27 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์....45
4.28 แสดงผลค่าพารามิเตอร์ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด....46
ก.1 ปัญหาขนาดเล็ก 1....51
ก.2 ปัญหาขนาดเล็ก 2....52
ก.3 ปัญหาขนาดกลาง 1....53
ก.4 ปัญหาขนาดกลาง 2....54
ก.5 ปัญหาขนาดใหญ่ 1....55
ก.6 ปัญหาขนาดใหญ่ 2....56
ข.1 โค้ดปุ่ม Strat Program....58
ข.2 โค้ดปุ่ม Help....58

# สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ข.8 โค้ดช่อง Probability Crossover....69
ข.9 โค้ดช่อง ProbabilityMutation....70
ข.10 โค้ดช่องNumber of Generation....70
ข.11 โค้ดปุ่มBack....71
ข.12 โค้ดปุ่มRun Program....72
ข.13 โค้ดปุ่ม Back To Set Program....72

# สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน.....3

# บทที่ 1
# บทนำ

## 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

การแข่งขันทางด้านเศรษฐกิจในสภาวการณ์ปัจจุบันเป็นการแข่งขันที่ค่อนข้างมีความรุนแรงมากกว่าในสมัยก่อน เป็นผลอันเนื่องมาจากวิกฤตการณ์ทางด้านเศรษฐกิจต่างๆ ซึ่งวิกฤตการณ์ทางด้านเศรษฐกิจเหล่านี้ส่งผลกระทบโดยตรงต่ออุตสาหกรรมการผลิต ไม่ว่าจะเป็นอุตสาหกรรมการผลิตขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก ต่างก็ต้องเผชิญกับวิกฤตต่างๆ เช่นเดียวกัน เพื่อความอยู่รอดของอุตสาหกรรมการผลิต ผู้ประกอบการจึงจำเป็นต้องหาวิธีที่จะช่วยลดต้นทุนการผลิตลง และหาวิธีเพิ่มประสิทธิภาพให้กับกระบวนการผลิต เพื่อทำให้มีผลประกอบการที่เพิ่มมากขึ้นและสามารถแข่งขันกับคู่ค้ารายอื่นๆ ได้ ซึ่งปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง (Response Time Variability Problem : RTVP) เป็นวิธีหนึ่งที่จะช่วยให้กระบวนการผลิตมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และจะช่วยลดต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับกระบวนการผลิตลงได้

วัตถุประสงค์หลักของการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองคือ การจัดลำดับของกิจกรรมในกระบวนการผลิตให้มีความสม่ำเสมอเท่าที่จะเป็นไปได้ เพื่อลดงานที่ค้างในระหว่างกระบวนการผลิต และลดปริมาณของคงคลัง ซึ่งอยู่ในรูปของผลรวมของระยะห่างระหว่างกิจกรรมให้มีระยะห่างที่น้อยที่สุด โดยใช้วิธีการเมตาฮิวริสติกมาแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ซึ่งในงานโครงงานนี้คณะผู้จัดทำได้นำเอาวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาใช้ในการหาคำตอบของปัญหา

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกที่จำลองการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือกคำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ในการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ไขปัญหาบน Microsoft Excel โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

1.3.1 โปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

1.3.2 ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโปรแกรมแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

วิธีการเชิงพันธุกรรม และโปรแกรมที่ช่วยในการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองสามารถนำไปช่วยจัดลำดับกิจกรรมในกระบวนการผลิตที่ตรงกับเงื่อนไขที่พิจารณาได้

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ศึกษาเฉพาะปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองในลักษณะที่เป็นวัฏจักร และไม่มีข้อจำกัดของระยะห่างของการทำซ้ำของกิจกรรม

1.5.2 การแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองค่าคำตอบที่ได้ อาจไม่เป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด

1.5.3 วิธีการเชิงพันธุกรรมดังกล่าวจะถูกนำไปทดสอบกับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

เดือนกรกฎาคม 2555 – เดือนพฤษภาคม 2556

## 1.8 ขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

**ตารางที่ 1.1** แสดงขั้นตอน และแผนการดำเนินโครงงาน

| ลำดับ | การดำเนินงาน | ก.ค. | ส.ค. | ก.ย. | ต.ค. | พ.ย. | ธ.ค. | ม.ค. | ก.พ. | มี.ค | เม.ย | พ.ค |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 1.8.1 | ศึกษาค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหา | ← | — | → | | | | | | | | |
| 1.8.2 | ศึกษาข้อมูลการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel | | | ← | — | — | → | | | | | |
| 1.8.3 | พัฒนาวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธี Genetic Algorithm ด้วย Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel | | | | | | ← | — | → | | | |
| 1.8.4 | การทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธี Genetic Algorithm | | | | | | | | ← | — | → | |
| 1.8.5 | จัดทำรายงานและสรุปผล | | | | | | | | | | ← | → |
| 1.8.6 | นำเสนอผลงาน | | | | | | | | | | | ← → |

# บทที่ 2
# หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

## 2.1 ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง (Response Time Variability Problem : RTVP)

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองคือ ปัญหาการจัดลำดับของกิจกรรมที่เกิดขึ้น ซึ่งกิจกรรมเหล่านั้นอาจเป็นผลิตภัณฑ์ ลูกค้า หรืองาน ที่ต้องการจัดลำดับเพื่อลดความเปลี่ยนแปรของเวลาในขณะที่มีระยะเวลาจำกัด โดยลักษณะทั่วไปของปัญหาจะอยู่ภายใต้กรอบต่อไปนี้ โดยให้ $n$ แทนชนิดของผลิตภัณฑ์ ลูกค้า งาน ที่ต้องการจัดลำดับ และ $d_i$ แทนจำนวนทำซ้ำของกิจกรรม $i$ โดยที่ $i$ มีค่าเท่ากับ 1, 2, 3,.....,$n$ ในปัญหา (RTVP) เป็นวิธีการที่ลดความเปลี่ยนแปรของระยะห่างระหว่างกิจกรรมสองกิจกรรมที่ทำเหมือนกัน กลุ่มของปัญหาการจัดเรียงลำดับ จะสามารถแบ่งประเภทตามลักษณะของปัญหาได้ดังนี้

ปัญหาที่เป็นวัฏจักรและปัญหาที่ไม่เป็นวัฏจักร ปัญหาที่เป็นวัฏจักรเป็นการจัดลำดับของแต่ละกิจกรรม การพิจารณาระยะห่างจะพิจารณาจากกิจกรรมสุดท้ายของ $i$ ในวัฏจักรกับกิจกรรมแรกของ $i$ ในวัฏจักร เช่น การทำซ้ำของกิจกรรม A ในตำแหน่งสุดท้ายของวัฏจักรมีระยะห่างจากการทำซ้ำของกิจกรรม A ในตำแหน่งแรกของวัฏจักรอยู่ 3 หน่วยดังรูปที่ 2.1

รูปที่ 2.1 แสดงระยะห่างจากการทำซ้ำของกิจกรรม A

ปัญหาที่มีข้อจำกัดของระยะห่างและปัญหาที่ไม่มีข้อจำกัดของระยะห่าง ปัญหาที่มีข้อจำกัดของระยะห่างของการทำซ้ำของกิจกรรมเป็นการกำหนดขอบเขตบนหรือขอบเขตล่างของการทำซ้ำของกิจกรรมนั้นๆ เช่น กิจกรรม A มีการกำหนดการทำซ้ำของกิจกรรมไว้อย่างน้อย 2 ครั้ง แต่ไม่เกิน 5 ครั้ง เป็นต้น

ปัญหาที่มีคำตอบที่ดีที่สุดกับปัญหาที่มีคำตอบที่เป็นไปได้ การแบ่งประเภทเช่นนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการหาคำตอบว่าต้องการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือต้องการคำตอบที่เป็นไปได้โดยไม่ละเมิดข้อจำกัดต่างๆ ของปัญหา

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาการตอบสนอง (RTVP) จัดเป็นปัญหาที่เป็นวัฏจักรและไม่มีข้อจำกัดของระยะห่างเข้ามาเกี่ยวข้องโดยมีวัตถุประสงค์คือการหาคำตอบที่ดีที่สุด และมีความเปลี่ยนแปรของเวลาตอบสนองน้อยที่สุดในการศึกษาปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองได้กำหนดสัญลักษณ์ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

$n$ คือ ชนิดของกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ

$d_i$ คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม $i$

$D$ คือ ผลรวมของการทำซ้ำของทุกกิจกรรม

$$D = \sum_{i=1}^{n} d_i \tag{2.1}$$

$t_k^i$ คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม $i$ ในลำดับที่ $k$ และ $k+1$

$t_{d_i}^i$ คือ ระยะห่างระหว่างตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม $i$ ในลำดับสุดท้ายของวัฏจักรกับลำดับแรกในวัฏจักรถัดไป

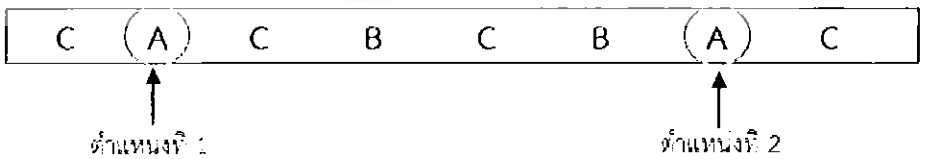
$\overline{t_i}$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสม ของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม $i$

$$\overline{t_i} = \left(\frac{D}{d_i}\right) \tag{2.2}$$

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง นั้นมีเป้าหมายเพื่อกำหนดลำดับการทำงานของกิจกรรมทั้งหมดในหนึ่งวัฏจักรแล้วก็ให้การทำกิจกรรม $i$ แต่ละชนิดมีระยะห่างของลำดับของการทำกิจกรรมที่อยู่ติดกันให้มีค่าใกล้เคียงกันกับค่าระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม $i$ โดยสามารถคำนวณค่าความเปลี่ยนแปรของเวลาระยะห่างได้จาก

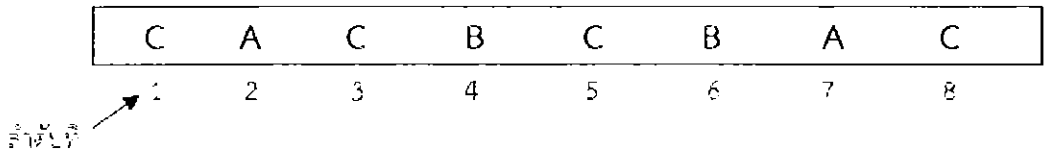
$$RTV = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{d_i} \left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2 \tag{2.3}$$

ในที่นี้ตำแหน่ง หมายถึง การทำซ้ำของกิจกรรมที่เหมือนกันในวัฏจักรเดียวกันหรือวัฏจักรถัดไป ดังรูปที่ 2.2




**รูปที่ 2.2** แสดงตำแหน่งของการทำซ้ำของกิจกรรม A

ลำดับ หมายถึง กิจกรรมที่เกิดขึ้นก่อนหลังของกิจกรรมในกระบวนการผลิต ดังรูปที่ 2.3




**รูปที่ 2.3** แสดงลำดับที่เกิดขึ้นก่อนและหลังในกระบวนการผลิต

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้ชนิดของสิ่งที่ต้องการจัดลำดับได้แก่กิจกรรม A, B และ C ตามลำดับ โดยที่ให้จำนวนครั้งของการทำซ้ำของกิจกรรม A, B และ C คือ 2, 2 และ 4 และผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรม A, B และ C มีค่าเท่ากับ 8 ระยะห่างเฉลี่ยระหว่างการทำซ้ำที่ต่อเนื่องของกิจกรรม A, B และ C คือ 4, 4 และ 2 สมมุติให้การจัดลำดับที่เป็นไปได้ของ A, B และ C คือ (C, A, C, B, C, B, A, C) จงหาวิธีการจัดลำดับที่เป็นไปได้อย่างสม่ำเสมอของกิจกรรม A, B และ C

วิธีทำ จากสมการที่ 2.1 $RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2$

ทำการหาผลรวมเมื่อ $i$ มีการเปลี่ยนแปลง

พิจารณากรณี $i = A$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^A - \overline{t_A}\right)^2 = \left(t_1^A - \overline{t_A}\right)^2 + \left(t_2^A - \overline{t_A}\right)^2$$

$$= (5-4)^2 + (3-4)^2$$

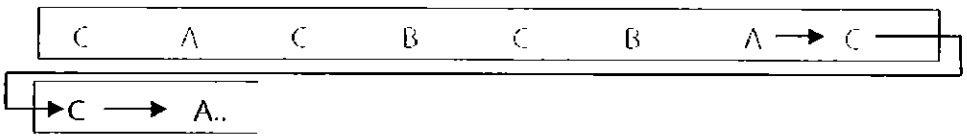
$$= 2$$

$t_1^A$ คือ ระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง A ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 5 หน่วยดังรูปที่ 2.4

$t_2^A$ คือ ระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง A ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไปมีค่าเท่ากับ 3 หน่วย ดังรูปที่ 2.5

$\overline{t_A}$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม A $\overline{t_A} = \left(\frac{8}{2}\right) = 4$

รูปที่ 2.4 แสดงระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง A ตำแหน่งที่ 2




**รูปที่ 2.5 แสดงระยะห่างระหว่าง A ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง A ตำแหน่งที่ 1**

พิจารณากรณี $i = B$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^B - \overline{t_B}\right)^2 = \left(t_1^B - \overline{t_B}\right)^2 + \left(t_2^B - \overline{t_B}\right)^2$$

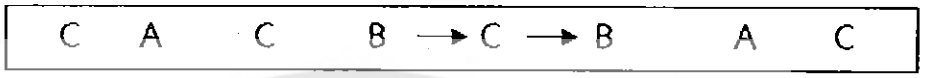
$$= (2-4)^2 + (6-4)^2$$

$$= 8$$

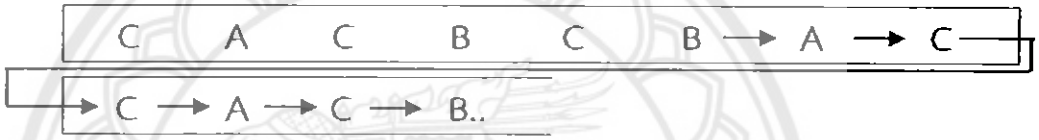
$t_1^B$ คือ ระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 2 หน่วยดังรูปที่ 2.6

$t_2^B$ คือ ระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไปมีค่าเท่ากับ 6 หน่วย ดังรูปที่ 2.7

$\overline{t_B}$ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม B $\overline{t_B} = \left(\frac{8}{2}\right) = 4$




รูปที่ 2.6 แสดงระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 2




รูปที่ 2.7 แสดงระยะห่างระหว่าง B ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง B ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไป

พิจารณากรณี $i = C$

$$\sum_{k=1}^{4}\left(t_k^C - \overline{t_C}\right)^2 = \left(t_1^C - \overline{t_C}\right)^2 + \left(t_2^C - \overline{t_C}\right)^2 + \left(t_3^C - \overline{t_C}\right)^2 + \left(t_4^C + \overline{t_C}\right)^2$$
$$= (2-2)^2 + (2-2)^2 + (3-2)^2 + (1-2)^2$$
$$= 2$$

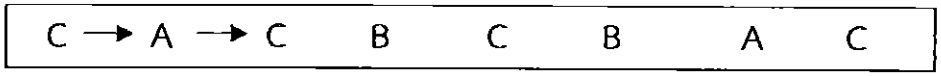
$t_1^C$ คือ ระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 2 มีค่าเท่ากับ 2 หน่วยดังรูปที่ 2.8

$t_2^C$ คือ ระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 3 มีค่าเท่ากับ 2 หน่วยดังรูปที่ 2.9

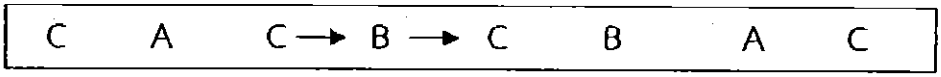
$t_3^C$ คือ ระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 4 มีค่าเท่ากับ 1 หน่วยดังรูปที่ 2.10

$t_4^C$ คือ ระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 5 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไปมีค่าเท่ากับ 1 หน่วย ดังรูปที่ 2.11

$\overline{t_C}$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม C $\overline{t_C} = \left(\frac{4}{2}\right) = 2$

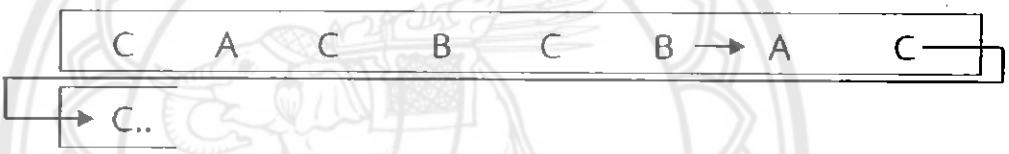



**รูปที่ 2.8 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 1 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 2**




**รูปที่ 2.9 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 2 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 3**

**รูปที่ 2.10 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 3 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 4**




**รูปที่ 2.11 แสดงระยะห่างระหว่าง C ตำแหน่งที่ 5 ไปยัง C ตำแหน่งที่ 1 ในวัฏจักรถัดไป**

$$RTV = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{d_i} \left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2 = 2 + 8 + 2 = 12$$

ดังนั้นผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรม A, B และ C มีค่าเท่ากับ 12 หน่วย

เพื่อแสดงให้เห็นภาพรวมของการหาคำตอบมากยิ่งขึ้น จึงพิจารณาด้วยตัวอย่างต่อไปนี้

ตัวอย่างที่ 2 โรงงานแห่งหนึ่งผลิตนมเพื่อจำหน่ายในประเทศ โรงงานแห่งนี้จะผลิตนมอยู่ 5 ชนิด ได้แก่ นมเปรี้ยวรสองุ่น, นมเปรี้ยวรสสตอเบอรี่, นมเปรี้ยวรสผลไม้รวม, นมเปรี้ยวรสส้ม และนมเปรี้ยวรสธรรมดา กำหนดให้ ผลิตนมเปรี้ยวรสองุ่น 3 หน่วย, นมเปรี้ยวรสสตอเบอรี่ 2 หน่วย, นมเปรี้ยวรสผลไม้รวม 4 หน่วย, นมเปรี้ยวรสส้ม 6 หน่วย, นมเปรี้ยวรสธรรมดา 3 หน่วย สมมุติให้การจัดลำดับของการผลิตนมเปรี้ยวทั้งหมดที่เป็นไปได้คือ D, B, D, E, C, B, A, D, E, D, C, A, C, E, D, C, D, A จงหาวิธีการที่เป็นไปได้ในการจัดลำดับของ A, B, C, D, E อย่างสม่ำเสมอ

วิธีทำ จากโจทย์ ใช้สัญลักษณ์ A แทน นมเปรี้ยวรสองุ่น $d_A = 3$

B แทน นมเปรี้ยวรสสตอเบอรี่ $d_B = 2$

C แทน นมเปรี้ยวรสผลไม้รวม $d_C = 4$

D แทน นมเปรี้ยวรสส้ม $d_D = 6$

E แทน นมเปรี้ยวรสธรรมดา $d_E = 3$

ผลรวมของการผลิตนมเปรี้ยวซ้ำทั้งหมด คือ $D=18$ และระยะทางเฉลี่ยระหว่างการผลิตซ้ำที่ต่อเนื่องของ A, B, C, D, และ E คือ $\bar{t}_A=6\ \ \bar{t}_B=9\ \ \bar{t}_C=4.5\ \ \bar{t}_D=3\ \ \ \bar{t}_D=6$

จากสมการ $RTV=\sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i-\bar{t}_i\right)^2$ จะได้

ทำการหาผลรวมเมื่อ $i$ มีการเปลี่ยนแปลง

พิจารณากรณี $i=A$

$$\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^A-\bar{t}_A\right)^2=\left(t_1^A-\bar{t}_A\right)^2+\left(t_2^A-\bar{t}_A\right)^2+\left(t_3^A-\bar{t}_A\right)^2$$
$$=(5-6)^2+(6-6)^2+(7-6)^2$$
$$=2$$

พิจารณากรณี $i=B$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^B-\bar{t}_B\right)^2=\left(t_1^B-\bar{t}_B\right)^2+\left(t_2^B-\bar{t}_B\right)^2$$
$$=(2-4)^2+(6-4)^2$$
$$=50$$

พิจารณากรณี $i=C$

$$\sum_{k=1}^{4}\left(t_k^C-\bar{t}_C\right)^2=\left(t_1^C-\bar{t}_C\right)^2+\left(t_2^C-\bar{t}_C\right)^2+\left(t_3^C-\bar{t}_C\right)^2+\left(t_4^C+\bar{t}_C\right)^2$$
$$=(5-4.5)^2+(2-4.5)^2+(3-4.5)^2+(7-4.5)^2$$
$$=15.75$$

พิจารณากรณี $i=D$

$$\sum_{k=1}^{6}\left(t_k^D-\bar{t}_D\right)^2=\left(t_1^D-\bar{t}_D\right)^2+\left(t_2^D-\bar{t}_D\right)^2+\left(t_3^D-\bar{t}_D\right)^2+\left(t_4^D+\bar{t}_D\right)^2+\left(t_5^D-\bar{t}_D\right)^2+\left(t_6^D-\bar{t}_D\right)^2$$
$$=(2-3)^2+(5-3)^2+(2-3)^2+(5-3)^2+(2-3)^2+(2-3)^2$$
$$=12$$

พิจารณากรณี $i=E$

$$\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^E-\bar{t}_E\right)^2=\left(t_1^E-\bar{t}_E\right)^2+\left(t_2^E-\bar{t}_E\right)^2+\left(t_3^E-\bar{t}_E\right)^2$$
$$=(5-6)^2+(5-6)^2+(8-6)^2\quad=6$$

$$RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2 = 2 + 50 + 15.75 + 12 + 6 = 85.75$$

ดังนั้น การผลิตนมเปรี้ยวซ้ำทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 85.75 หน่วย

ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองจะอยู่ในรูปแบบของปัญหา NP – hard ซึ่งเป็นการยากที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดได้

## 2.2 แบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม (Mixed – Integer Linear Programming : MILP)

ในส่วนนี้จะนำเสนอเกี่ยวกับคำศัพท์ที่ใช้ในโครงงานซึ่งจะอธิบายแบบจำลองเชิงเส้นจำนวนเต็มผสม สำหรับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองในงานโครงงานนี้จะเรียกว่า "MILP" และอธิบายค่าขอบเขตล่างของฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองที่กำหนดโดย (Corominas et al. 2007) ซึ่งให้ข้อมูลและตัวแปร ดังนี้

$n$ คือ ชนิดของสิ่งที่ต้องการจัดลำดับ

$d_i$ คือ จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม $i$

$D$ คือ ผลรวมของการทำซ้ำของทุกกิจกรรม

$\bar{t}_i$ คือ ระยะห่างที่เหมาะสมของลำดับที่อยู่ใกล้กันของกิจกรรม $i$

$G1$ คือ เซตของกิจกรรมที่มีการทำซ้ำมากกว่า 1 ครั้งของกิจกรรม $i$ นั้นคือ $d_i \geq 2$: $G1 = \{i : d_i \geq 2\}$

$UB_i$ คือ ค่าระยะห่างสูงสุดที่เป็นไปได้ของการทำซ้ำที่ต่อเนื่องกันของกิจกรรม $i$ เมื่อ $UB_i = D - d_i + 1 \quad (\forall i \in G1)$

$E_{ik}, L_{ik}$ คือ ตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้เร็วที่สุดและตำแหน่งที่เกิดขึ้นได้ช้าที่สุด อยู่ในลำดับที่ $k$ ของกิจกรรม $i$ เมื่อ $E_{ik} = k$ และ $L_{ik} = D - d_i + k \quad (i = 1,...,n; k = 1,...,d_i)$

$H_{ik}$ คือ เซตของลำดับที่อยู่ในลำดับที่ $k$ ของกิจกรรม $i$ เมื่อ $H_{ik} = \{h : E_{ik} \leq h \leq L_{ik}\}$ $(i - 1,...,n; k - 1,...,d_i)$

$y_{ikh} \in \{0,1\}$ ถ้า $y$ เป็น 1 อยู่ในลำดับที่ $k$ ของกิจกรรม $i$ ถูกวางในตำแหน่ง $h$ เมื่อ $(i = 1,...,n; k = 1,...,d_i; h \in H_{ik})$

$\delta_{ik} \in \{0,1\}$ ถ้า $\delta$ เป็น 1 ถ้าเป็นระยะห่างระหว่างลำดับที่ $k$ และ $k+1$ ของกิจกรรม $i$ เท่ากับ $j$ เมื่อ $(\forall j \in G1; k = 1,...,d_i; j = 1,...,UB_i)$

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของ MILP คือ

$$[MIN]RTV = \sum_{\forall i \in G1, k, j} j^2 \cdot \delta_{ik}^j - \sum_{i \in G1} d_i \cdot \bar{t}_i^2 \qquad (2.4)$$

$$\sum_{\forall(i,k)h\in H_{ik}} y_{ikh} = 1 \quad (h = 1,\ldots, D) \tag{2.5}$$

$$\sum_{h\in H_{ik}} y_{ikh} = 1 \quad (i = 1,\ldots,n; k = 1,\ldots,d_i) \tag{2.6}$$

$$\sum_{h\in H_{i,k+1}} h\cdot y_{i,k+1} - \sum_{h\in H_{ik}} h\cdot y_{ikh} = \delta_{ik}^{1} + \cdots + j\cdot\delta_{ik}^{j} + \cdots + UB_i\cdot\delta_{ik}^{UB_i}$$

$$(\forall i \in G1; k = 1,\ldots, d_i - 1) \tag{2.7}$$

$$D - \sum_{h\in H_{id_i}} h\cdot y_{i,d_i,h} + \sum_{h\in H_{i1}} h\cdot y_{i1h} = \delta_{id_i}^{1} + \cdots + j\cdot\delta_{id_i}^{j} + \cdots + UB_i\cdot\delta_{id_i}^{UB_i} \quad (\forall i \in G1)$$

(2.8)

$$\sum_{j=1}^{UB_i} \delta_{ik}^{j} = 1 \quad (\forall i \in G1; k = 1,\ldots, d_i) \tag{2.9}$$

จากฟังก์ชั่นเป้าประสงค์ 2.4 เป็นฟังก์ชันที่ใช้หาค่าต่ำสุดที่ยอมรับได้ของปัญหาความเปลี่ยนเวลาตอบสนอง

ข้อจำกัดที่ 2.5 เป็นฟังก์ชั่นที่แสดงเห็นว่ามีเพียงหนึ่งกิจกรรมเท่านั้นที่จัดให้อยู่ในแต่ละตำแหน่ง $h$ ของลำดับกิจกรรม

ข้อจำกัดที่ 2.6 เป็นฟังก์ชั่นที่แสดงให้เห็นว่าลำดับของ $k$ แต่ละชนิดของกิจกรรม $i$ กำหนดให้มีหนึ่งตำแหน่งเท่านั้นในลำดับ

ข้อจำกัดที่ 2.7 เป็นฟังก์ชั่นที่แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างลำดับที่ $k$ และ $k+1$ ของกิจกรรม $i$ มีค่าเป็นจำนวนเต็ม เมื่อ $j \in [1, UB_i]$

ข้อจำกัดที่ 2.8 คล้ายกับข้อจำกัดที่ (4) ต่างกันที่ข้อจำกัดที่ (5) แสดงถึงระยะห่างระหว่างลำดับแรกของกิจกรรม $i$ ในวัฏจักรกับลำดับสุดท้ายของกิจกรรม $i$ ในวัฏจักรก่อนหน้า

ข้อจำกัดที่ 2.9 เป็นฟังก์ชั่นที่แสดงให้เห็นว่าระยะห่างระหว่างลำดับที่ $k$ และ $k+1$ ของกิจกรรม $i$ ให้ได้รับค่าเพียงหนึ่งค่าเท่านั้น

ฟังก์ชั่นเป้าประสงค์เดิม $RTV = \sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{d_i} \left(t_k^i - \bar{t}_i\right)^2$ ไม่เป็นฟังก์ชั่นเชิงเส้น โดยกำหนด

ตัวแปร 2 ตัว ได้ $y_{ikh}$ และ $\delta_{ik}^l$ ที่กิจกรรม $d_i = 1 \ (i \notin G1)$ ซึ่งจะไม่พิจารณาในฟังก์ชั่นเป้าประสงค์และในข้อจำกัดที่ 2.7 - 2.9 เพราะของ $RTV$ จะมีค่าเท่ากับ 0

## 2.3 การประยุกต์ใช้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

การประยุกต์ใช้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองในปัจจุบันมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลายกรณีแรกของการประยุกต์ใช้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองได้แก่ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ คอร์เปอร์เรชั่น ได้นำหลักการของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองไปใช้ในการจัดตารางกระบวนการผลิตเพื่อให้กระบวนการผลิตมีลำดับของการดำเนินกิจกรรมเป็นไปอย่างสม่ำเสมอภายใต้ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี (Just In Time) นับตั้งแต่ที่ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ คอร์เปอร์เรชั่น นำระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี มาใช้ในกระบวนการผลิตหลักการของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองก็สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดี ได้เป็นอย่างดี โดยจุดประสงค์หลักของระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีคือ การกำจัดสาเหตุที่จะทำให้เกิดของเสียและกระบวนการผลิตที่ไร้ประสิทธิภาพ ในกรณีของ บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ คอร์เปอร์เรชั่น สาเหตุหลักที่ทำให้เกิดของเสียขึ้นในกระบวนการผลิต ได้แก่ ปริมาณของคงคลังที่มีมากเกินความจำเป็น ดังนั้น บริษัท โตโยต้า มอเตอร์ คอร์เปอร์เรชั่น จึงได้นำระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีมาช่วยแก้ปัญหาในกระบวนการผลิต การใช้ระบบการผลิตแบบทันเวลาพอดีเป็นระบบที่จะต้องระบุจำนวนที่เพียงพอต่อความต้องการของการผลิตในแต่ละครั้ง

Monden (1983) ได้กล่าวไว้ว่า ในระบบการผลิตประเภทนี้ การกำหนดปริมาณที่ใช้ในการผลิตในแต่ละครั้งนั้นอาจกำหนดโดยการดูปริมาณการใช้จากข้อมูลในอดีต เพื่อประกอบกับการผลิตในระหว่างกระบวนการ Multinburg (1989) ได้ศึกษาปัญหาโดยกำหนดแบบจำลองและพิจารณาเฉพาะอัตราความต้องการ (Miltinburg, 1989; Kubiak, 1993) ปัญหาที่เสนอโดย Multinburg มีจุดประสงค์ที่จะลดความแปรปรวนในกระบวนการผลิต อย่างไรก็ตามข้อเสนอแนะที่ได้รับกลับมาจากอุตสาหกรรมการผลิตแบบจำลองแบบผสม (Mixed - Model) เป็นวิธีหนึ่งในการจัดลำดับที่ดีซึ่งความเป็นไปได้ที่จะจัดให้ระยะห่างระหว่างกิจกรรมในแบบเดียวกันมีระยะห่างที่สม่ำเสมอ

ข้อเสียเปรียบหนึ่งของปัญหาที่ Multinburg เสนอก็คือ ตำแหน่งของตัวแปรในแบบจำลองจะเฉพาะกับการผลิตเพียงหนึ่งหน่วยการผลิตแม้ว่าตำแหน่งของแบบจำลองจะไม่เกี่ยวข้องกับอัตราความต้องการปกติ ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองยังปรากฏในระบบมัลติเทรดของคอมพิวเตอร์ด้วย (Waldspurger and Weihl, 1994 and 1995; Dong et al..., 1998) ระบบมัลติเทรด (ระบบปฏิบัติการ บริการเครือค่าย การสื่อสารขั้นพื้นฐานต่างๆ) เป็นโปรแกรมที่ตอบสนองความต้องการที่แตกต่างกันของลูกค้าในบริเวณเดียวกันและเกิดขึ้นพร้อมๆ กัน ระบบมัลติเทรดนี้ยังสามารถจัดการกับทรัพยากรที่มีไม่เพียงพอเพื่อบริการแก่ลูกค้า $n$ ลูกค้าได้ ตัวอย่างเช่น ระบบมัลติมีเดียจะ

ไม่แสดงภาพเคลื่อนไหวเร็วเกินไปหรือช้าเกินไป เพราะทั้งนี้จะทำให้เกิดการมองเห็นภาพเคลื่อนไหวไม่มีความสม่ำเสมอ (Kubiak, 2009) Waldspurger และ Weihl สามารถพิจารณาถึงทรัพยากรที่ถูกต้องโดยใช้จำนวนบัตรเข้าชมแทนลูกค้าและกำหนดให้ $i$ แทนจำนวนลูกค้า $d_i$ แทนจำนวนบัตรเข้าชม เพื่อเสนอตัวชี้วัดในการหาค่าลำดับของทรัพยากรที่ถูกต้อง บริบทอื่นๆ ของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองสามรถนำมาประยุกต์ใช้กับการออกแบบแคตตาล็อกขายของ (ปัญหานี้นำเสนอใน Bollapragada et al., 2004) ปัญหาช่วงของการซ่อมบำรุงเครื่องจักร (Anily et al., 1998; Wei and Liu, 1983) รวมทั้งปัญหาที่มีของจำกัดของระยะห่างอื่นๆ (e.g., see Han et al., 1996) กรณีที่ 2 ของการประยุกต์ใช้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองมีรายงานในวารสาร Bollapragadaetal., (2004) ซึ่งมีแรงบันดาลใจมาจากการประสบปัญหาโดยตรงจาก บริษัท Nationnal Broadcasting Company (BNC) ของประเทศสหรัฐอเมริกาซึ่งเป็นหนึ่งในบริษัทชั้นนำของอุตสาหกรรมโทรทัศน์ รายได้ส่วนใหญ่มาจากการโฆษณาสินค้าทางโทรทัศน์ ซึ่งลูกค้าส่วนใหญ่มักจะขอให้ บริษัท Nationnal Broadcasting Company (BNC) เว้นระยะห่างของช่วงการโฆษณาสินค้าของพวกเขาให้มีระยะห่างที่เท่ากันมากที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

## 2.4 วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Operators)

เมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) เป็นวิธีการประมาณคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ ได้คำตอบที่มีคุณภาพดีเพียงพอต่อการวางแผนต่าง ๆ และช่วยลดระยะเวลาในการคำนวณปัญหาที่มีขนาดใหญ่ แก้ได้ยาก โดยอธิบายขั้นตอนและวิธีการพื้นฐานอย่างละเอียด เพื่อให้ผู้อ่านมีความเข้าใจและสามารถเริ่มต้นพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกได้ รวมทั้งนำเสนอตัวอย่างปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิตและโลจิสติกส์ที่หลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาการจัดลำดับการผลิตและปัญหาการหาเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย เนื้อหาประกอบด้วย พื้นฐานเกี่ยวกับฮิวริสติกและเมตาฮิวริสติก ตัวดำเนินการในวิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Operators) วิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการค้นหาคำตอบเฉพาะที่พื้นฐาน (Basic Local Search) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีจะมีที่มาและวิธีการที่แตกต่างกัน แต่จะใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน

### 2.4.1 วิธีการพื้นฐานที่ใช้อย่างแพร่หลายในปัจจุบัน

2.4.1.1 การสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน (Greedy Algorithms) หมายถึง เป็นอัลกอริทึมที่จะหาคำตอบโดยการเลือกทางออกที่ดีที่สุดที่พบได้ในขณะนั้นเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่ในบางครั้งการสุ่มแบบมีความน่าจะเป็นไม่เท่ากัน อาจจะไม่สามารถหาคำตอบของปัญหาที่ดีที่สุดได้เสมอไป

2.4.1.2 การเขียนโปรแกรมแบบพลวัต (Dynamic Programming) หมายถึง วิธีการหลีกเลี่ยงการคำนวณหาคำตอบซ้ำๆ โดยการแก้ปัญหาย่อยๆ ในบางครั้งเราไม่สามารถแบ่งปัญหาออกเป็นปัญหาย่อยๆได้ ถ้าเราพยายามแบ่งปัญหานั้นๆ ออกเป็นปัญหาย่อยที่เล็กที่สุด ขั้นตอนของเราอาจจะใช้เวลาทำงานเป็นแบบเอ็กซโพเนนเชียลได้แต่เวลาที่เราแก้ไขปัญหาต่างๆ มักจะพบว่าเราต้องแก้ปัญหาย่อยๆ ที่เหมือนกันและซ้ำไปซ้ำมา เพื่อหลีกเลี่ยงการคำนวณหาคำตอบซ้ำๆการเขียนโปรแกรมแบบพลวัต จึงแก้ปัญหาย่อยๆ เหล่านี้เพียงครั้งเดียวจากนั้นก็เก็บผลลัพธ์ไว้ ถ้าหากพบว่าต้องแก้ปัญหานี้อีกเราก็สามารถนำคำตอบจากคำตอบที่เคยคำนวณเก็บไว้มาใช้ได้เลย โดยไม่ต้องประมวลผลใหม่จะช่วยให้ประหยัดเวลาในการทำงานได้มาก

2.4.1.3 วิธีการทำซ้ำ (Iterative Method) หมายถึง วิธีการทำซ้ำเพื่อใช้ในการหาคำตอบของระบบสมการเชิงเส้นที่มีขนาดใหญ่ อย่างมีประสิทธิภาพได้คำตอบที่เที่ยงตรง และมีค่าผิดพลาดน้อย

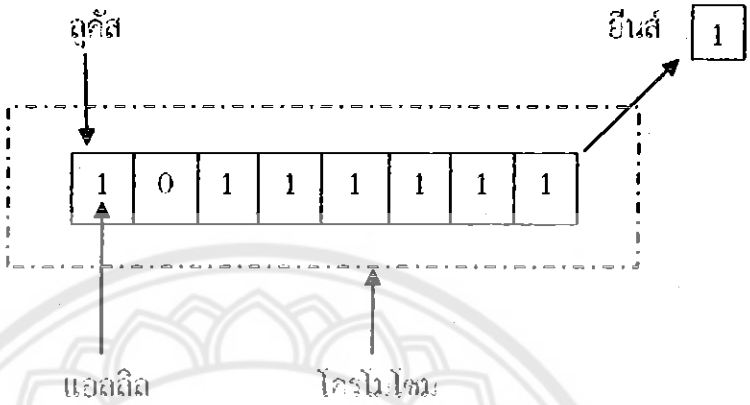
2.4.1.4 การแบ่งเป็นปัญหาย่อย (Divide and Conquer) หมายถึง การแตกปัญหาเป็นปัญหาย่อย แล้วหาคำตอบ จากนั้นรวมคำตอบของปัญหาเป็นอัลกอริทึมที่จะมีการนำปัญหาหลักที่ได้มาทำการแยกออกเป็นปัญหาย่อยๆ แล้วนำคำตอบที่ได้จากปัญหาย่อยต่างๆ มารวมกันเข้าด้วยกัน โดยอัลกอริทึมนี้เราสามารถหาคำตอบของปัญหาได้ง่ายขึ้น จากการรวมคำตอบของปัญหาหลักนั้นเอง

2.4.1.5 กรณีศึกษา (Case Study) หมายถึง เรื่องราวหรือเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นจริง ซึ่งได้มีการรวบรวมมาเสนอให้ทราบข้อเท็จจริงพร้อมทั้งข้อมูลต่างๆ ที่เกี่ยวข้องเพื่อจะได้ศึกษาอภิปรายแลกเปลี่ยนความคิดเห็นและวิเคราะห์เรื่องที่เกิดขึ้น แล้วสรุปแนวทางการตัดสินใจ หรือวิธีแก้ปัญหาที่เห็นว่าดีที่สุด เหมาะสมที่สุด และอำนวยประโยชน์มากกว่าแนวทางหรือวิธีแก้ปัญหาอื่นๆ

## 2.5 วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA)

จุดเริ่มต้นการพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรม ในประเทศสหรัฐอเมริกา 1975 วิธีการเชิงพันธุกรรมถูกค้นพบโดย John Holland คือ กระบวนการเรียนแบบวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิตที่เกิดขึ้นในธรรมชาติโดยเกี่ยวข้องกับยีนส์ ต่อมาในปี 1992 John Koza ได้ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมพัฒนาโปรแกรม Evolve Programs หรือเรียกว่า Genetic Programming ทั้ง Genetic Algorithm และ Genetic Programming อยู่บนพื้นฐานการพัฒนาการของสิ่งมีชีวิตตามหลักของธรรมชาติที่ว่าด้วยทฤษฎีการคัดเลือกตามธรรมชาติ และทฤษฎีการสืบทอดลักษณะทางพันธุกรรมของยีน เนื่องจากวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นกระบวนการที่เลียนแบบกลไกวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต ดังนั้นในกระบวนการคำนวณของวิธีการเชิงพันธุกรรมจึงมีคำศัพท์เฉพาะทางชีววิทยาเข้ามาเกี่ยวข้องโดยอธิบายได้ดังนี้ วิธีการเชิงพันธุกรรมจะเริ่มต้นด้วยการสุ่มเซตของผลเฉลยที่เกิดจากการเข้ารหัสโดยใช้สายของตัวอักษร (String) ซึ่งเทียบได้กับโครโมโซม (Chromosome) เพื่อแทนผลเฉลยจริงของปัญหา ซึ่งโครโมโซมเหล่านี้จะประกอบด้วยส่วนประกอบย่อย คือ ตัวอักษร (Character) คือ ยีน (Gene) โดยที่อยู่ของบริเวณของยีนบนโครโมโซม คือ ลูคัส (Locus) และสถานะของยีนที่อยู่บนโครโมโซมเรียกว่า

**แอลลิล (Allele) ลักษณะของโครโมโซมที่ถูกเข้ารหัสเหล่านี้เทียบได้กับจีโนไทป์ (Genotype) และเมื่อมีการถอดรหัสโครโมโซมจะได้ผลเฉลยจริงของปัญหานี้เทียบได้กับฟีโนไทป์ (Phenotype) ซึ่งลักษณะของโครโมโซมแสดงดังรูปที่ 2.12**




**รูปที่ 2.12** แสดงลักษณะของโครโมโซม

**ที่มา** : Li, et al., 1995

2.5.1 องค์ประกอบหลักๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรมมีรายละเอียด ดังนี้

2.5.1.1 **การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (Chromosome Encoding) การถอดรหัส** หรือการได้มาซึ่งโครโมโซม คือ ปัญหาแรกที่จะเริ่มแก้ปัญหาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม **ในการถอดรหัสนั้นจะขึ้นอยู่กับปัญหา ซึ่งในปัจจุบันปัญหามีมากมายจึงทำให้รูปแบบของโครโมโซมมีความ** แตกต่างกันออกไปตามปัญหานั้นๆ เช่น

ก. **การออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี (Binary Encoding) เป็นรูปแบบ** โครโมโซมเริ่มแรกที่นำมาใช้แก้ปัญหาของวิธีการเชิงพันธุกรรม จึงทำให้รูปแบบโครโมโซมแบบนี้เป็น **เรื่องธรรมดาที่สุด ลักษณะของการออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี คือ ทุกตำแหน่งของยีนใน โครโมโซมจะแทนค่าเป็น 0 หรือ 1 ดังรูปที่ 2.13**

Chromosome A: 10110010110010101110010 1

Chromosome B: 11111110000011000001111 1

**รูปที่ 2.13** แสดงตำแหน่องของยีนของโครโมโซมที่แทนค่าเป็น 0 และ 1

**ที่มา** : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

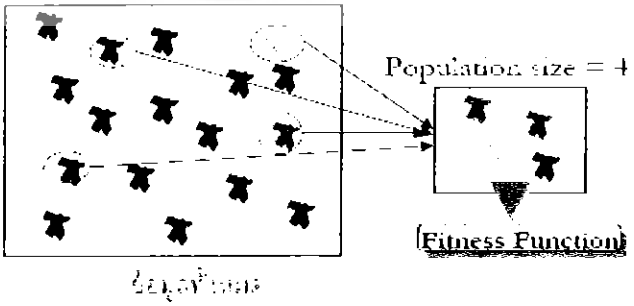
ข. การออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า (Value Encoding) ทุกตำแหน่งของยีนบนโครโมโซมจะมีค่าบางค่า ที่สามารถเชื่อมโยงไปยังปัญหาได้ เช่น ตัวอักษร จำนวนจริง คำสั่ง หรืออื่นๆ รูปแบบโครโมโซมแบบนี้สามารถใช้ได้กับปัญหาที่ค่อนข้างซับซ้อนได้ดังรูปที่ 2.14

| | |
|---|---|
| Chromosome A: | 1.2324 5.3243 0.4556 2.3293 2.4545 |
| Chromosome B: | ABDJEIFJDHDIERJFDLDFLFEGT |
| Chromosome C: | (back), (back), (right), (forward), (left) |

รูปที่ 2.14 แสดงการออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า
ที่มา : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

ค. การออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ (Permutation Encoding) เป็นการกระทำลำดับแรกก่อนที่จะเข้ากระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม ประชากรที่เกิดจากการสุ่ม เพื่อนำประชากรเข้าไปในกระบวนการแก้ปัญหา การสุ่มจะต้องสุ่มให้ได้จำนวนเท่ากับขนาดของรุ่นที่ได้กำหนดไว้โดยที่ยังไม่มีการสนใจค่าความเหมาะสมของแต่ละโครโมโซม

2.5.1.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) คือ ลักษณะที่เป็นต้นแบบหรือต้นกำเนิดที่จะนำเข้าไปในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยการสุ่มเลือกเรื่องสร้างประชาการต้นแบบขึ้นมาเพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการขั้นตอนนี้จะเป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการ โดยประชากรกลุ่มแรก หรือประชากรต้นกำเนิด จะเกิดจากการสุ่มเลือกขึ้นมาจาก กลุ่มของประชากรทั้งหมดที่มีอยู่ โดยในการสุ่มเลือกจะทำการสุ่มตามจำนวนของประชากรที่ได้กำหนดไว้เป็นพารามิเตอร์ของวิธีการดังรูปที่ 2.15



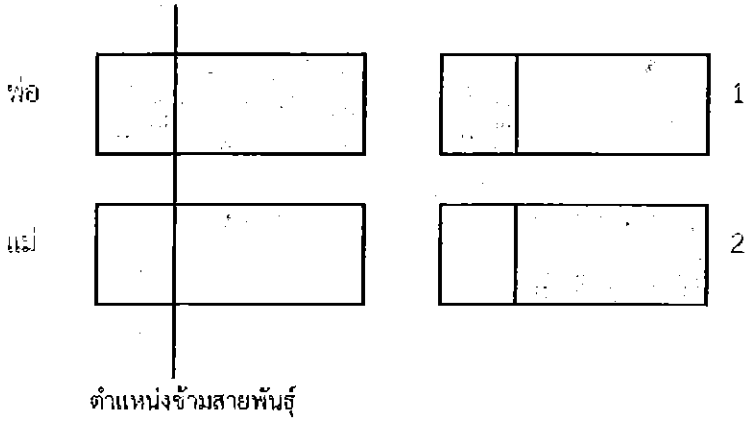

รูปที่ 2.15 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 4 โครโมโซม
ที่มา : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

2.5.1.3 สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function) คือ วิธีการสำหรับประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนแต่ละทางเลือกของคำตอบต่างๆ อย่างเหมาะสม โครโมโซมทุกตัวจะมีค่าความเหมาะสมของตังเองเพื่อใช้สำหรับพิจารณาว่า โครโมโซมตัวนั้น เหมาะสมหรือไม่ ที่จะนำมาใช้ในการสืบทอดพันธุกรรมสำหรับสร้างโครโมโซมรุ่นใหม่ โดยวิธีการสำหรับคิดค่าความเหมาะสมนั้น จะใช้สมการที่สอดคล้องกับแต่ละปัญหา

2.5.1.4 ตัวดำเนินการทางพันธุกรรม (Genetic Operator) คือ ตัวดำเนินการต่างๆ เพื่อให้เกิดกาถ่ายทอดจากประชากรรุ่นหนึ่งไปสู่อีกรุ่นหนึ่งไม่ว่าจะเป็น การคัดเลือกสายพันธุ์ (Selection) การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation)

ก. การคัดเลือก (Selection) เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตนั้น โดยคัดเลือกมาเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ หรือที่เรียกว่า Parent ในการสืบสายพันธ์ ทำให้เกิดปัญหาว่าจะทำอย่างไรให้เกิดจากคัดเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจเพื่อที่จะเกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิตตามทฤษฎีของ Charles Darwin จึงทำให้เกิดรูปแบบมากมายในการเลือกโครโมโซมที่น่าพอใจที่สุดเพื่อนำไปสืบสายพันธุ์ทำให้เกิดรูปแบบการคัดเลือกมากมายเพื่อให้เกิดผลลัพธ์น่าพอใจที่สุด เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อรูเลต (Roulette Wheel) การคัดเลือกแบบจัดอับดับ (Ranking) การคัดเลือกแบบการแข่งขัน (Tournament) การคัดเลือกแบบกลยุทธ์การคัดสรร (Elitist Strategy) การคัดเลือกแบบลำดับคงที่ Steady-state และอื่นๆ มากมายหลายวิธีเพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดี

ข. การข้ามสายพันธุ์ (Crossover) เป็นกระบวนการที่สำคัญของวิธีการเชิงพันธุกรรมเมื่อเกิดการข้ามสายพันธุ์ขึ้นในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลาย ซึ่งการข้ามสายพันธุ์จะต้องอาศัยวิวัฒนาการเป็นเวลานาน จึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุด และขั้นตอนในการข้ามสายพันธุ์ คือ นำโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่มาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมา จากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ สุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ และทำการคัดลอกยีนที่อยู่หน้าตำแน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อและคัดลอกยีนหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้นทำการคัดลอกยีนที่อยู่หน้าตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของแม่ และคัดลอกหลังตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมาดังรูปที่ 2.16




รูปที่ 2.16 แสดงการข้ามสายพันธุ์
ที่มา : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

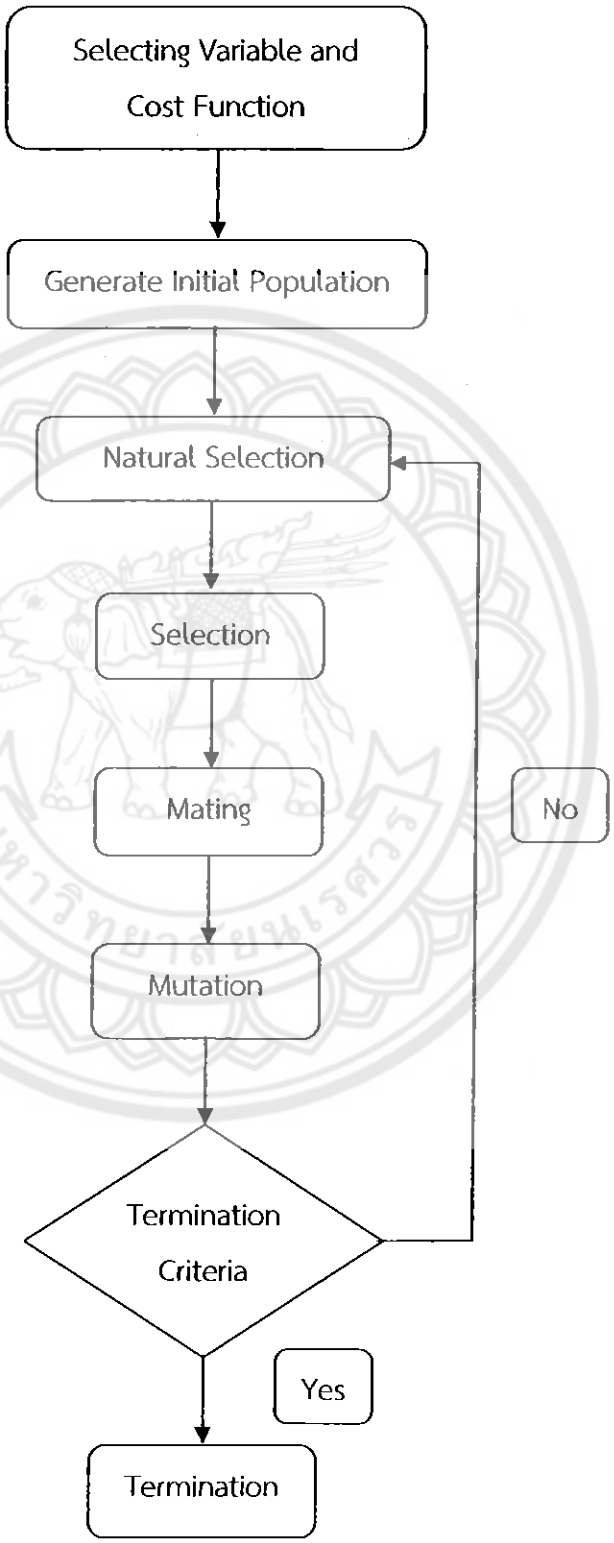
ค. การกลายพันธุ์ (Mutation) เกิดขึ้นหลังจากการข้ามสายพันธุ์เสร็จสิ้นจะทำการสุ่มประชากรเปลี่ยนแปลงผลที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์หมายความว่า รุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้วจึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ต่อไป ซึ่งการกลายพันธุ์ทางพันธุศาสตร์จะทำให้ได้ลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้น ขั้นตอนในการกลายพันธุ์เมื่อได้ตำแหน่งของการกลายพันธุ์แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้น ในตัวอย่างต่อไปนี้จะดำเนินการกลายพันธุ์กับรูปแบบโครโมโซมแบบไบนารีโดยจะสุ่มเลือกยีนเพียงเล็กน้อย จะมีการเปลี่ยนแปลงค่าจาก 1 เป็น 0 หรือจาก 0 เป็น 1 ภายใต้เงื่อนไขของการกลายพันธุ์และการออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ ดังรูปที่ 2.17

รูปที่ 2.17 แสดงการกลายพันธุ์ของโครโมโซม
ที่มา : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

2.5.1.5 พารามิเตอร์ (Parameter) เป็นวิธีการที่ใช้ในการสร้างจำนวนโครโมโซมรุ่นถัดไป ถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากจะทำให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลได้ช้าลง เช่น ขนาดของประชากร (Population Size) ความน่าจะเป็นของการข้ามสายพันธุ์ (Probability Crossover) ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 95 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ (Probability Mutation) ส่วนใหญ่มีค่าอยู่ที่ร้อยละ 0 ถึง ร้อยละ 1 และจำนวนโครโมโซมที่ใช้ในการสร้างรุ่นถัดไป ถ้ากำหนดให้จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่นมากก็จะทำให้คอมพิวเตอร์ประมวลผลได้ช้าลง

**2.5.2 ขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม**

ขั้นตอนการทำงานค้นหาคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมอย่างง่ายดังรูปที่ 2.18




**รูปที่ 2.18** แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

ที่มา : สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า (2551)

**2.5.2.1 รายละเอียดของการทำงานในแต่ละขั้นมีดังต่อไปนี้**

ก. การกำหนดค่าตัวแปร (Selection Variable and Cost Function) กำหนดในโจทย์ที่ต้องการค่าสูงสุดนั้น มีปัจจัยอะไรที่มีผลต่อค่าใช้จ่ายบ้าง และทำการสร้างฟังก์ชัน สำหรับคำนวณค่าใช้จ่ายขึ้นมาเพื่อใช้ในขั้นต่อไป

ข. สร้างประชากรต้นกำเนิด (Generate Initial Population) ทำการสร้างประชากรชุดแรก เท่ากับจำนวนประชากรสูงสุดที่กำหนดไว้ ซึ่งอาจสร้างขึ้นมาโดยการสุ่ม หรือกำหนดขึ้นเอง

ค. การคัดเลือกทางธรรมชาติ (Natural Selection) เป็นการคัดเลือกโครโมโซม ที่มีค่าใช้จ่ายมากที่สุดออกตามอัตราส่วนที่กำหนดไว้ ทำให้เหลือโครโมโซม อยู่จำนวนหนึ่งสำหรับทำการเลือกคู่

ง. การคัดเลือก (Selection) ทำการจับคู่โครโมโซมที่เหลือเพื่อทำการเลือกคู่ โดยใช้วิธีการจับคู่ที่กำหนดขึ้น ซึ่งวิธีการเลือกคู่โครโมโซมขึ้นมา ทำการเลือกคู่มีหลายวิธี ดังต่อไปนี้

ง.1 จับคู่โครโมโซม ที่อยู่ติดกันจากบนลงล่าง

ง.2 จับคู่โดยการสุ่ม โดยความน่าจะเป็นที่โครโมโซม แต่ละตัวจะถูกสุ่มขึ้นมานั้นมีเท่ากัน

ง.3 จับคู่โดยการสุ่มแบบถ่วงน้ำหนัก วิธีนี้ความน่าจะเป็นที่โครโมโซม แต่ละตัวจะถูกสุ่มขึ้นมานั้นมีไม่เท่ากัน โดยวิธีการถ่วงน้ำหนักมี 2 วิธี คือ

ง.3.1 วิธีถ่วงน้ำหนักโดยดูจากอันดับ วิธีนี้จะคิดความน่าจะเป็นที่โครโมโซมแต่ละตัวจะถูกสุ่มขึ้นมาตามลำดับที่เรียงจากโครโมโซมที่มีต้นทุนน้อยที่สุด ไปยังโครโมโซมที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด โดยคำนวณความน่าจะเป็นของโครโมโซมแต่ละตัวจากสมการที่ 2.10

$$p_n = \frac{N_{keep} - n + 1}{\sum_{n=1}^{N_{keep}} n} \qquad (2.10)$$

$N_{keep}$ คือ จำนวนโครโมโซมที่เหลือจากขั้นการคัดเลือกทางธรรมชาติ

$n$ คือ ลำดับของโครโมโซม

ง.3.2 วิธีถ่วงน้ำหนักโดยดูจากค่าใช้จ่ายของโครโมโซม วิธีนี้จะคำนวณความน่าจะเป็นที่โครโมโซมแต่ละตัวจะถูกสุ่มขึ้นมา จากค่าใช้จ่ายของโครโมโซมตัวนั้นๆ โดยค่าใช้จ่ายที่นำมาคำนวณนั้น ต้องทำกลับให้เป็นปกติก่อน (Normalize) ด้วยสมการที่ 2.11

$$C_n = c_n - c_{N_{keep+1}} \tag{2.11}$$

$c_n$ คือ ค่าใช้จ่ายของ โครโมโซม ตัวที่ $n$

$c_{n_{keep+1}}$ คือ ค่าใช้จ่ายของโครโมโซมที่มี ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ถูกคัดออกจากขั้นตอนการคัดเลือกทางธรรมชาติ

จากนั้น คำนวณความน่าจะเป็นของโครโมโซมแต่ละตัวด้วยสมการ

$$P_n = \left| \frac{C_n}{\sum_m^{N_{keep}} C_m} \right| \tag{2.13}$$

$c_n$ คือ ค่าใช้จ่ายของโครโมโซม ตัวที่ $n$ ที่ผ่านการทำหลับให้เป็นปกติแล้ว

$c_m$ คือ ค่าใช้จ่ายของโครโมโซม ตัวที่ $m$ ที่ผ่านการทำหลับให้เป็นปกติแล้ว

ง.4 การเลือกแบบการแข่งขัน วิธีนี้จะทำการสุ่มโครโมโซม ขึ้นมาจำนวนหนึ่ง 2 ถึง 3 โครโมโซมก่อนแล้วจึงเลือกโครโมโซม ที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในกลุ่มออกมา

จ. การจับคู่ (Mating) เป็นการนำโครโมโซมคู่ที่ได้เลือกไว้จากขั้นคัดเลือกมาสร้างเป็นโครโมโซมใหม่โดยการข้ามสายพันธุ์ระหว่างโครโมโซมทั้งสอง ซึ่งวิธีการในการข้ามสายพันธุ์ มีหลายวิธีดังต่อไปนี้

จ.1 การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover) ทำการสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาหนึ่งตำแหน่ง แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ติดต่อจากตำแหน่ง การข้ามสายพันธุ์เพื่อสร้างเป็นโครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม

จ.2 การข้ามสายพันธุ์แบบหลายจุด (Multi Point Crossover) ทำการสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาจำนวนหนึ่งเรียงลำดับจากน้อยไปหามาก แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีน ที่อยู่ระหว่างตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ที่อยู่ติดกันเพื่อสร้างเป็นโครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม

ฉ. การกลายพันธุ์ (Mutation) ทำการเปลี่ยนแปลงยีนโดยการสุ่มตำแหน่งของยีนที่จะเปลี่ยนแปลงขึ้นมาตามอัตราส่วนการเกิดการกลายพันธุ์ ที่กำหนดไว้โดยการเปลี่ยนแปลงคือการเปลี่ยนค่าของ บิต จาก 0 เป็น 1 หรือ จาก 1 เป็น 0 ในกรณีที่เป็นแบบการใส่อักษร (Bit string) โดยจะยกเว้นไม่ให้เกิดการเปลี่ยนแปลงกับโครโมโซมที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดในขณะนั้น และจะไม่มีการกลายพันธุ์ในการทำงานรอบสุดท้าย

ช. ผลที่ได้เป็นไปตามเกณฑ์หรือไม่ วิธีการเชิงพันธุกรรมจะทำงานแบบทำซ้ำ (Iterative) นับประชากรในแต่ละครั้งของการวนซ้ำ (Iteration) เป็นรุ่น (Generation) ซึ่งจะหยุด

ทำงานเมื่อคำตอบที่ได้มีค่าใช้จ่ายในระดับที่ต้องการ ค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดในแต่ละรุ่นมีค่าเท่ากัน หรือทำงานครบตามจำนวนรอบที่กำหนดไว้

ช. จบการทำงาน เลือกโครโมโซมที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดเป็นคำตอบของปัญหา

## 2.6 โปรแกรม Visual Basic for Application (VBA)

Visual Basic for Application เป็นเครื่องมือพัฒนาการระบบงานใน Microsoft Excel ให้ทำงานอัตโนมัติ โดยสามารถควบคุม Microsoft Excel ให้ทำงานได้ตามต้องการ นอกจากนั้นผู้ใช้โปรแกรมสามารถสร้างโปรกแกรมต่างๆ เพิ่มเติมบน Microsoft Excel, Microsoft Word, Power Point โดยจุดเด่นของ Microsoft Excel ได้แก่ ด้านการวิเคราะห์ข้อมูล การคำนวณที่ซับซ้อน ทำให้การเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application สามารถดึงเครื่องมือต่างๆ ที่มีอยู่ใน Microsoft Excel มาใช้งานได้เลย เช่น ฟังก์ชั่นสำเร็จรูปต่างๆ Statistical Functions, Financial Functions หรือ Mathematical Functions ทำให้สามารถสร้างหรือพัฒนาโปรแกรมบน Microsoft Excel ได้ง่ายและรวดเร็ว ซึ่งการเขียนโปรแกรมก็สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกัน

# บทที่ 3
# วิธีการดำเนินโครงงาน

## 3.1 ศึกษาและค้นคว้าเกี่ยวกับทฤษฎีที่เกี่ยวข้องของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

3.1.1 ศึกษาลักษณะทั่วไปของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ตามที่ได้อธิบายไว้ในบทที่ 2 หัวข้อ 2.1

3.1.2 ศึกษาการกำหนดตัวแปรและฟังก์ชั่นต่างๆ ของปัญหา

3.1.3 ศึกษาวิธีการดำเนินงานเพื่อหาคำตอบ

## 3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

วิธีการเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์ ซึ่งเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ โดยเมตาฮิวริสติกมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย เช่น วิธีการเรียนแบบการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีค้นหาแบบต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบหรือเมติกอัลกอริทึม (Memetic Algorithm) วิธีการพัฒนาการหาคำตอบด้วยวิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) ซึ่งวิธีที่คณะผู้จัดทำสนใจที่จะนำมาใช้ในการแก้ไขปัญหาคือ วิธีการเชิงพันธุกรรม

## 3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

3.3.1 องค์ประกอบต่างๆ ในวิธีการเชิงพันธุกรรม

3.3.2 รูปแบบของโครโมโซม

3.3.3 ขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาคำตอบ

## 3.4 ศึกษาการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA)

ศึกษาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการเขียนโปรแกรม VBA บน Microsoft Excel ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ทำให้การทำงานบน Microsoft Excel มีประสิทธิภาพ สะดวกและรวดเร็วยิ่งขึ้น

## 3.5 พัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ใช้กับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง

ออกแบบและประยุกต์ใช้ในวิธีการเชิงพันธุกรรมปัญหาความเปลี่ยนแปลงเวลาตอบสนอง

### 3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์

นำวิธีการเชิงพันธุกรรมที่พัฒนาขึ้น มาเขียนลงบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้โปรแกรม VBA เขียนลงบน Microsoft Excel และตรวจสอบความถูกต้อง

### 3.7 นำโปรแกรมที่ได้ไปทดสอบหาค่าคำตอบของปัญหา

นำโปรแกรมที่เขียนได้จากโปรแกรม VBA ไปทดสอบหาค่าคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยมีการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง

### 3.8 สรุปผลและนำเสนอผลงาน

นำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์ มาวิเคราะห์ และพิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบว่าเหมาะสม ถูกต้องหรือไม่ แล้วสรุปผล จัดทำรายงานนำเสนอต่อคณะกรรมการ

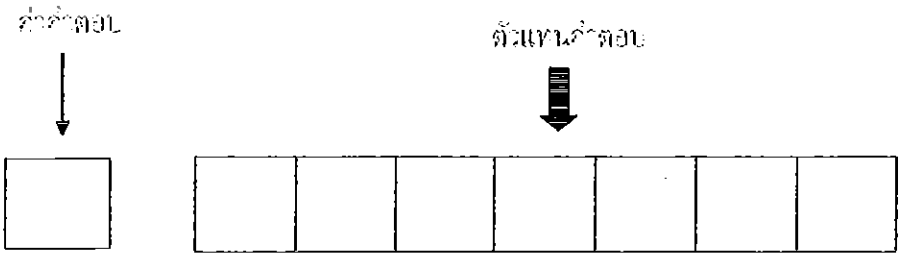
# บทที่ 4
# ผลการดำเนินโครงงาน

**ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินโครงงานการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนองโดยวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งประกอบไปด้วย 4 ส่วนหลักๆ ในส่วนแรกจะกล่าวถึงการสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบของปัญหา ส่วนที่สองจะกล่าวถึงการพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรม เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ส่วนที่สามจะกล่าวถึงกระบวนการทางพันธุกรรม ซึ่งในส่วนนี้จะกล่าวถึงกระบวนการทางพันธุกรรมแบบการข้ามสายพันธุ์ (Crossover) และแบบการกลายพันธุ์ (Mutation) เพื่อให้ผู้ใช้เข้าใจวิธีการทำงานของกระบวนการทางพันธุกรรมทั้ง 2 แบบ ส่วนที่สี่** จะกล่าวถึงลักษณะของปัญหาในการทดลองซึ่งแบ่งออกเป็นปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ โดยมีผลการทดลองและรายละเอียดในส่วนต่างๆ ดังต่อไปนี้

## 4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ

### 4.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ

วิธีการเชิงพันธุกรรมจำเป็นจะต้องสร้างตัวแทนคำตอบ โดยตัวแทนคำตอบที่สร้างขึ้นในโครงงานเล่มนี้จะถูกเรียกว่า “โครโมโซม” และสร้างเป็นช่องๆ โดยแต่ละช่องจะเรียกว่า “ยีน” จำนวนยีนในแต่ละโครโมโซมจะมีจำนวนเท่ากับผลรวมของการทำซ้ำทุกกิจกรรม (D) (D คือ ผลรวมของการทำซ้ำทุกกิจกรรม) ซึ่งการสร้างตัวแทนคำตอบในโครงงานเล่มนี้ได้แรงบันดาลใจมาจากการเรียงลำดับของตัวเลขจากน้อยไปมาก โดยจะเรียงลำดับตามจำนวนกิจกรรมที่ผู้ใช้กรอก (n) (n คือชนิดหรือกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ) และจะมีตำแหน่งของค่าคำตอบที่แสดงผลรวมของระยะห่างของกิจกรรมอยู่ด้านซ้ายมือของตัวแทนคำตอบดังรูปที่ 4.1




**รูปที่ 4.1** แสดงตัวแทนคำตอบ

ตัวอย่างที่ 1 กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมที่ต้องจัดลำดับ 3 กิจกรรม ได้แก่ กิจกรรม 1, 2 และ 3 โดยกำหนดให้จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม 1, 2 และ 3 คือ 3, 2 และ 2 ตามลำดับ และผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรมเท่ากับ 7 ตามลำดับ โดยจะแสดงขั้นตอนการสร้างตัวแทนคำตอบตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.1.1.1 ขั้นตอนที่ 1 จะทำการเรียงลำดับจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมตามลำดับจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้าย และมีจำนวนยีนเท่ากับผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรมดังรูป 4.2

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |

**รูปที่ 4.2** แสดงการเรียงลำดับของกิจกรรมจากค่าน้อยไปยังค่ามาก

4.1.1.2 ขั้นตอนที่ 2 จะทำการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุดโดยให้มีจำนวนยีนเท่ากับผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรมและที่ตัวเลขในชุดนั้นจะมีค่าอยู่ระหว่าง 0-1 ดังรูปที่ 4.3

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.864 | 0.599 | 0.314 | 0.621 | 0.121 | 0.410 | 0.220 |

**รูปที่ 4.3** แสดงตัวเลขที่ได้จากการสุ่มค่าระหว่าง 0–1

จากนั้นทำการเรียงค่าชุดตัวเลขที่สุ่มได้ที่มีค่าระหว่าง 0-1 จากตัวเลขที่มีค่าน้อยไปยังตัวเลขที่มีค่ามากดังรูปที่ 4.4

| | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.121 | 0.220 | 0.341 | 0.410 | 0.599 | 0.621 | 0.864 |

**รูปที่ 4.4** แสดงการเรียงตัวเลขที่สุ่มได้จากค่าน้อยไปยังค่ามาก

4.1.1.3 ขั้นตอนที่ 3 จะนำจำนวนกิจกรรมที่เรียงค่าจากค่าน้อยไปยังค่ามากมาเทียบค่ากับชุดตัวเลขที่สุ่มค่าขึ้นมามีค่าระหว่าง 0-1 และได้เรียงค่าจากค่าน้อยไปยังค่ามากเช่นกันดังรูปที่ 4.5

| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.121 | 0.220 | 0.341 | 0.410 | 0.599 | 0.621 | 0.864 |

**รูปที่ 4.5** แสดงการเทียบค่าระหว่างจำนวนกิจกรรมกับชุดตัวเลขสุ่ม

4.1.1.4 ขั้นตอนที่ 4 จะทำการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้ายกับชุดตัวเลขสุ่มที่ได้ในขั้นตอนที่สองดังรูปที่ 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 และรูปที่ 4.12 ตามลำดับ

| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.121 | 0.220 | 0.341 | 0.410 | 0.599 | 0.621 | 0.864 |
| 0.864 | 0.599 | 0.314 | 0.621 | 0.121 | 0.410 | 0.220 |
| | | | | 1 | | |

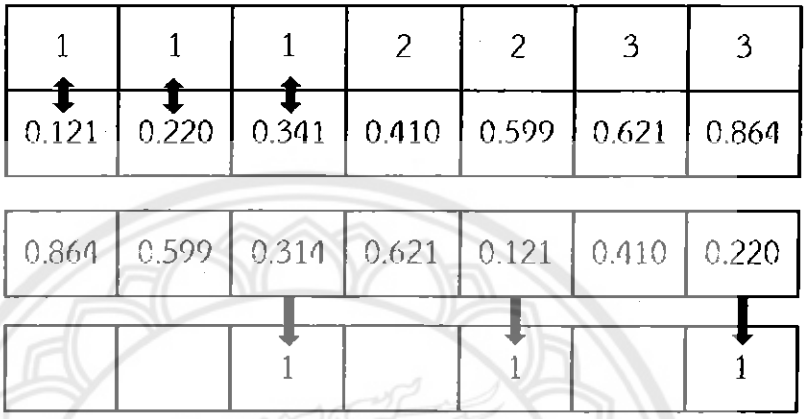
**รูปที่ 4.6** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.6 สามารถอธิบายได้ว่า กิจกรรมที่ 1 ในตำแหน่งที่ 1 ของจำนวนกิจกรรมมีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 1 คือค่า 0.121 ซึ่งค่า 0.121 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 5 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 1 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 5 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2

| 1 | 1 | 1 | 2 | 2 | 3 | 3 |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 0.121 | 0.220 | 0.341 | 0.410 | 0.599 | 0.621 | 0.864 |
| 0.864 | 0.599 | 0.314 | 0.621 | 0.121 | 0.410 | 0.220 |
| | | | | 1 | | 1 |

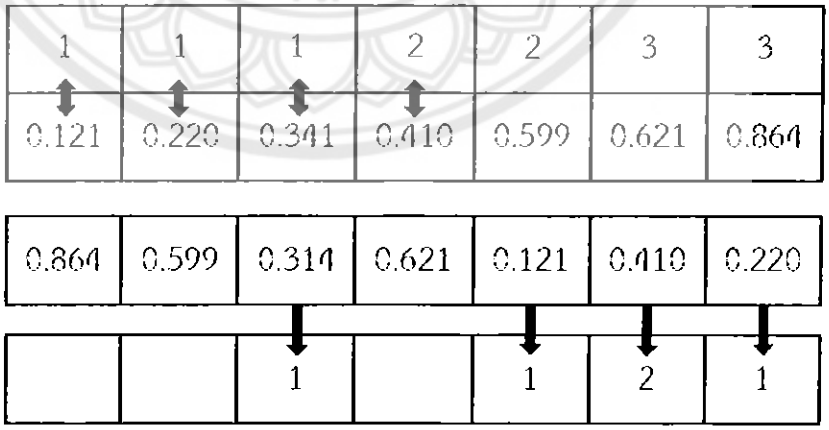
**รูปที่ 4.7** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.7 กิจกรรมที่ 1 ในตำแหน่งที่ 2 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 2 คือค่า 0.220 ซึ่งค่า 0.220 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 7 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 1 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 7 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2



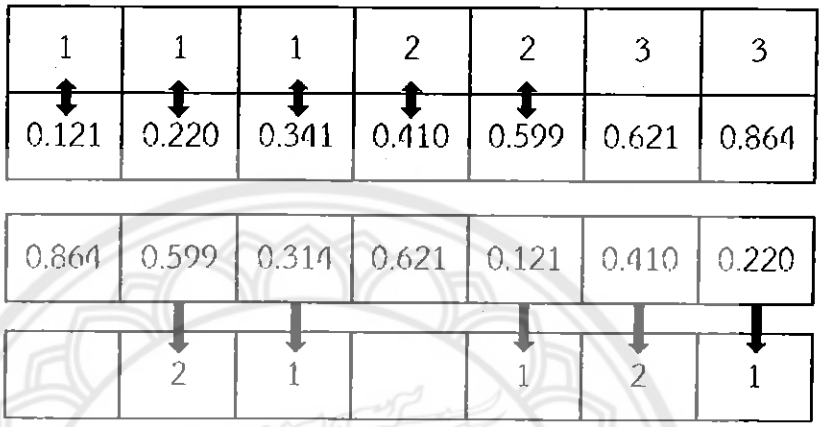

รูปที่ 4.8 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 1 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.8 กิจกรรมที่ 1 ในตำแหน่งที่ 3 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 3 คือค่า 0.341 ซึ่งค่า 0.341 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 3 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 1 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 3 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2



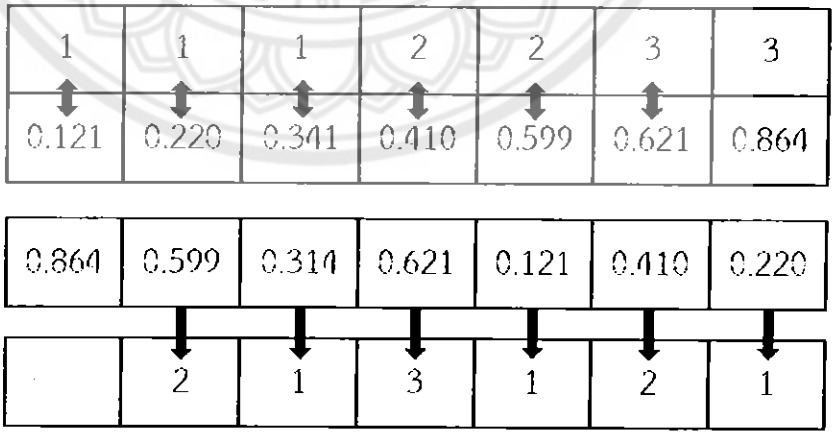

รูปที่ 4.9 แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 2 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.9 กิจกรรมที่ 2 ในตำแหน่งที่ 4 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 4 คือค่า 0.410 ซึ่งค่า 0.410 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 6 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 2 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 6 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2



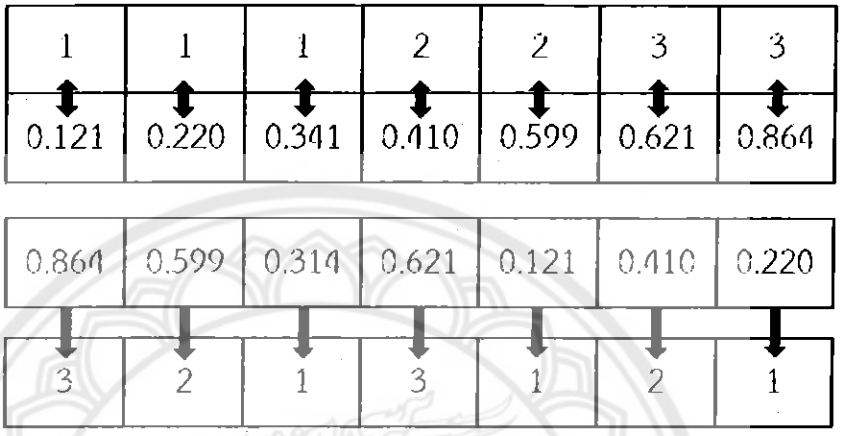

**รูปที่ 4.10** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 2 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.10 กิจกรรมที่ 2 ในตำแหน่งที่ 5 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 5 คือค่า 0.599 ซึ่งค่า 0.599 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 2 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 2 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 2 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2



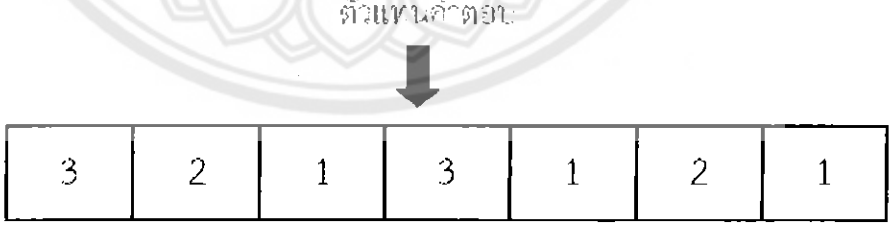

**รูปที่ 4.11** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 3 กับชุดตัวเลขสุ่ม

จากรูปที่ 4.11 กิจกรรมที่ 3 ในตำแหน่งที่ 6 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 6 คือค่า 0.621 ซึ่งค่า 0.621 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 4 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 3 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 4 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2




**รูปที่ 4.12** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมที่ 3 กับชุด**ตัวเลขสุ่ม**

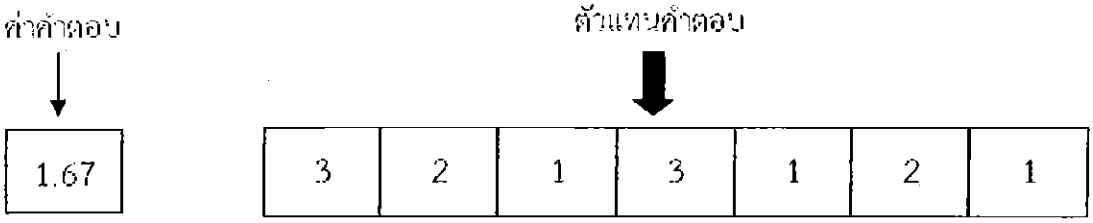
จากรูปที่ 4.12 กิจกรรมที่ 3 ในตำแหน่งที่ 7 ของจำนวนกิจกรรม มีค่าตรงกับค่าในชุดตัวเลขสุ่มที่เรียงลำดับจากน้อยไปมากในตำแหน่งที่ 7 คือค่า 0.864 ซึ่งค่า 0.864 อยู่ตรงตำแหน่งที่ 1 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 จากนั้นให้นำกิจกรรมที่ 3 มาใส่ค่าให้ตรงกับตำแหน่งที่ 1 ของชุดตัวเลขสุ่มที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 เมื่อทำจนครบผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรมก็จะได้ตัวแทนคำตอบจากการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมกับชุดตัวเลขสุ่มดังรูปที่ 4.13




**รูปที่ 4.13** แสดงการเทียบตำแหน่งระหว่างจำนวนกิจกรรมกับชุดตัวเลขสุ่ม

**4.1.2 การหาค่าคำตอบ**

เมื่อได้ตัวแทนคำตอบแล้วจากนั้นทำการหาค่าคำตอบโดยการคำนวณจากโปรแกรม ค่าคำตอบที่ได้จะเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดดังรูปที่ 4.14




รูปที่ 4.14 ค่าคำตอบที่ได้จากการคำนวณในโปรแกรม

จากรูปที่ 4.14 สามารถคำนวณผลรวมระยะห่างของกิจกรรมได้จากสมการที่ 2.3 ได้ดังนี้ จากตัวอย่างที่ 1 จะได้ผลรวมของการทำซ้ำของกิจกรรม คือ D=7 จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม คือ $d_1 = 3$, $d_2 = 2$, $d_3 = 2$ และระยะห่างที่เหมาะของแต่ละกิจกรรม คือ $\overline{t_1} = 2.3$, $\overline{t_2} = 3.5$, $\overline{t_3} = 3.5$

วิธีทำ จากสมการที่ 2.3 $RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2$

ทำการหาผลรวมเมื่อ $i$ มีการเปลี่ยนแปลง

พิจารณากรณี $i = 1$

$$\sum_{k=1}^{3}\left(t_k^1 - \overline{t_1}\right)^2 = \left(t_1^1 - \overline{t_1}\right)^2 + \left(t_2^1 - \overline{t_1}\right)^2 + \left(t_3^1 - \overline{t_1}\right)^2$$

$$= (2-2.3)^2 + (2-2.3)^2 + (3-2.3) = 0.67$$

พิจารณากรณี $i = 2$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^2 - \overline{t_2}\right)^2 = \left(t_1^2 - \overline{t_2}\right)^2 + \left(t_2^2 - \overline{t_2}\right)^2$$

$$= (4-3.5)^2 + (3-3.5)^2 = 0.5$$

พิจารณากรณี $i = 3$

$$\sum_{k=1}^{2}\left(t_k^3 - \overline{t_3}\right)^2 = \left(t_1^3 - \overline{t_3}\right)^2 + \left(t_2^3 - \overline{t_3}\right)^2$$

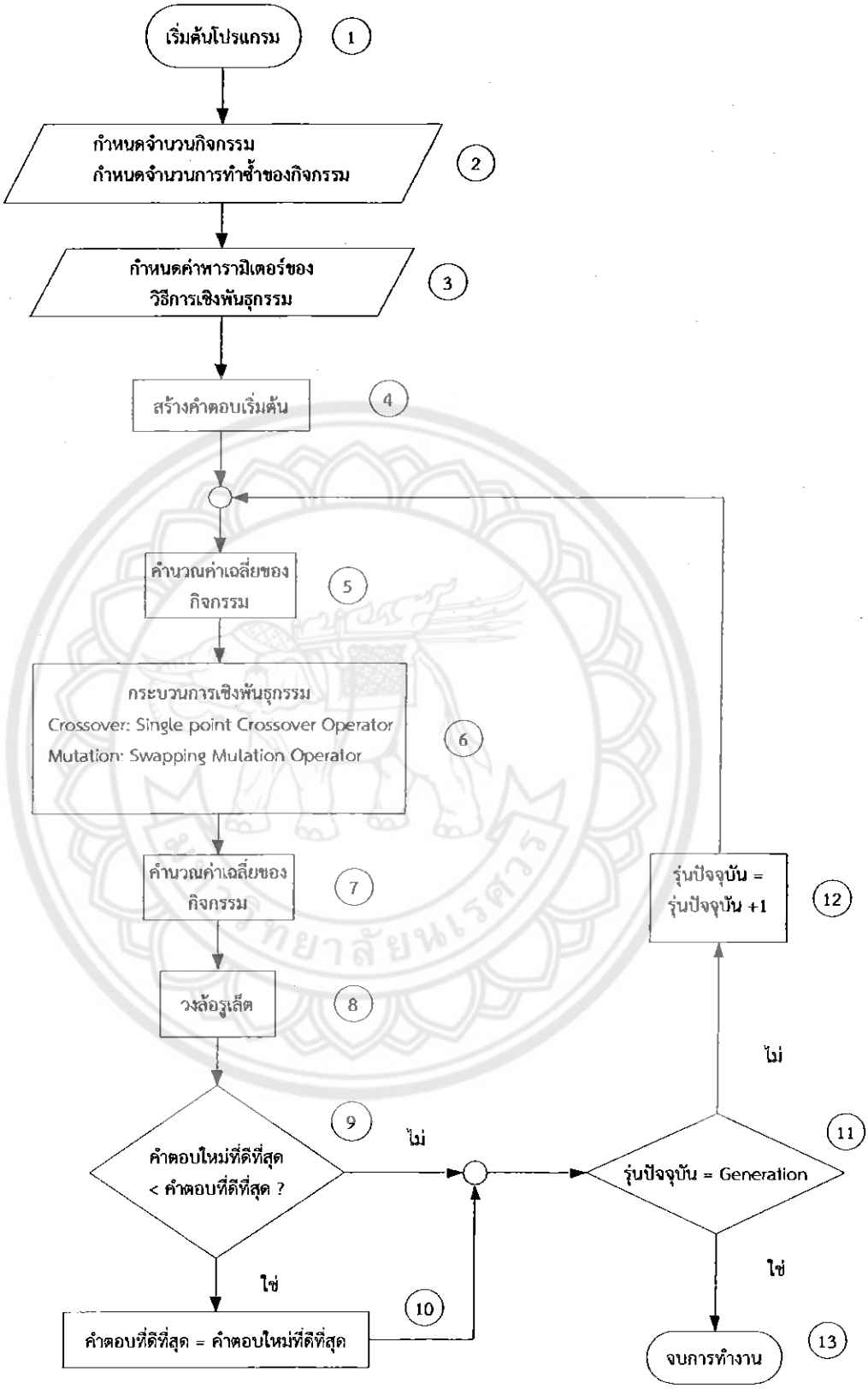
$$= (3-3.5)^2 + (3-3.5)^2 = 0.5$$

$$RTV = \sum_{i=1}^{n}\sum_{k=1}^{d_i}\left(t_k^i - \overline{t_i}\right)^2 = 0.67 + 0.5 + 0.5 = 1.67$$

## 4.2 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

### 4.2.1 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยการหาค่าคำตอบเริ่มต้นจากเรียงลำดับจำนวนกิจกรรมแล้วนำมาเทียบตำแหน่งกับชุดเลขสุ่มระหว่าง 0-1 และประเมินคำตอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยในการทำซ้ำของกิจกรรม ซึ่งมีกระบวนการทางพันธุกรรม 2 วิธี ได้แก่ การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover Operator) และการกลายพันธ์แบบสลับ (Swapping Mutation Operator) ดังรูปที่ 4.15




**รูปที่ 4.15** แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

จากรูปที่ 4.14 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมได้ตามขั้นตอนดังนี้

4.2.1.1 ขั้นตอนที่ 1 การเริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

4.2.1.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าของจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับและกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรม

4.2.1.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนกลุ่มประชากร หรือโครโมโซมแทนคำตอบ จำนวนรุ่น (จำนวนรอบในการวนหาคำตอบ) ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

4.2.1.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นขั้นตอนการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยการเรียงลำดับของกิจกรรมจากน้อยไปมากแล้วนำไปเทียบตำแหน่งกับชุดตัวเลขสุ่มที่มีค่าระหว่าง 0-1 ซึ่งจะให้ได้คำตอบเริ่มต้นเพื่อเอาไปคำนวณในขั้นตอนต่อไป

4.2.1.5 ขั้นตอนที่ 5 เป็นการคำนวณหาค่าเฉลี่ยของกิจกรรมที่ได้จากการสร้างคำตอบเริ่มต้น หรือการประเมินคำตอบ

4.2.1.6 ขั้นตอนที่ 6 เป็นขั้นตอนของการปรับปรุงคำตอบโดยกระบวนการเชิงพันธุกรรม

4.2.1.7 ขั้นตอนที่ 7 เป็นขั้นตอนของการคำนวณค่าเฉลี่ยของกิจกรรมจากการข้ามสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์มาเพื่อมาคัดเลือกในวงล้อรูเลต

4.2.1.8 ขั้นตอนที่ 8 เป็นขั้นตอนของการคัดเลือกประชากรในรุ่นต่อไป โดยจะทำการคัดเลือกจากประชากรเริ่มต้น ประชากรที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์ และประชากรที่ได้จากการกลายพันธุ์มาคัดเลือกในวงล้อรูเลต

4.2.1.9 ขั้นตอนที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดกับคำตอบปัจจุบันว่าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดมีค่าดีกว่าคำตอบปัจจุบันหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบปัจจุบันให้ไปทำในขั้นตอนที่ 10 แต่ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดมีค่ามากกว่าค่าคำตอบปัจจุบันให้ไปทำในขั้นตอนที่ 11

4.2.1.10 ขั้นตอนที่ 10 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดทันที

4.2.1.11 ขั้นตอนที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำขั้นตอนที่ 12 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 13

4.2.1.12 ขั้นตอนที่ 12 เป็นการให้จำนวนรอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบปัจจุบันบวก 1 แล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 5

4.2.1.13 ขั้นตอนที่ 13 การจบโปรแกรม ในการจบโปรแกรมจะต้องมีจำนวนรอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนด

## 4.3 กระบวนการทางพันธุกรรม

### 4.3.1 การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover Operator)

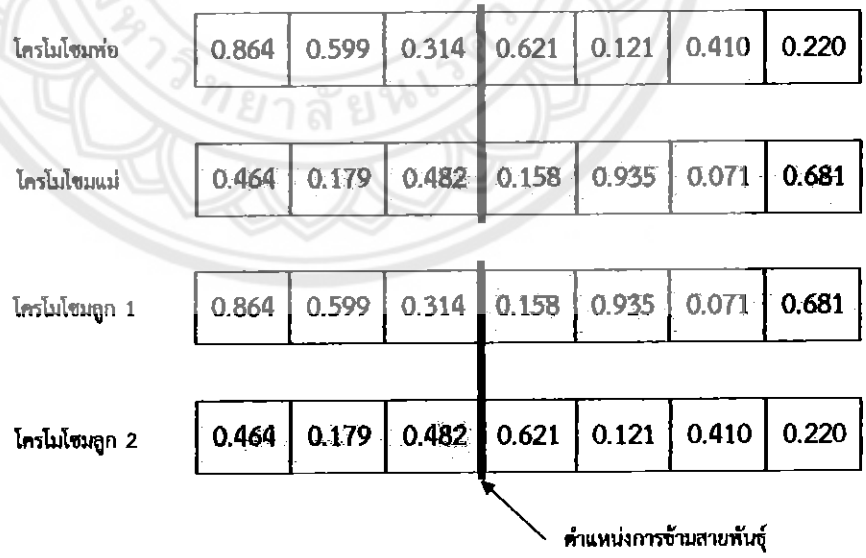
การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover Operator) คือ ทำการสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาหนึ่งตำแหน่ง แล้วทำการแลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ติดต่อจากตำแหน่ง การข้ามสายพันธุ์เพื่อสร้างเป็นโครโมโซมใหม่ขึ้นมา 2 โครโมโซม โดยมีวิธีการตามขั้นตอนดังต่อไปนี้

4.3.1.1 เลือกโครโมโซมของชุดเลขสุ่มที่ค่าระหว่าง 0-1 ขึ้นมา 2 โครโมโซม เพื่อใช้เป็นโครโมโซมพ่อ และโครโมโซมแม่ดังรูปที่ 4.16

| | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| โครโมโซมพ่อ | 0.864 | 0.599 | 0.314 | 0.621 | 0.121 | 0.410 | 0.220 |
| โครโมโซมแม่ | 0.464 | 0.179 | 0.482 | 0.158 | 0.935 | 0.071 | 0.681 |

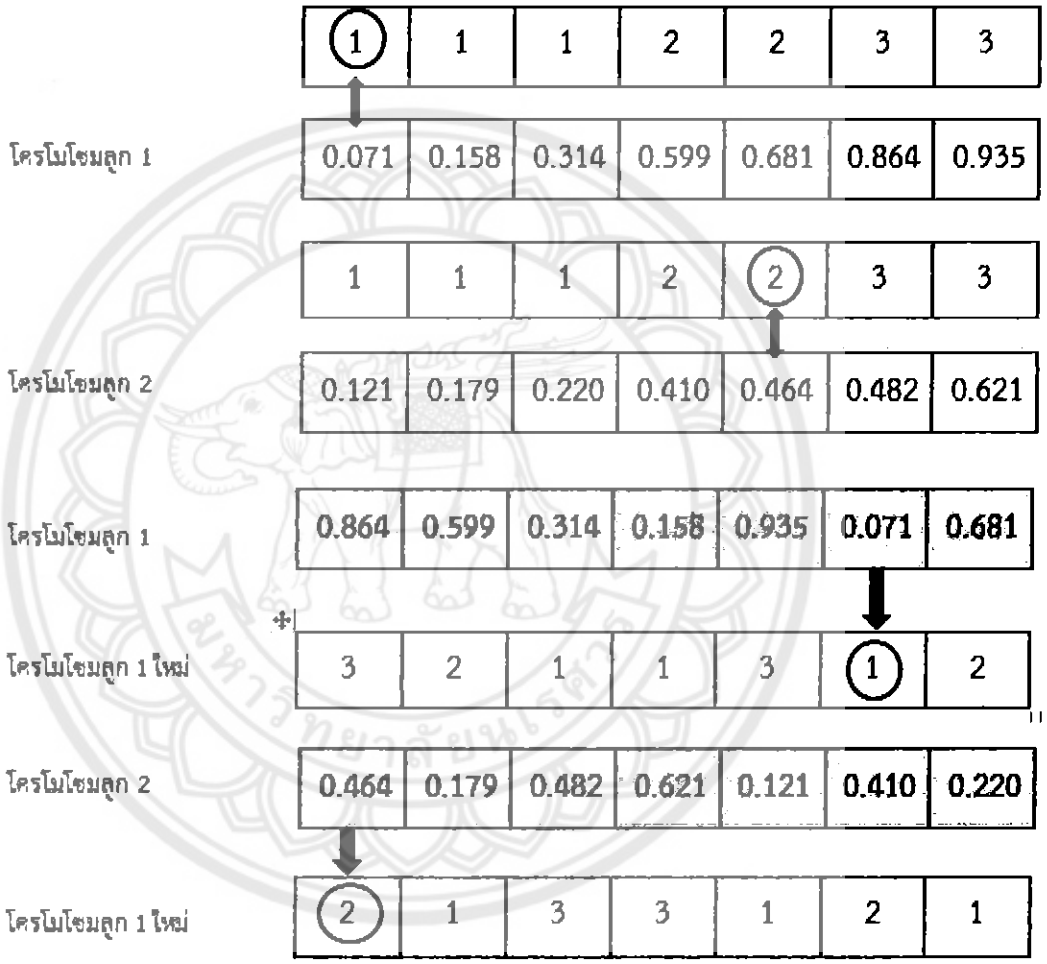
**รูปที่ 4.16** แสดงโครโมโซมพ่อและแม่ของการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว

4.3.1.2 ทำการสุ่มตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ขึ้นมาหนึ่งตำแหน่งแล้วทำการแลกเปลี่ยนยีนที่อยู่ติดต่อจากตำแหน่งการข้ามสายพันธุ์ เพื่อสร้างโครโมโซมลูกขึ้นมา 2 โครโมโซมดังรูปที่ 4.17




**รูปที่ 4.17** แสดงการข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว

4.3.1.3 นำโครโมโซมลูกที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์ทั้ง 2 โครโมโซม มาเรียงค่าจากน้อยไปหามากแล้วนำมาเทียบค่ากับจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้าย จากนั้นนำจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้าย แล้วนำมาเทียบตำแหน่งกับโครโมโซมลูกทั้ง 2 โครโมโซมที่ได้จากการข้ามสายพันธุ์ในขั้นตอน 4.3.1.2 ที่ยังไม่ได้เรียงค่าจากค่าน้อยหาไปค่ามากดังรูปที่ 4.18




**รูปที่ 4.18** แสดงการเทียบค่าระหว่างโครโมโซมลูกกับจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับ

จากรูปที่ 4.18 สามารถอธิบายได้ดังนี้ ในตำแหน่งแรกของจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้าย ตรงกับค่าในตำแหน่งแรกของโครโมโซมลูก 1 ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามาก จากนั้นให้ดูค่าในตำแหน่งแรกของโครโมโซมลูก 1 ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามาก ว่าค่าที่อยู่ในตำแหน่งแรกนั้นตรงกับตำแหน่งใดในโครโมโซมลูก 1 ที่ไม่ได้เรียงลำดับ จากนั้นให้นำค่าของจำนวนกิจกรรมในตำแหน่งแรกมาใส่ในโครโมโซมลูก 1 ใหม่ ให้ตรงกับตำแหน่งที่ค่าของค่าในตำแหน่งแรกของโครโมโซมลูก 1 ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามากอยู่

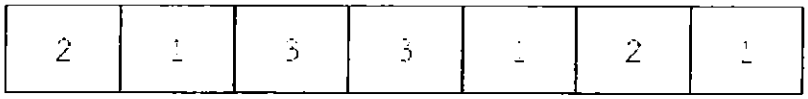
ตัวอย่างเช่นกิจกรรมที่ 1 อยู่ในตำแหน่งแรกของจำนวนกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับจากกิจกรรมแรกไปยังกิจกรรมสุดท้าย มีตำแหน่งตรงกับค่า 0.071 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งแรกของโครโมโซมลูก 1 ที่เรียงลำดับจากค่าน้อยไปหาค่ามาก จากนั้นให้ดูว่าค่า 0.071 ในโครโมโซมลูก 1 อยู่ตรงกับตำแหน่งใดในโครโมโซมลูก 1 ที่ยังไม่ได้เรียงค่า ซึ่งค่า 0.071 ตรงกับตำแหน่งที่ 6 ในโครโมโซมลูก 1 ที่ไม่ได้เรียงค่า จากนั้นให้นำค่าของกิจกรรมที่ 1 มาใส่ตำแหน่งที่ 6 ในโครโมโซมลูก 1 ใหม่ ส่วนการเทียบค่าและตำแหน่งของโครโมโซมลูก 2 ก็มีขั้นตอนเช่นเดียวกับโครโมโซมลูก 1 ดังนั้นจะได้โครโมโซมทั้ง 2 โครโมโซมใหม่ดังรูปที่ 4.19

รูปที่ 4.19 แสดงโครโมโซมใหม่ที่ได้จากการเทียบค่ากับจำนวนกิจกรรม

4.3.2 การกลายพันธ์แบบสลับ (Swapping Mutation Operator)

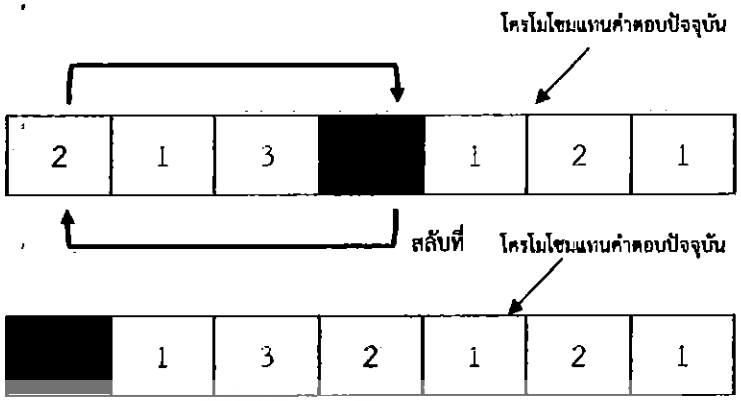
การกลายพันธ์แบบสลับ (Swapping Mutation Operator) คือ การเปลี่ยนแปลงยีนภายในโครโมโซมของแต่ละโครโมโซม โดยที่จำนวนของการสุ่มตำแหน่ง และสลับที่ของโครโมโซมแทนคำตอบจะเท่ากับ 1 บวกกับร้อยละความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ของความยาวโครโมโซม ซึ่งสามารถอธิบายได้ตามขั้นตอนต่อไปนี้

4.3.2.1 เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมา โดยสมมติให้โครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันซึ่งเป็นกิจกรรมที่ต้องการจัดลำดับมีการเรียงกัน คือ 2 - 1 - 3 - 3 - 1 - 2 - 1 ดังรูปที่ 4.20




**รูปที่ 4.20 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน**

4.3.2.2 จากรูปที่ 4.20 มีความยาวของโครโมโซมเท่ากับ 7 และมีความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์เท่ากับ 0.05 จึงทำให้จำนวนการสุ่มเลือกตำแหน่งและการสลับเท่ากับ 1 + (0.05×7) = 1.35 = 1 ครั้ง จากนั้นทำการสุ่มหาตำแหน่งกิจกรรมที่จะนำมาสลับที่กัน สมมติให้สุ่มได้กิจกรรมที่ 2 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ 1 ของโครโมโซม กับกิจกรรมที่ 3 ซึ่งอยู่ในตำแหน่งที่ 4 ของโครโมโซม แล้วนำมาสลับตำแหน่งกัน ดังรูปที่ 4.21




**รูปที่ 4.21** แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

4.3.2.3 ถ้าจำนวนการสลับที่คำนวณได้มากกว่า 1 ให้กลับไป**สุ่มตำแหน่งกิจกรรมที่**ต้องการจัดลำดับอีกครั้ง แล้วสลับที่กันจนครบจำนวนการสลับที่คำนวณได้ **โดยในโครงงานเล่มนี้**ยินยอมการสุ่มเลือกค่าที่จะสลับอาจมีค่าเหมือนกันได้

### 4.3.3 การคัดเลือกสายพันธุ์แบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel Selection)

การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทายจะใช้ความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก **ซึ่งจะถูกกำหนด**โดยอัตราส่วนค่าคำตอบของแต่ละโครโมโซม เทียบกับค่าคำตอบรวมของโคร**โมโซมทั้งหมด และ**นำเอาอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้มาสร้างวงล้อเสี่ยงทาย จากนั้นจะสุ่ม**ค่าร้อยละขึ้นมาเพื่อ**พิจารณาเลือกโครโมโซมจากการเสี่ยงทาย โดยที่ค่าคำตอบยิ่งดีโอกาสในการถูก**เสี่ยงทายก็จะมาก**

### 4.3.4 ค่าพารามิเตอร์

การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ความเกี่ยวเนื่องกับกระบวนการทางพันธุ**กรรมทั้ง** 2 กล่าวมาข้างต้นนี้ก็มีผลกับคำตอบ ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์จึงจำเป็นต่อการ**ดำเนินการต่างๆ ทาง**
**พันธุกรรม โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์สามารถอธิบายได้ ดังนี้**

**4.3.4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์** (Probability Crossover) **คือ ความน่าจะเป็นของการเกิดการข้ามสายพันธุ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง** 0 – 100 **โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นในการเกิดการข้ามสายพันธุ์มีค่าประมาณ ร้อยละ** 60 – **ร้อยละ** 95 **ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบการทดสอบหาค่าความเหมาะสมกับปัญหา ตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ให้มีค่าเท่ากับ ร้อยละ** 90 **จากนั้นสุ่มเลือกตัวเลขเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ สมมุติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่** 1 – 100 **ได้เท่ากับ** 80 **จะเห็นว่าตัวเลขที่ได้น้อยกว่าค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ** 90 **ซึ่งจะยอมให้มีการข้ามสายพันธุ์เกิดขึ้นโดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ** 70 **และร้อยละ** 90

4.3.4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Probability Mutation) ความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ในรุ่นลูก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 – 100 โดยทั่วไปค่าความเหมาะสมของความน่าจะเป็นในการเกิดการกลายพันธุ์มีค่าประมาณร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 1 ของจำนวนตำแหน่งในโครโมโซม เช่น มีจำนวนโครโมโซม 100 ตำแหน่ง และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ร้อยละ 5 หมายความว่าจะมีโครโมโซมถูกเปลี่ยนแปลงค่าไปจากเดิมอยู่ 5 ตำแหน่ง โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

4.3.4.3 ขนาดของประชากรและจำนวนรุ่น (Generation) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดขึ้นมาก่อน เพื่อสร้างกลไกในการสร้างคำตอบให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ หากกำหนดขนาดประชากรในแต่ละรุ่นน้อยจะทำคอมพิวเตอร์ประมวลผลได้รวดเร็ว แต่จะได้คำตอบที่ไม่มีความหลากหลายมากนัก แต่ถ้ามีจำนวนมากเกินไปจะทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมาก ส่งผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานช้าลง

## 4.4 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ

โครงงานเล่มนี้ได้สร้างโจทย์ที่มีจำนวนกิจกรรมเป็นตัวกำหนดขนาดของปัญหาขึ้นมา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์นั้นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งกำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม ปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 30 กิจกรรม โดยในโจทย์ข้อที่หนึ่งจะทำการสุ่มจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมระหว่าง 2-20 กิจกรรม ซึ่งจะกำหนดให้จำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมที่ต่ำที่สุดคือ 2 ครั้ง และจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมที่มากที่สุดคือ 20 ครั้ง ส่วนในโจทย์ข้อที่สองจะกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมมีค่าเท่ากันทุกๆ กิจกรรม ซึ่งได้กำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมไว้ดังนี้ ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 9 ครั้ง ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง แล้วนำมาทำการทดสอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยต่างๆที่มีผลต่อค่าคำตอบ โดยได้กำหนดปัจจัยไว้ ทั้งหมด 3 ปัจจัย ได้แก่ จำนวนประชากรเริ่มต้น/จำนวนรุ่นถัดไป (P/G) ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ (Pc) และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ (Pm) โดยได้แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดต่างๆ ไว้ในรูปที่ 4.22, 4.23, และรูปที่ 4.24 ตามลำดับ และอธิบายความหมายของค่าต่างๆ ในตารางแสดงผลเริ่มจากค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละค่าพารามิเตอร์ (Average) ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละค่าพารามิเตอร์ (Min = Minimization) ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD = Standard Deviation) เวลาเฉลี่ย (Time) และวิเคราะห์ผลการทดลองได้ตามหัวข้อดังต่อไปนี้

### 4.4.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบของปัญหาขนาดต่างๆ

#### 4.4.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลองทั้ง 2 โจทย์ โดยให้มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ทั้ง 2 โจทย์ดังรูปที่ 4.22

| โจทย์เล็ก 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 3332.9 | 3913.3 | 654.7341 | 165.736 |
| 40/20 | 90 | 5 | 3882.9 | 4142.7 | 261.6203 | 163.34 |
| 40/20 | 70 | 10 | 3104.9 | 3854.5 | 432.674 | 165.98 |
| 40/20 | 70 | 5 | 3028.9 | 4342.9 | 839.6368 | 163.396 |
| 20/40 | 90 | 10 | 3416.9 | 4429.3 | 825.2883 | 188.084 |
| 20/40 | 90 | 5 | 4056.9 | 4337.3 | 286.1272 | 186.466 |
| 20/40 | 70 | 10 | 4043.9 | 4162.7 | 165.2429 | 188.874 |
| 20/40 | 70 | 5 | 3892.9 | 4363.3 | 531.3368 | 188.842 |

| โจทย์เล็ก 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 4348 | 4465.2 | 115.9793 | 166.876 |
| 40/20 | 90 | 5 | 4096 | 4540.4 | 433.473 | 185.834 |
| 40/20 | 70 | 10 | 4032 | 4412 | 415.1602 | 166.988 |
| 40/20 | 70 | 5 | 4004 | 4720.8 | 456.7485 | 182.43 |
| 20/40 | 90 | 10 | 4878 | 5071.6 | 143.2159 | 190.632 |
| 20/40 | 90 | 5 | 4286 | 4485.2 | 223.7347 | 152.42 |
| 20/40 | 70 | 10 | 3878 | 4456.4 | 337.2192 | 131.818 |
| 20/40 | 70 | 5 | 4094 | 4694 | 492.997 | 135.46 |

รูปที่ 4.22 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กทั้ง 2 โจทย์

จากรูปที่ 4.22 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กโดยสามารถอธิบายได้ดังนี้ โจทย์ขนาดเล็ก 1 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ 3854.5 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 แต่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 3028.9 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 โจทย์ขนาดเล็ก 2 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ 4412 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 แต่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 3878 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 20/40 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 เมื่อดูจากผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กระหว่างโจทย์ขนาดเล็ก 1 กับโจทย์ขนาดเล็ก 2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดทั้ง 2 โจทย์ มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะอยู่ที่จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10

#### 4.4.1.2 ปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลองทั้ง 2 โจทย์ โดยให้มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ทั้ง 2 โจทย์ดังรูปที่ 4.23

| โจทย์ขนาด 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 28513 | 36360.6 | 4414.075 | 337.12 |
| 40/20 | 90 | 5 | 34177 | 37993 | 3249.123 | 312.442 |
| 40/20 | 70 | 10 | 33443 | 38428.6 | 4080.582 | 313.064 |
| 40/20 | 70 | 5 | 35645 | 37355.8 | 1176.145 | 311.99 |
| 20/40 | 90 | 10 | 34085 | 37272.6 | 2341.99 | 309.576 |
| 20/40 | 90 | 5 | 35923 | 36657 | 809.4146 | 331.01 |
| 20/40 | 70 | 10 | 35539 | 39102.2 | 2295.961 | 331.774 |
| 20/40 | 70 | 5 | 35357 | 37279 | 2198.368 | 330.336 |

| โจทย์ขนาด 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 35744 | 38168.8 | 1373.402 | 351.072 |
| 40/20 | 90 | 5 | 34810 | 39501.6 | 3427.67 | 339.25 |
| 40/20 | 70 | 10 | 37218 | 39172.4 | 1347.138 | 341.258 |
| 40/20 | 70 | 5 | 37518 | 39470.6 | 1104.508 | 340.658 |
| 20/40 | 90 | 10 | 36662 | 39785.2 | 2890.027 | 421.846 |
| 20/40 | 90 | 5 | 36656 | 41346.4 | 4899.641 | 416.046 |
| 20/40 | 70 | 10 | 36580 | 39296 | 1768.954 | 417.376 |
| 20/40 | 70 | 5 | 38238 | 40528.4 | 2684.166 | 418.07 |

รูปที่ 4.23 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางทั้ง 2 โจทย์

จากรูปที่ 4.23 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางอธิบายได้ดังนี้ โจทย์ขนาดกลาง 1 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ 36360.6 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 และค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 28513 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 โจทย์ขนาดกลาง 2 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ 38168.8 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 แต่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 34810 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 เมื่อดูจากผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางระหว่างโจทย์ขนาดกลาง 1 กับโจทย์ขนาดกลาง 2 จะเห็นได้ว่าค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดทั้ง 2 โจทย์ มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10

**4.4.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่**

ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 30 กิจกรรม และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลองทั้ง 2 โจทย์ โดยให้มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของแต่ละกิจกรรมที่แตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ทั้ง 2 โจทย์ ดังรูปที่ 4.24

| โจทย์ใหญ่ 1 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 133085 | 146323.8 | 12402.14 | 703.608 |
| 40/20 | 90 | 5 | 134437 | 144707.8 | 13637.25 | 715.514 |
| 40/20 | 70 | 10 | 130675 | 154059 | 18163.74 | 736.952 |
| 40/20 | 70 | 5 | 142383 | 149535.4 | 6996.396 | 742.246 |
| 20/40 | 90 | 10 | 133085 | 154534.6 | 16748.82 | 755.21 |
| 20/40 | 90 | 5 | 145151 | 149185.4 | 4482.257 | 779.09 |
| 20/40 | 70 | 10 | 143463 | 157043.8 | 11155.8 | 756.066 |
| 20/40 | 70 | 5 | 137169 | 144701 | 6285.856 | 774.712 |

| โจทย์ใหญ่ 2 | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|
| P/G | Pc | Pm | Min | Average | SD | Time |
| 40/20 | 90 | 10 | 163850 | 170257.6 | 3971.112 | 830.874 |
| 40/20 | 90 | 5 | 155618 | 168455.6 | 9208.9 | 841.8384 |
| 40/20 | 70 | 10 | 149098 | 164425.2 | 14914.07 | 833.087 |
| 40/20 | 70 | 5 | 150988 | 167813.2 | 10885.44 | 860.878 |
| 20/40 | 90 | 10 | 160938 | 170656.4 | 5906.83 | 867.814 |
| 20/40 | 90 | 5 | 164154 | 170290.4 | 5690.25 | 868.094 |
| 20/40 | 70 | 10 | 150328 | 165668 | 12875.01 | 869.91 |
| 20/40 | 70 | 5 | 164404 | 169380.4 | 4078.58 | 865.048 |

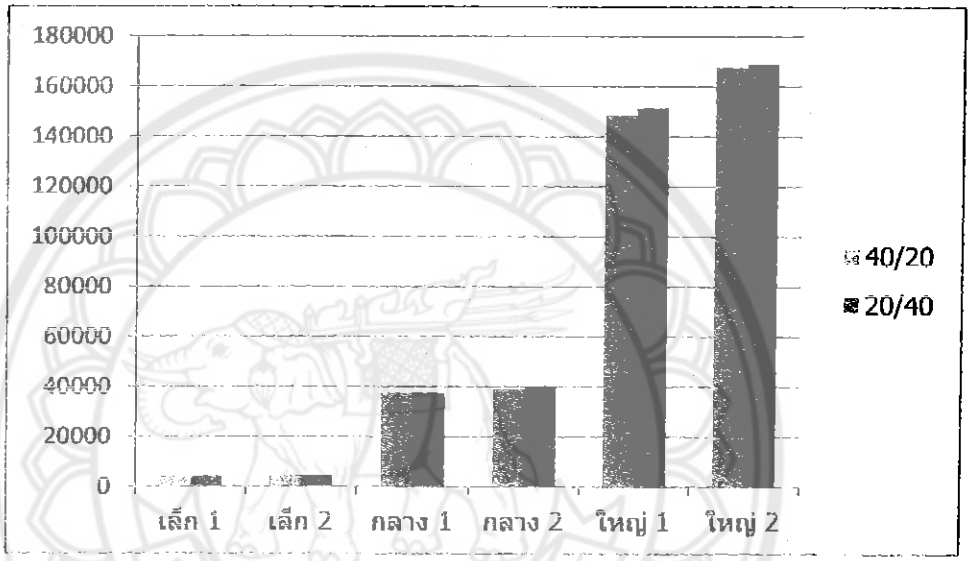
รูปที่ 4.24 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ทั้ง 2 โจทย์

จากรูปที่ 4.24 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางอธิบายได้ดังนี้ โจทย์ขนาดใหญ่ 1 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ 144701 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 20/40 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 แต่ค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 130675 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 โจทย์ขนาดใหญ่ 2 มีค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุดคือ164425.2 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 และค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองคือ 149098 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 เมื่อดูจากผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ระหว่างโจทย์ขนาดใหญ่ 1 กับโจทย์ขนาดใหญ่ 2 จะเห็นได้ว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากการทดลองทั้ง 2 โจทย์ มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะอยู่ที่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 และมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10

### 4.4.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

#### 4.4.2.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของจำนวนประชากรและจำนวนรุ่น

ค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากรและจำนวนรุ่น มีผลต่อค่าคำตอบที่ดีที่สุดของปัญหาซึ่งจะขึ้นอยู่กับการกำหนดค่าพารามิเตอร์ให้มีความเหมาะสมกับปัญหา โดยในโครงงานเล่มนี้จะกำหนดจำนวนประชากรและจำนวนรุ่นไว้ที่ 40/20 และ 20/40 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากรและจำนวนรุ่นระหว่าง 40/20 กับ 20/40 ได้ดังรูปที่ 4.25

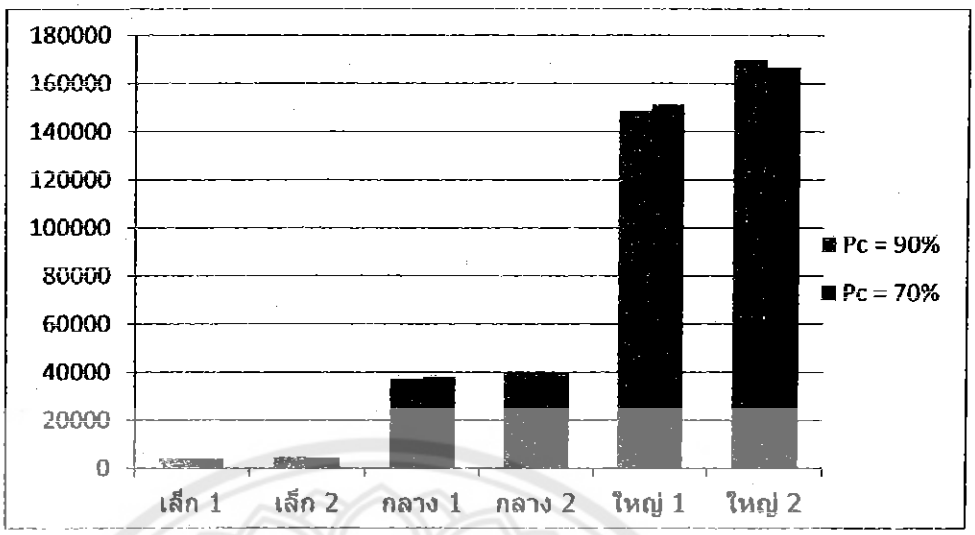



รูปที่ 4.25 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

จากรูปที่ 4.25 เมื่อเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากรและจำนวนรุ่นระหว่างการเซตค่าพารามิเตอร์ไว้ที่ 40/20 กับ 20/40 จากกราฟจะเห็นได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เซตค่าไว้ที่ 40/20 มีผลทำให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด

#### 4.4.2.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคำตอบของปัญหาซึ่งการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหา โดยในโครงงานเล่มได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ 70 กับร้อยละ90 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างร้อยละ 70 กับร้อยละ 90 ได้ดังรูปที่ 4.26

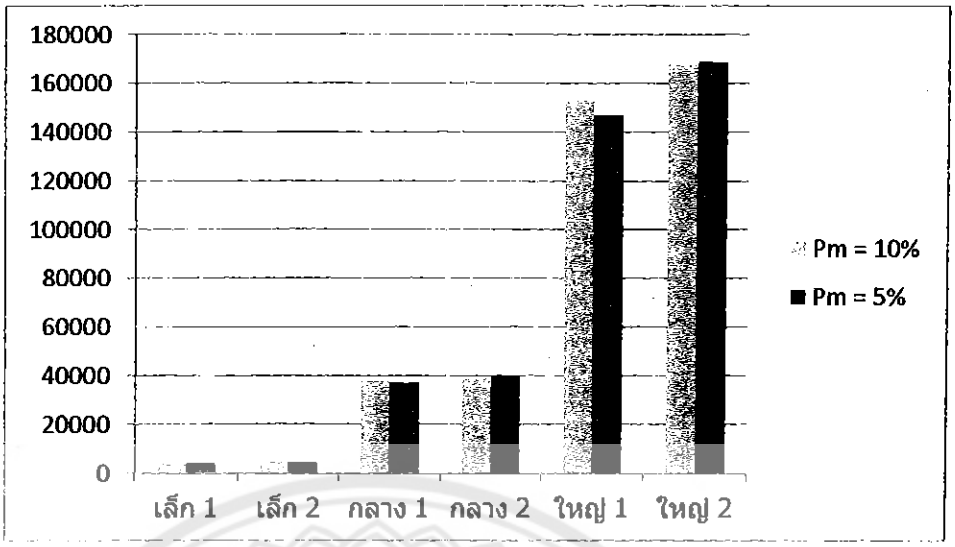



รูปที่ 4.26 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์

จากรูปที่ 4.26 จะเห็นได้ระหว่างค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 กับร้อยละ 90 ให้ค่าคำตอบที่มีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก และเมื่อวิเคราะห์กับปัญหาในแต่ละขนาด จะพบว่าปัญหาขนาดเล็กค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์จะให้ค่าคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน ในปัญหาขนาดกลาง 1 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 ส่วนปัญหาขนาดกลาง 2 มีค่าคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน ปัญหาขนาดใหญ่ 1 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 ส่วนปัญหาขนาดใหญ่ 2 ความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90

4.4.2.3 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์เป็นอีกหนึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อค่าคำตอบของปัญหาซึ่งการกำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ขึ้นอยู่กับความเหมาะสมที่จะนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหา โดยในโครงงานเล่มนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ 5 กับร้อยละ 10 ซึ่งสามารถแสดงผลการเปรียบเทียบค่าพารามิเตอร์ระหว่างร้อยละ 5 กับร้อยละ 10 ได้ดังรูปที่ 4.27




รูปที่ 4.27 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นได้ว่าในปัญหาขนาดเล็กและปัญหาขนาดกลาง ระหว่างความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 กับความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 ให้ค่าคำตอบที่ไม่แตกต่างกัน ปัญหาขนาดใหญ่ 1 ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 ส่วนปัญหาขนาดใหญ่ 2 ระหว่างความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 5 ให้ค่าคำตอบที่ใกล้เคียงกัน

## 4.5 สรุปผลการทดลอง

ผลที่ได้จากการทดลองสามารถสรุปได้โดยดูจากค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งสามารถอธิบายในรูปที่ 4.29 ได้ดังนี้

| โจทย์ | Average | | |
|---|---|---|---|
| | P/G | Pc | Pm |
| เล็ก 1 | 40/20 | 70 | 10 |
| เล็ก 2 | 40/20 | 70 | 10 |
| กลาง 1 | 40/20 | 90 | 10 |
| กลาง 2 | 40/20 | 90 | 10 |
| ใหญ่ 1 | 20/40 | 70 | 5 |
| ใหญ่ 2 | 40/20 | 70 | 10 |

รูปที่ 4.28 แสดงผลค่าพารามิเตอร์ที่ให้คำตอบที่ดีที่สุด

จากรูปที่ 4.28 เมื่อดูค่าเฉลี่ยของคำตอบที่ดีที่สุด ที่ได้จากการทดลองของปัญหาทั้ง 6 ปัญหา จะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่ที่เหมาะสมกับปัญหาคือ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10 ซึ่งในปัญหาทั้ง 6 โจทย์ จะพบค่าพารามิเตอร์เหล่านี้ได้ถึง 3 โจทย์ ได้แก่ ปัญหาขนาดเล็ก 1, ปัญหาขนาดเล็ก 2, และปัญหาขนาดใหญ่ 1 ส่วนปัญหาขนาดกลาง 1 และปัญหาขนาดกลาง 2 มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับปัญหาคือ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 90 ความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10

# บทที่ 5
# บทสรุปและข้อเสนอแนะ

## 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงานการแก้ปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยวิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถสรุปผลการดำเนินโครงงานได้ดังนี้

ในการดำเนินโครงงานผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบและสร้างโปรแกรมที่แก้ปัญหาของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดลำดับงานหรือกิจกรรมให้มีความสม่ำเสมอมากที่สุด เพื่อลดงานที่ค้างในระหว่างการผลิตและลดปริมาณของคงคลัง ซึ่งอยู่ในรูปของผลรวมของระยะห่างระหว่างกิจกรรมให้มีระยะห่างที่น้อยที่สุด ซึ่งได้พัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรมเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง 2 วิธี ได้แก่ การข้ามสายพันธุ์แบบจุดเดียว (Single Point Crossover Operator) และการกลายพันธ์แบบสลับ (Swapping Mutation Operator) ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จากนั้นผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการเขียนโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel

จากการทดลองใช้โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาความเปลี่ยนแปรเวลาตอบสนอง ผลที่ได้จากการรันโปรแกรมจากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้นมาสรุปได้ว่า จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ ค่าความน่าเป็นในการกลายพันธุ์ มีผลต่อการหาคำตอบของโปรแกรมซึ่งถ้ากำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างไว้มากๆ จะส่งผลให้โปรแกรมทำงานได้ช้าลง และจากการทดลองพบว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ตัวอย่างที่ตั้งขึ้นคือ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 40/20 ค่าความน่าจะเป็นในการข้ามสายพันธุ์ที่ร้อยละ 70 ค่าความน่าเป็นในการกลายพันธุ์ที่ร้อยละ 10

## 5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน

5.2.1 ขั้นตอนในการพัฒนาวิธีการเชิงพันธุกรรม ยังมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการเชิงพันธุกรรมน้อย ทำให้ใช้เวลาในการดำเนินงานของส่วนนี้พอสมควร

5.2.2 ขั้นการสร้างโปรแกรมโดยใช้ Visual Basic Application (VBA) ใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมนาน เนื่องจากไม่มีความรู้ในโค้ดพื้นฐานของ VBA มาก่อน จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลอง

## 5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

5.3.1 ขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา และค้นคว้าจากผลงานวิจัยต่างๆ รวบถึงสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากทางอินเตอร์เน็ต

5.3.2 สอบถามจากผู้มีความรู้ในการเขียนโปรแกรม VBA ค้นคว้าจากผลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และศึกษาจากหนังสือที่เขียนเกี่ยวกับ VBA รวบถึงการสืบค้นข้อมูลต่างๆ ทางอินเตอร์เน็ต

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

ในการศึกษาการกำหนดพารามิเตอร์ของวิธีการเชิงพันธุกรรมควรมีการวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อศึกษาถึงความสัมพันธ์ระหว่างพารามิเตอร์ที่มีผลต่อคุณภาพของคำตอบ

# เอกสารอ้างอิง


เจษฎา ศศิบุตร และพงษ์พิพัฒน์ ขันแก้วกล้า. (2553). **การจัดลำดับการเทียบท่าของท่าเรือโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ดุสิต กอปรรักชาติ. (2544).Advanced Excel ฉบับเขียนโปรแกรมด้วย Macro และ VBA. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ Provision.

มาลินี หลวงคลัง และยุภาภัทร อนิลบล. (2554). โปรแกรมช่วยจัดเส้นทางโดยใช้วิธีเจนเนติกอัลกอริทึม. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ผศ. ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย – ญี่ปุ่น)

สิทธิศักดิ์ กันทะหล้า. (2551).วิธีการเชิงพันธุกรรม. ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ มหาวิทยาลัยรังสิต.

Corominas, A., García-villoria, A., Pastor, R (2009). The Response Time Variability Problem: A Review*. Universitat Politècnica de Catalunya, Av. Diagonal, 647, 08028. Barcelona, Spain.

Corominas, A., Kubiak, W., Pastor, R. (2009). Mathematical Programming Modeling of the Response Time Variability Problem. Europran Journal of Operational Research. Doi : 10.1016/j.ejor.2009.01.014.

# ภาคผนวก ก.

โครงงานเล่มนี้ได้สร้างโจทย์ที่มีจำนวนกิจกรรมเป็นตัวกำหนดขนาดของปัญหาขึ้นมา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์นั้นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งกำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 10 กิจกรรม ปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 20 กิจกรรม และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โจทย์ กำหนดให้มีจำนวนกิจกรรมทั้งหมด 30 กิจกรรม โดยในโจทย์ข้อที่หนึ่งจะทำการสุ่มจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมระหว่าง 2-20 ครั้ง โจทย์ข้อที่สองจะกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมมีค่าเท่ากันทุกๆ กิจกรรม ซึ่งได้กำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของกิจกรรมไว้ดังนี้ ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 9 ครั้ง ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนครั้งในการทำซ้ำของทุกๆ กิจกรรม 10 ครั้ง

ปัญหาขนาดเล็ก โจทย์ข้อที่ 1

| Number of Activity | 10 |
|---|---|

| Total Copies | 99 |
|---|---|

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 11 | 9 |
| 2 | 9 | 11 |
| 3 | 3 | 33 |
| 4 | 16 | 6.1875 |
| 5 | 10 | 9.9 |
| 6 | 15 | 6.6 |
| 7 | 12 | 8.25 |
| 8 | 16 | 6.1875 |
| 9 | 2 | 49.5 |
| 10 | 5 | 19.8 |
| | 99 | |

รูปที่ ก.1 ปัญหาขนาดเล็ก 1

ปัญหาขนาดเล็ก โจทย์ข้อที่ 2

| Number of Activity | 10 |
|---|---|

| Total Copies | 100 |
|---|---|

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 10 |
| 2 | 10 | 10 |
| 3 | 10 | 10 |
| 4 | 10 | 10 |
| 5 | 10 | 10 |
| 6 | 10 | 10 |
| 7 | 10 | 10 |
| 8 | 10 | 10 |
| 9 | 10 | 10 |
| 10 | 10 | 10 |
| | 100 | |

รูปที่ ก.2 ปัญหาขนาดเล็ก 2

ปัญหาขนาดกลาง โจทย์ข้อที่ 1

| Number of Activity | 20 |
|---|---|
| Total Copies | 175 |

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 3 | 58.33333333 |
| 2 | 3 | 58.33333333 |
| 3 | 7 | 25 |
| 4 | 4 | 43.75 |
| 5 | 2 | 87.5 |
| 6 | 11 | 15.90909091 |
| 7 | 13 | 13.46153846 |
| 8 | 11 | 15.90909091 |
| 9 | 16 | 10.9375 |
| 10 | 3 | 58.33333333 |
| 11 | 5 | 35 |
| 12 | 14 | 12.5 |
| 13 | 10 | 17.5 |
| 14 | 8 | 21.875 |
| 15 | 4 | 43.75 |
| 16 | 14 | 12.5 |
| 17 | 18 | 9.722222222 |
| 18 | 11 | 15.90909091 |
| 19 | 3 | 58.33333333 |
| 20 | 15 | 11.66666667 |
| | 175 | |

รูปที่ ก.3 ปัญหาขนาดกลาง 1

ปัญหาขนาดกลาง โจทย์ข้อที่ 2

| Number of Activity | 20 |
|---|---|

| Total Copies | 180 |
|---|---|

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 9 | 20 |
| 2 | 9 | 20 |
| 3 | 9 | 20 |
| 4 | 9 | 20 |
| 5 | 9 | 20 |
| 6 | 9 | 20 |
| 7 | 9 | 20 |
| 8 | 9 | 20 |
| 9 | 9 | 20 |
| 10 | 9 | 20 |
| 11 | 9 | 20 |
| 12 | 9 | 20 |
| 13 | 9 | 20 |
| 14 | 9 | 20 |
| 15 | 9 | 20 |
| 16 | 9 | 20 |
| 17 | 9 | 20 |
| 18 | 9 | 20 |
| 19 | 9 | 20 |
| 20 | 9 | 20 |
| | 180 | |

รูปที่ ก.4 ปัญหาขนาดกลาง 2

ปัญหาขนาดใหญ่ โจทย์ข้อที่ 1

| Number of Activity | 30 |
|---|---|

| Total Copies | 280 |
|---|---|

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 11 | 25.45454545 |
| 2 | 10 | 28 |
| 3 | 8 | 35 |
| 4 | 9 | 31.11111111 |
| 5 | 6 | 46.66666667 |
| 6 | 3 | 93.33333333 |
| 7 | 6 | 46.66666667 |
| 8 | 19 | 14.73684211 |
| 9 | 3 | 93.33333333 |
| 10 | 9 | 31.11111111 |
| 11 | 8 | 35 |
| 12 | 10 | 28 |
| 13 | 4 | 70 |
| 14 | 10 | 28 |
| 15 | 6 | 46.66666667 |
| 16 | 13 | 21.53846154 |
| 17 | 11 | 25.45454545 |
| 18 | 4 | 70 |
| 19 | 18 | 15.55555556 |
| 20 | 13 | 21.53846154 |
| 21 | 11 | 25.45454545 |
| 22 | 9 | 31.11111111 |
| 23 | 3 | 93.33333333 |
| 24 | 16 | 17.5 |
| 25 | 10 | 28 |
| 26 | 15 | 18.66666667 |
| 27 | 12 | 23.33333333 |
| 28 | 16 | 17.5 |
| 29 | 2 | 140 |
| 30 | 5 | 56 |
| | 280 | |

รูปที่ ก.5 ปัญหาขนาดใหญ่ 1

ปัญหาขนาดใหญ่ โจทย์ข้อที่ 2

| Number of Activity | 30 |
|---|---|

| Total Copies | 300 |
|---|---|

| No. | Copies | Average |
|---|---|---|
| 1 | 10 | 30 |
| 2 | 10 | 30 |
| 3 | 10 | 30 |
| 4 | 10 | 30 |
| 5 | 10 | 30 |
| 6 | 10 | 30 |
| 7 | 10 | 30 |
| 8 | 10 | 30 |
| 9 | 10 | 30 |
| 10 | 10 | 30 |
| 11 | 10 | 30 |
| 12 | 10 | 30 |
| 13 | 10 | 30 |
| 14 | 10 | 30 |
| 15 | 10 | 30 |
| 16 | 10 | 30 |
| 17 | 10 | 30 |
| 18 | 10 | 30 |
| 19 | 10 | 30 |
| 20 | 10 | 30 |
| 21 | 10 | 30 |
| 22 | 10 | 30 |
| 23 | 10 | 30 |
| 24 | 10 | 30 |
| 25 | 10 | 30 |
| 26 | 10 | 30 |
| 27 | 10 | 30 |
| 28 | 10 | 30 |
| 29 | 10 | 30 |
| 30 | 10 | 30 |
| | 300 | |

รูปที่ ก.6 ปัญหาขนาดใหญ่ 2

# ภาคผนวก ข.

**แสดงโค้ดในปุ่มคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม**

1. ปุ่ม Strat Program

```
Private Sub Start_Click()
Sheet2.Activate
End
End Sub
```

**รูปที่ ข.1** โค้ดปุ่ม Strat Program

2. ปุ่ม Help

```
Private Sub Help_Click()
H.Show
End Sub
```

**รูปที่ ข.2** โค้ดปุ่ม Help

3. ปุ่ม Exit Program

```
Private Sub E_xit_Click()
If MsgBox = vbCancel Then Exit Sub

Application.Quit
End Sub
```

**รูปที่ ข.3** โค้ดปุ่ม Exit Progra

4. ปุ่ม Table

```
Application.Quit
End Sub
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Public NumAc As Integer
Dim NumCopy() As Integer
Public TotalCopy As Integer
Dim Tbarr() As Integer

Private Sub Back_1_Click()
AcceptGA.Show
End Sub
```

**รูปที่ ข.4** โค้ดปุ่ม

```
Private Sub Compute_Click()
Dim i As Integer
NumAc = Worksheets("User from").Range("D8").Value

For i = 1 To NumAc
    Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc
+ 1, 0).Value _
    + Range("G8").Offset(i, 0).Value
    With Worksheets("User From").Range("G8")
        .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
        .Offset(i, 0).Font.Bold = False
    End With
    With Worksheets("User From").Range("G8")
        .Offset(NumAc + 1, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
        .Offset(NumAc + 1, 0).Font.Bold = True
    End With
Next i
TotalCopy = Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value
Worksheets("User From").Range("D10").Value = TotalCopy
NumAc
For i = 1 To NumAc
    If (Worksheets("User from").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = 0 Then
        MsgBox i, vbOKOnly
        Range("G8").Offset(i, 0).ClearContents
        ElseIf IsNumeric(Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = False
Then
            MsgBox , vbOKOnly
            ElseIf (Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = "" Then
                MsgBox , vbOKOnly
                Exit Sub
        Else
    Worksheets("User From").Range("H8").Offset(i, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc + 1,
0).Value / Range("G8").Offset(i, 0).Value
        With Worksheets("User from").Range("H8")
            .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
            .Offset(i, 0).Font.Bold = False
        End With
    End If
```

รูปที่ ข.4 โค้ดปุ่ม (ต่อ)

```
Next i
End Sub
Private Sub N_xet_Click()
AcceptGA.Show
End
End Sub

Private Sub Table_Click()
Worksheets("User From").Range("F9:H500").Clear
Worksheets("User From").Range("F9:H500").Select
Worksheets("User From").Range("D10").ClearContents
    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .ThemeColor = xlThemeColorLight2
        .TintAndShade = 0.799981688894314
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

NumAc = Range("D8").Value
  For i = 1 To NumAc
      Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Value = i
      Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Interior.Color = 5296274
      Worksheets("User From").Range("F8:H8").Offset(i, 0).Select
      Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
      Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
      With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
          .LineStyle = xlContinuous
          .ColorIndex = 0
          .TintAndShade = 0
          .Weight = xlThin
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeTop)
          .LineStyle = xlContinuous
          .ColorIndex = 0
          .TintAndShade = 0
          .Weight = xlThin
      End With
```

รูปที่ ข.4 โค้ดปุ่ม (ต่อ)

```
            With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
                .LineStyle = xlContinuous
                .ColorIndex = 0
                .TintAndShade = 0
                .Weight = xlThin
            End With
            With Selection.Borders(xlEdgeRight)
                .LineStyle = xlContinuous
                .ColorIndex = 0
                .TintAndShade = 0
                .Weight = xlThin
            End With
            With Selection.Borders(xlInsideVertical)
                .LineStyle = xlContinuous
                .ColorIndex = 0
                .TintAndShade = 0
                .Weight = xlThin
            End With
            With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
                .LineStyle = xlContinuous
                .ColorIndex = 0
                .TintAndShade = 0
                .Weight = xlThin
            End With
            With Worksheets("User from").Range("F8")
              .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
              .Offset(i, 0).Font.Bold = True
        End With
    Next i

    'Call RandomCopy
    End Sub
```

รูปที่ ข.4 โค้ดปุ่ม Table (ต่อ)

**5. ปุ่ม Calculate**

```
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Public NumAc As Integer
Dim NumCopy() As Integer
Public TotalCopy As Integer
Dim Tbarr() As Integer

Private Sub Back_1_Click()
AcceptGA.Show
End Sub

Private Sub Compute_Click()
Dim i As Integer
NumAc = Worksheets("User from").Range("D8").Value

For i = 1 To NumAc
   Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc
+ 1, 0).Value _
   + Range("G8").Offset(i, 0).Value
   With Worksheets("User From").Range("G8")
      .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
      .Offset(i, 0).Font.Bold = False
   End With
   With Worksheets("User From").Range("G8")
     .Offset(NumAc + 1, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
      .Offset(NumAc + 1, 0).Font.Bold = True
   End With
Next i
TotalCopy = Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value
 Worksheets("User From").Range("D10").Value = TotalCopy

For i = 1 To NumAc
    If (Worksheets("User from").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = 0 Then
        MsgBox , vbOKOnly
        Range("G8").Offset(i, 0).ClearContents
        ElseIf IsNumeric(Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = False
Then
```

**รูปที่** ข.5 โค้ดปุ่ม Calculate

```
                    MsgBox, vbOKOnly
                    ElseIf (Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = "" Then
                        MsgBox, vbOKOnly
                    Exit Sub
                Else
        Worksheets("User From").Range("H8").Offset(i, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc + 1,
0).Value / Range("G8").Offset(i, 0).Value
                With Worksheets("User from").Range("H8")
                    .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
                    .Offset(i, 0).Font.Bold = False
                End With
            End If
    Next i
    End Sub

    Private Sub N_xet_Click()
    AcceptGA.Show
    End
    End Sub

    Private Sub Table_Click()
    Worksheets("User From").Range("F9:H500").Clear
    Worksheets("User From").Range("F9:H500").Select
    Worksheets("User From").Range("D10").ClearContents
        With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorLight2
            .TintAndShade = 0.799981688894314
            .PatternTintAndShade = 0
        End With

    NumAc = Range("D8").Value
        For i = 1 To NumAc
            Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Value = i
            Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Interior.Color = 5296274
            Worksheets("User From").Range("F8:H8").Offset(i, 0).Select
            Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
```

รูปที่ ข.5 โค้ดปุ่ม Calculate (ต่อ)

```
Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlThin
End With
With Worksheets("User from").Range("F8")
```

รูปที่ ข.5 โค้ดปุ่ม Calculate (ต่อ)

```
            .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
            .Offset(i, 0).Font.Bold = True
        End With
    Next i
    End Sub
```

**รูปที่ ข.5 แสดงโค้ดปุ่ม Calculate(ต่อ)**

**6. ปุ่ม Next**

```
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Public NumAc As Integer
    Dim NumCopy() As Integer
    Public TotalCopy As Integer
    Dim Tbarr() As Integer

    Private Sub Back_1_Click()
    AcceptGA.Show
    End Sub

    Private Sub Compute_Click()
    Dim i As Integer
    NumAc = Worksheets("User from").Range("D8").Value

    For i = 1 To NumAc
      Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc
+ 1, 0).Value _
      + Range("G8").Offset(i, 0).Value
      With Worksheets("User From").Range("G8")
            .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
            .Offset(i, 0).Font.Bold = False
      End With
      With Worksheets("User From").Range("G8")
            .Offset(NumAc + 1, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
            .Offset(NumAc + 1, 0).Font.Bold = True
      End With
    Next i
```

**รูปที่** ข.6 โค้ดปุ่ม Next

```
    TotalCopy = Worksheets("User From").Range("G8").Offset(NumAc + 1, 0).Value
     Worksheets("User From").Range("D10").Value = TotalCopy


    For i = 1 To NumAc
            If (Worksheets("User from").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = 0 Then
                    MsgBox , vbOKOnly
                    Range("G8").Offset(i, 0).ClearContents
                    ElseIf IsNumeric(Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = False
Then
                            MsgBox, vbOKOnly
                            ElseIf (Worksheets("User From").Range("G8").Offset(i, 0).Value) = "" Then
                                    MsgBox, vbOKOnly
                                Exit Sub
                        Else
          Worksheets("User From").Range("H8").Offset(i, 0).Value = Range("G8").Offset(NumAc + 1,
0).Value / Range("G8").Offset(i, 0).Value
                            With Worksheets("User from").Range("H8")
                                    .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
                                    .Offset(i, 0).Font.Bold = False
                            End With
            End if
    Next i
    End Sub

    Private Sub N_xet_Click()
    AcceptGA.Show
    End
    End Sub

    Private Sub Table_Click()
    Worksheets("User From").Range("F9:H500").Clear
    Worksheets("User From").Range("F9:H500").Select
    Worksheets("User From").Range("D10").ClearContents
       With Selection.Interior
            .Pattern = xlSolid
            .PatternColorIndex = xlAutomatic
            .ThemeColor = xlThemeColorLight2
            .TintAndShade = 0.799981688894314
```

รูปที่ ข.6 โค้ดปุ่ม Next (ต่อ)

```
        .PatternTintAndShade = 0
    End With

NumAc = Range("D8").Value
  For i = 1 To NumAc
    Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Value = i
    Worksheets("User From").Range("F8").Offset(i, 0).Interior.Color = 5296274
    Worksheets("User From").Range("F8:H8").Offset(i, 0).Select
    Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
    Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ColorIndex = 0
      .TintAndShade = 0
      .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ColorIndex = 0
      .TintAndShade = 0
      .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ColorIndex = 0
      .TintAndShade = 0
      .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ColorIndex = 0
      .TintAndShade = 0
      .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ColorIndex = 0
      .TintAndShade = 0
```

**รูปที่** ข.6 โค้ดปุ่ม Next (ต่อ)

```
            .Weight = xlThin
        End With
        With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
            .LineStyle = xlContinuous
            .ColorIndex = 0
            .TintAndShade = 0
            .Weight = xlThin
        End With
        With Worksheets("User from").Range("F8")
          .Offset(i, 0).HorizontalAlignment = xlCenter
          .Offset(i, 0).Font.Bold = True
      End With
Next i
End Sub
```

**รูปที่ ข.6** โค้ดปุ่ม Next (ต่อ)

**7. ช่อง Population size**

```
Private Sub PutPoppulationSize_Change()
Dim x As Variant
Set x = PutPoppulationSize

If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
      MsgBox "Please input the number", vbCritical
      PutPoppulationSize = Left(x, Len(x) - 1)
   Else
    PopSize = PutPoppulationSize
   End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
   If x = 0 Then
      MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
      PutPoppulationSize = Left(x, Len(x) - 1)
   ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
      MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
      PutPoppulationSize = Left(x, Len(x) - Len(x))
```

**รูปที่** ข.7 โค้ดช่อง Population

```
    Else
 PopSize = PutPoppulationSize
    End If
End If
End Sub

Private Sub Reset_Click()

End Sub
```

รูปที่ ข.7 โค้ดปุ่ม Population size (ต่อ)

8. ช่อง Probability Crossover

```
Dim x As Variant
Set x = PutpercentCrossover
If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
      MsgBox "Please input the number", vbCritical
      PutpercentCrossover = Left(x, Len(x) - 1)
   End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
   If x = 0 Then
      MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
      PutpercentCrossover = Left(x, Len(x) - 1)
   ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
      MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
      PutpercentCrossover = Left(x, Len(x) - Len(x))
   Else
      PercentCrossover = PutpercentCrossover
   End If
End If
End Sub
```

รูปที่ ข.8 โค้ดช่อง Probability Crossover

**9. ช่อง Probability Mutation**

```
Dim x As Variant
Set x = PutpercentMutation

If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
      MsgBox "Please Input The Number", vbCritical
      PutpercentMutation = Left(x, Len(x) - 1)
   Else
      PercentMutation = PutpercentMutation / 100
   End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
   If x = 0 Then
      MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
      PutpercentMutation = Left(x, Len(x) - 1)
   ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
      MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
      PutpercentMutation = Left(x, Len(x) - Len(x))
   Else
      PercentMutation = PutpercentMutation
   End If
End If
End Sub
```

รูปที่ ข.9 โค้ดช่อง Probability Mutation

**10. ช่อง Number of Generation**

```
Dim x As Variant
Set x = PutNumGeneration

If Len(x) > 0 Then
   If IsNumeric(x) = False Then
      MsgBox "Please input the number", vbCritical
      PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - 1)
   Else
      NumGeneration = PutNumGeneration
```

รูปที่ ข.10 โค้ดช่อง Number of Generation

```
    End If
End If

If IsNumeric(x) = True Then
    If x = 0 Then
        MsgBox "Please input the number more than 0", vbCritical
        PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - 1)
    ElseIf (x / Int(x)) <> 1 Then
        MsgBox "Please input the integer number only", vbCritical
        PutNumGeneration = Left(x, Len(x) - Len(x))
    Else
        NumGeneration = PutNumGeneration
    End If
End If
End Sub
```

รูปที่ ข.10 โค้ดช่อง Number of Generation (ต่อ)

11. ปุ่ม Back

```
Sheet2.Activate
AcceptGA.Hide
End Sub
```

รูปที่ ข.11 โค้ดปุ่ม Back

12. โค้ดปุ่ม Run Program

```
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Worksheets("Data").Range("A1:ZZ500").ClearContents
Worksheets("Answer").Range("F6:ZZ500").ClearContents
Worksheets("Show mutation").Range("A1:ZZ500").ClearContents
Worksheets("Show Crossover").Range("A1:ZZ500").ClearContents
Worksheets("Show Crossover 1").Range("A1:ZZ500").ClearContents
Worksheets("Show Eval").Range("A1:ZZ500").ClearContents

Sheet4.Activate

Call Main
```

รูปที่ ข.12 โค้ดปุ่ม Run Program

```
Sheet4.Activate


End Sub
```

**รูปที่ ข.12** โค้ดปุ่ม Run Program (ต่อ)

**13. ปุ่ม Back To Set Program**

```
Private Sub Back_Click()
AcceptGA.Show
End Sub
```

**รูปที่ ข.13** โค้ดปุ่ม Back To Set Program