การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต
โดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม
SOLVING THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING BY GENETIC ALGORITHM

นางสาวชนม์นิภา คำฤกษ์ รหัส 54361923

นายศราวุธ คงจุ้ย รหัส 54362098

นางสาวเสาวลักษณ์ ภูพุ่ม รหัส 54362104

I 6874245

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

ผู้ดำเนินโครงงาน

นางสาวชนม์นิภา	คำฤกษ์	รหัส 54361923
นายศราวุธ	คงจุ้ย	รหัส 54362098
นางสาวเสาวลักษณ์	ภูพุ่ม	รหัส 54362104

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม		
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวชนม์นิภา	คำฤกษ์	รหัส 54361923
	นายศราวุธ	คงจุ้ย	รหัส 54362098
	นางสาวเสาวลักษณ์	ภูพุ่ม	รหัส 54362104
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ	คำเมือง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ		
ปีการศึกษา	2557		

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยมุ่งเน้นที่การจัดลำดับเส้นทางการขนส่งสินค้าที่คำนึงถึงช่วงเวลาของการรับสินค้าของลูกค้า และความจุของรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่ง เพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า และทำให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงสำหรับการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งในโครงงานนี้ จะใช้หลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา

สำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรมที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นเป็นวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่มเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ใช้เวลารวดเร็ว แต่ไม่รับรองว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีที่มีแนวคิดมาจากหลักการคัดเลือกแบบธรรมชาติ และแนวคิดวิวัฒนาการของสิ่งมีชีวิต โดยวิธีการเชิงพันธุกรรม มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ ได้แก่ จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นของคำตอบ วิธีการสลับสายพันธุ์ วิธีการกลายพันธุ์ ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์

วิธีการเชิงพันธุกรรม ที่ผู้ดำเนินโครงงานได้นำมาประยุกต์ใช้ ได้มีการนำมาทดสอบกับปัญหาสามขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และได้มีการนำไปเปรียบเทียบกับวิธีการอื่นๆ ได้แก่ วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่แบบทำซ้ำ วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีอาณานิคมมด

Project title	Solving the dynamic vehicle routing by genetic algorithm	
Name	Miss Chonnipa Khamruek	ID 54361923
	Mr.Sarawut Khungjuy	ID 54362098
	Miss Saowaluk Pupum	ID 54362104
Project advisor	Dr. Kwanniti Khammuang	
Major	Industrial Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2014	

Abstract

This project proposes a Genetic Algorithm (GA) for a Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP), emphasizing on transportation arrangement considered based on goods delivering time to end customer and space capability of trucks to meet the customer's needs, and to decrease related expenses for best solution of Dynamic Vehicle Routing Problem by application the Genetic Algorithm.

Genetic Algorithm is one of the metaheuristics method which usually acquires fast computation time but does not guarantee optimal solution. Genetic Algorithm is inspired by natural selection biology, evolutionary biology theorem. Parameters, which are number of population size/number of generation, type of crossover, type of mutation, probability of crossover, probability of mutation, are important for Genetic Algorithm application as they can influence the quality of solution.

The experiments were performed on three problems of various sizes, namely small, middle and large, in order to find suitable parameters and assesses the algorithm's performance. The results were compared with those obtained from Simulated Annealing, Iterated Local Search, Particle Swarm Optimization and Ant Colony Optimization.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้อย่างดี เพราะได้รับความช่วยเหลืออย่างดียิ่งจาก ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ ของการดำเนินงานตลอดมา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน และขอขอบพระคุณคุณพ่อและคุณแม่ ที่สนับสนุนและให้กำลังใจเสมอมา

ผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวชนม์นิภา คำฤกษ์
นายศราวุธ คงจุ้ย
นางสาวเสาวลักษณ์ ภูพุ่ม
เมษายน 2558

สารบัญ

หน้า

ใบรับรองปริญญานิพนธ์ ..... ก
บทคัดย่อภาษาไทย ..... ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract) ..... ค
กิตติกรรมประกาศ ..... ง
สารบัญ ..... จ
สารบัญตาราง ..... ช
สารบัญรูป ..... ญ
สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ ..... ฑ

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

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี 5
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง 5
2.2 วิธีการเมตาฮิวริสติก 26
2.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม 28
2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ 38
2.5 ภาษา Visual Basic for Application บน Excel 43

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 44
3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต 44
3.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) 45

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.3 ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel 45
3.4 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel 46
3.5 การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม 47
3.6 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 47

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 48
4.1 การจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 48
4.2 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ 49
4.3 กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม 53
4.4 วิธีการเชิงพันธุกรรม 55
4.5 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ 63
4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 98
4.7 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 101

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 103
5.1 บทสรุปผลการดำเนินโครงงาน 103
5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน 104
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา 104
5.4 ข้อเสนอแนะ 104

เอกสารอ้างอิง 105

ภาคผนวก ก 107
ภาคผนวก ข 109
ภาคผนวก ค 141

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 160

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP) 6

2.2 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า 6

2.3 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุด 0 ถึง 6 6

2.4 แสดงลักษณะและทางเลือกที่เป็นไปได้ของปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่ง 9

2.5 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา 16

2.6 แสดงความต้องการสินค้าและกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย 16

2.7 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุดที่ 0 ถึง จุดที่ 6 17

2.8 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 22

2.9 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า 23

2.10 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุดที่ 0 ถึง จุดที่ 8 23

2.11 ความน่าจะเป็นในการถูกเลือก 34

2.12 แสดงลักษณะการสลับสายพันธุ์แบบต่างๆ กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง 35

2.13 แสดงลักษณะข้อมูลที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน 41

2.14 แสดงตาราง ANOVA การทดลองแฟคทอเรียล 2 ตัวแปร 42

4.1 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ 50

4.2 แสดงเวลาในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ 50

4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การหาค่าคำตอบ 52

4.4 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1 64

4.5 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2 65

4.6 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1 67

4.7 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2 68

4.8 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1 70

4.9 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2 71

4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 1 85

4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 2 87

4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดกลาง 1 89

4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดกลาง 2 91

4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดใหญ่ 1 93

4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดใหญ่ 2 95

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า

4.16 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์ที่แนะนำ 97

4.17 แสดงค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของผลการทดลอง 98

4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ย ระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 99

4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด ระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 100

4.20 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 102

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.1 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน 7

2.2 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.1 7

2.3 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.1 8

2.4 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.1 8

2.5 แสดงการใช้รถ 1 คัน 10

2.6 แสดงการใช้รถมากกว่า 1 คัน 10

2.7 แสดงการใช้ยานพาหนะประเภทเดียว 11

2.8 แสดงการใช้ยานพาหนะหลายประเภท 11

2.9 แสดงการใช้ยานพาหนะพิเศษ 12

2.10 แสดงความจุยานพาหนะเท่ากันทุกคัน 12

2.11 แสดงความจุยานพาหนะไม่เท่ากันทุกคัน 13

2.12 ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการส่งสินค้าไปถึงลูกค้า 14

2.13 มีข้อจำกัดช่วงเวลาในการใช้ถนน 14

2.14 จุดกระจายสินค้าแห่งเดียว 15

2.15 จุดกระจายสินค้าหลายแห่ง 15

2.16 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.2 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน 17

2.17 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.2 18

2.18 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.2 18

2.19 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.2 19

2.20 แสดงเส้นทางการเดินรถของแต่ละคัน 20

2.21 แสดงเมื่อมีความต้องการของลูกค้าเพิ่มเข้ามา 21

2.22 แสดงเส้นทางเมื่อมีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่ 21

2.23 แสดงช่วงเวลาที่ลูกค้าเพิ่มเข้ามา 24

2.24 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.3 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน 24

2.25 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.3 25

2.26 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.3 25

2.27 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.3 26

2.28 แสดงขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม 29

2.29 แสดงการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง 31

2.30 แสดงโครโมโซมแบบลำดับ 31

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

2.31 แสดงโครโมโซมแบบใช้ค่า/เครื่องหมายจริง 32
2.32 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 3 โครโมโซม 32
2.33 แสดงการหาค่าความเหมาะสม 33
2.34 วงล้อเสี่ยงทายจากตารางที่ 2.8 34
2.35 แสดงการสลับสายพันธุ์ 35
2.36 แสดงการกลายพันธุ์ 36
2.37 แสดงการกลายพันธุ์กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding 37
2.38 แสดงโอกาสเกิดการสลับสายพันธุ์ 37
2.39 แสดงโอกาสเกิดการกลายพันธุ์ 38
3.1 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงงาน 44
3.2 ผังลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม 46
4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบแบบกำหนดให้ n = 5 และ k = 2 49
4.2 แสดงตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของตัวอย่างที่ 4.1 49
4.3 แสดงการคำนวณค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการเดินทาง 52
4.4 การทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม 54
4.5 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน 56
4.6 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ Lock Zero Crossover Operator 56
4.7 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator 57
4.8 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน 57
4.9 การสุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ 57
4.10 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ One Point Crossover Operator 58
4.11 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator 58
4.12 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน 59
4.13 การสุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ 59
4.14 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ Two Point Crossover Operator 59
4.15 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator 60
4.16 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน 60
4.17 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ 61
4.18 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน 61
4.19 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ 62

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการสลับสายพันธุ์ 73

4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการกลายพันธุ์ 74

4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็น
ของการสลับสายพันธุ์..... 74

4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็น
ของการกลายพันธุ์..... 75

4.24 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น 75

4.25 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดเล็ก 1 76

4.26 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดเล็ก 2 76

4.27 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดกลาง 1..... 77

4.28 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดกลาง 2..... 77

4.29 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดใหญ่ 1..... 77

4.30 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดใหญ่ 2..... 78

4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1 78

4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2 79

4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1..... 79

4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2..... 79

4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1..... 80

4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2..... 80

4.37 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดเล็ก 1..... 81

4.38 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดเล็ก 2..... 81

4.39 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดกลาง 1 81

4.40 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดกลาง 2 82

4.41 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดใหญ่ 1 82

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.42 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับ
ค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดใหญ่ 2 82
4.43 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดเล็ก 1 83
4.44 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดเล็ก 2 83
4.45 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดกลาง 1 84
4.46 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดกลาง 2 84
4.47 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดใหญ่ 1 84
4.48 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดใหญ่ 2 85
4.49 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดเล็ก 1 86
4.50 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดเล็ก 1 87
4.51 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดเล็ก 2 88
4.52 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดเล็ก 2 89
4.53 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดกลาง 1 90
4.54 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดกลาง 1 91
4.55 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดกลาง 2 92
4.56 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดกลาง 2 92
4.57 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาใหญ่ 1 94
4.58 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดใหญ่ 1 94
4.59 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาใหญ่ 2 96
4.60 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดใหญ่ 2 96
4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลู่เข้าของค่าคำตอบ 101

สารบัญสัญลักษณ์และอักษรย่อ

LZ = วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator

OP = วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator

TP = วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator

Swapping = วิธีการกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator

Group = วิธีการกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator

Pcrossover = ค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์

Pmutation = ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์

Pop/Gen = จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

SD = ค่าส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน

Min = ค่าต่ำสุดของค่าคำตอบ

Average = ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ

Time = เวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบ

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันสภาพการแข่งขันทางเศรษฐกิจการค้าในประเทศมีการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเปิดเสรีทางการค้า ทำให้อุตสาหกรรมส่วนใหญ่พยายามปรับปรุงกระบวนการผลิต และลดค่าใช้จ่ายในส่วนต่างๆ ซึ่งการขนส่งเป็นกิจกรรมที่สำคัญ และมีมูลค่าสูงที่สุดในกระบวนการโลจิสติกส์หรือคิดเป็นร้อยละ 40 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด (สมชาย ปฐมศิริ, 2552) การจัดเส้นทางการขนส่งเป็นส่วนหนึ่งที่สามารถลดค่าใช้จ่ายได้ ซึ่งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจะขึ้นอยู่กับเส้นทางการเดินทาง การจัดเส้นทางการขนส่งเป็นปัญหาที่สำคัญมากต่อการลดค่าใช้จ่าย ถ้ามีการจัดเส้นทางการขนส่งที่ดี และใช้ปริมาณที่เหมาะสมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด ทำให้ลดความสูญเสียค่าใช้จ่าย ลดเวลาที่ไม่จำเป็น และยังมีอีกปัจจัยหนึ่งที่มีความสำคัญเช่นเดียวกัน คือ ความรวดเร็วในการตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายในเวลาที่ลูกค้าต้องการ เพราะจะส่งผลให้มีการสร้างโอกาสในการขายได้ก่อนคู่แข่งรายอื่นที่จะเข้ามาในตลาดมากยิ่งขึ้น ดังนั้น การจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพ ส่งผลให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็วในเวลาที่ต้องการ และเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้ต่ำลง

จากเหตุผลข้างต้น เพื่อเป็นการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้ต่ำลง ลดเวลาในการขนส่งสินค้า และเพื่อตอบสนองความต้องการของลูกค้าภายใต้เงื่อนไขของเวลา ทางผู้ดำเนินโครงงานจึงได้ทำการศึกษา และวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยนำหลักการของวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) มาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหา และใช้โปรแกรม Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel ในการประมวลผลของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งนี้

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อพัฒนาโปรแกรมโดยประยุกต์ใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลการทดลองที่ได้จากการทดลองโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตที่ผ่านการทดสอบอย่างถูกต้องแล้ว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมที่ช่วยในการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตสามารถนำไปเป็นส่วนช่วยในการจัดเส้นทางการขนส่งในภาคอุตสาหกรรม โดยนำไปช่วยลดค่าใช้จ่ายรวม ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Variable Cost) และค่าปรับที่เกิดขึ้น เนื่องจาก การละเมิดกรอบเวลา (Penalty Cost) ภายใต้ข้อสมมติฐานเดียวกับปัญหาที่พิจารณาในโครงงานนี้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem : DVRP) ที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์ เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Variable Cost) และค่าปรับที่เกิดขึ้น เนื่องจาก การละเมิดกรอบเวลา (Penalty Cost)

1.5.2 รายละเอียดของลูกค้า ประกอบด้วย ตำแหน่งของลูกค้า ปริมาณความต้องการของลูกค้า กรอบเวลาในการรับสินค้า (จะรู้ล่วงหน้าเพียงบางราย และจะทยอยเข้ามาเมื่อกำลังดำเนินการส่ง)

1.5.3 ปริมาณความต้องการของลูกค้าจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ

1.5.4 มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว และมีสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด

1.5.5 ยานพาหนะทุกคันจอดอยู่ที่คลังสินค้า และยานพาหนะจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

1.5.6 ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าในเวลาเริ่มต้นของวันทำงาน และจะกลับมาที่คลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ

1.5.7 เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าไปแล้ว เมื่อมีการสั่งของจากลูกค้าใหม่เข้ามา ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องกลับไปที่คลังสินค้า เพื่อบรรทุกสินค้าเพิ่ม แต่ยานพาหนะสามารถพิจารณาให้บริการสินค้าใหม่ โดยใช้สินค้าที่บรรจุอยู่บนรถได้เลย

1.5.8 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายมีความสมมาตรกัน

1.5.9 เวลาที่ใช้สำหรับขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีค่าเท่ากัน

1.5.10 ไม่คำนึงถึงเรื่องการจัดวางสินค้า และสินค้าจะไม่ได้รับความเสียหายขณะขนส่ง

1.5.11 ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าก่อนเวลาการรับสินค้า ยานพาหนะจำเป็นต้องรอคอยให้ถึงช่วงเริ่มต้นของกรอบเวลาลูกค้ารายนั้นก่อนจึงจะสามารถส่งของได้

1.5.12 ถ้าหากยานพาหนะไปส่งของถึงลูกค้าเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะสามารถรับสินค้าได้ (ในกรณีนี้จะมีค่าปรับ)

1.5.13 ยานพาหนะในการขนส่งสินค้ามี 3 ขนาด และมีจำนวนจำกัด

1.5.14 ใช้ภาษา Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel ในการเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือนสิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง เดือนเมษายน พ.ศ. 2558

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับการขนส่ง	←	→							
1.8.2	ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)		←	→						
1.8.3	ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel				←	→				
1.8.4	**ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel**					←	→			

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) แสดงขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.5	การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม							↔		
1.8.6	สรุปผลการดำเนินโครงงาน								↔	↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

ในบทที่ 2 นี้ จะเกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ว่ามีความหมายว่าอย่างไร รูปแบบลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เช่น เป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง แบบมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว และศูนย์กระจายสินค้ามากกว่าหนึ่งแห่ง วิธีการเชิงพันธุกรรม หมายความว่าอย่างไร มีองค์ประกอบหลักๆ อะไรบ้าง เช่น การออกแบบโครโมโซม การสร้างประชากรเริ่มต้น และสุดท้ายกล่าวถึงการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา Visual Basic for Application

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง คือ การเลือกเส้นทางการขนส่งเพื่อไปบริการลูกค้าในจุดต่างๆ โดยมีจุดประสงค์หลัก คือ ลดระยะทาง ลดค่าใช้จ่ายให้ต่ำลง ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ ที่มี เช่น ปริมาณความจุเวลาในการขนสินค้าลงจากรถ (Time Windows) เส้นทางการขนส่งจะเริ่มต้นจากคลังสินค้า (ต้นทาง) ไปสู่กลุ่มลูกค้าที่ทราบจำนวนและตำแหน่งที่ตั้งในแต่ละราย และทราบปริมาณความต้องการสินค้า (Demand) ที่แน่นอนล่วงหน้าและกลับมาสิ้นสุดเส้นทางที่คลังสินค้าเริ่มต้น โดยมีข้อจำกัดที่ว่าลูกค้า แต่ละรายจะได้รับบริการจากรถขนส่งสินค้าคันเดียวหรือหลายคัน และปริมาณสินค้าที่นำส่งต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก หรือความจุของรถขนส่งคันนั้นๆ รวมทั้งมีเวลาในการวิ่งเพื่อส่งสินค้าหรือไปให้บริการลูกค้าที่จำกัดด้วย ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง มีองค์ประกอบหลัก 4 อย่าง คือ ศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) เส้นทาง (Route) ลูกค้า (Customer) และยานพาหนะ (Vehicle) เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งได้ชัดเจนขึ้น โดยแสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งผ่านทาง ตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 มีลูกค้าตามจุดต่างๆ อยู่ 6 ราย คือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 และมีจุดกระจายสินค้า (0) อยู่ 1 แห่ง โดยมีสมมติฐาน แสดงดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (VRP)

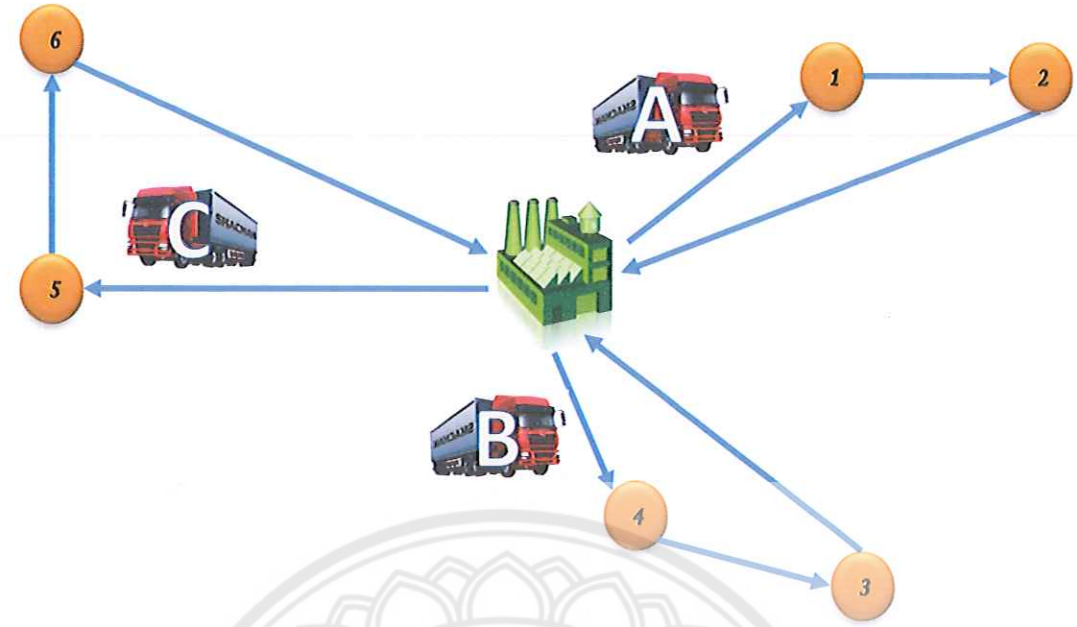
ข้อที่	สมมติฐาน
1	รถบรรทุกวิ่งออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม
2	รถบรรทุกทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ 200 หน่วย
3	ไม่จำกัดช่วงเวลาในการขนส่งสินค้า
4	ปัญหาเป็นแบบสมมาตร คือ ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i มีระยะทางเท่ากัน
5	ลูกค้ามีจำนวนความต้องการและระยะทางการขนส่ง ดังตารางที่ 2.2 และ 2.3

ตารางที่ 2.2 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)
1	80
2	120
3	60
4	100
5	70
6	95

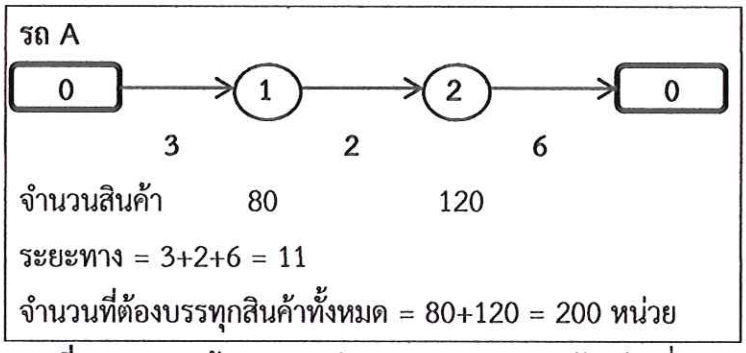
ตารางที่ 2.3 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุด 0 ถึง 6

	0	1	2	3	4	5	6
0							
1	3						
2	6	2					
3	5	6	7				
4	2	5	8	3			
5	7	11	14	11	8		
6	7	10	14	13	9	3	



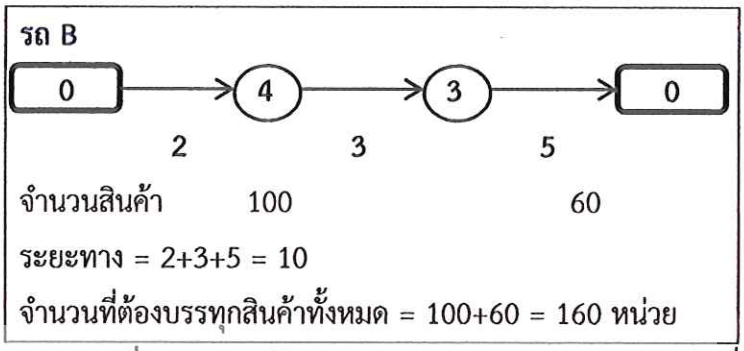
รูปที่ 2.1 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.1 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน

สมมติว่ารูปแบบการเดินทาง 1 แบบกำหนดเส้นทางการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่า มีการใช้ยานพาหนะทั้งหมด 3 คัน โดยรถ A ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 1, 2 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 11 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 200 หน่วย พบว่า รถบรรทุก A บรรทุกสินค้าเต็มความจุของรถพอดี แสดงดังรูปที่ 2.2



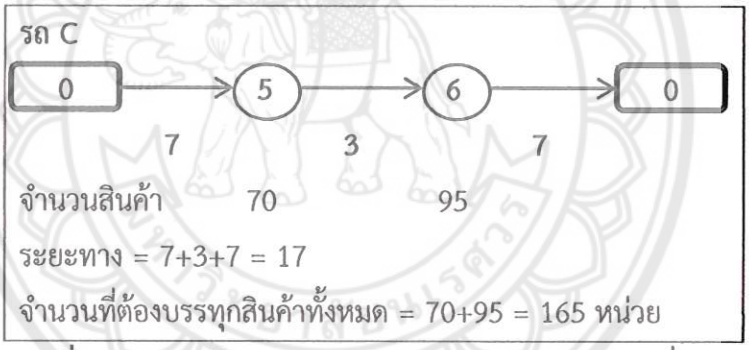
รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.1

รถ B ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 4, 3 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 10 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 160 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.1

รถ C ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 5, 6 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 17 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 165 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.1

โดยผลรวมของระยะทางที่รถ A, B และ C ใช้ไปส่งสินค้าตามจุดต่างๆ ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 38

2.1.2 ลักษณะปัญหาของการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem)

เนื่องจากปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่งมีหลากหลายแบบตามรายละเอียดของปัญหานั้นๆ เช่น บางปัญหามีการใช้รถขนส่งได้คันเดียว บางปัญหาใช้รถขนส่งได้หลายคัน และมีปัญหาแบบอื่นๆ อีกมากมาย ซึ่งการเข้าใจในรายละเอียดของปัญหาที่นำมาวิเคราะห์นั้นเป็นสิ่งที่สำคัญ เพื่อที่จะได้วิเคราะห์และแก้ปัญหาได้อย่างถูกต้อง โดยปัจจัยที่ต้องพิจารณาหลักๆ แสดงดังตารางที่ 2.4

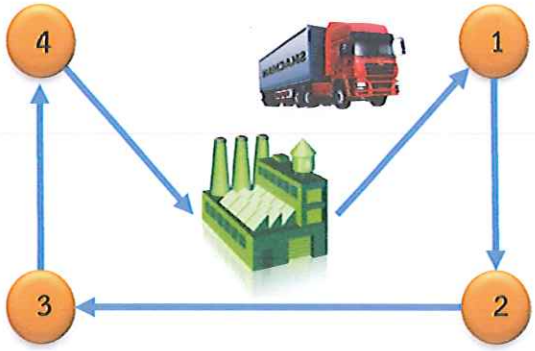
ตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะและทางเลือกที่เป็นไปได้ของปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่ง

ลักษณะของปัญหา	ทางเลือกที่เป็นไปได้
จำนวนพาหนะ (Number of Vehicle)	1. ใช้จำนวน 1 คัน 2. ใช้จำนวนมากกว่า 1 คัน
ประเภทของยานพาหนะ (Type of Vehicle)	1. ประเภทเดียว 2. หลายประเภท 3. พาหนะแบบพิเศษ
ความจุของยานพาหนะ (Capacity of Vehicle)	1. เท่ากันทุกคัน 2. ไม่เท่ากันทุกคัน
ความต้องการของลูกค้า (Customer Demand)	1. ความต้องการแบบคงที่ 2. ความต้องการแบบไม่คงที่ 3. ความต้องการแบบคงที่และแบบไม่คงที่
ข้อจำกัดทางด้านเวลา (Time Window)	1. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการส่งสินค้าไปถึงลูกค้า 2. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการใช้ถนน 3. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการเข้ารับสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้า 4. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการใช้รถ
จุดกระจายสินค้า (Distribution Center)	1. จุดกระจายสินค้าแห่งเดียว 2. จุดกระจายสินค้าหลายแห่ง

จากตารางที่ 2.4 แสดงลักษณะและทางเลือกที่เป็นไปได้ของปัญหาในการจัดเส้นทางการขนส่ง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

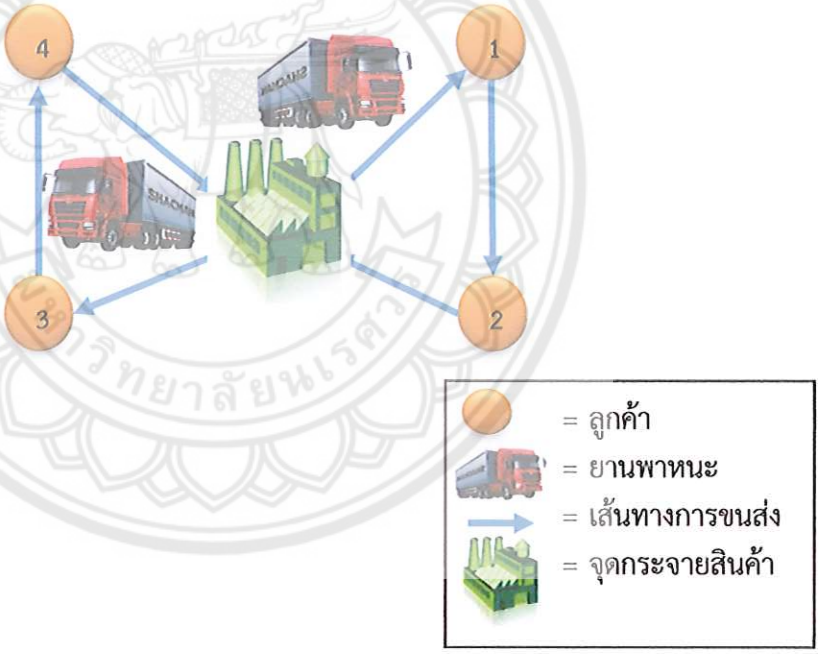
2.1.2.1 จำนวนพาหนะ

ก. ใช้จำนวนรถ 1 คัน คือ ตลอดเส้นทางการขนส่งต่อหนึ่งศูนย์กระจายสินค้า จะใช้จำนวนพาหนะในการขนส่งสินค้าเพียง 1 คัน เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 แสดงการใช้รถ 1 คัน

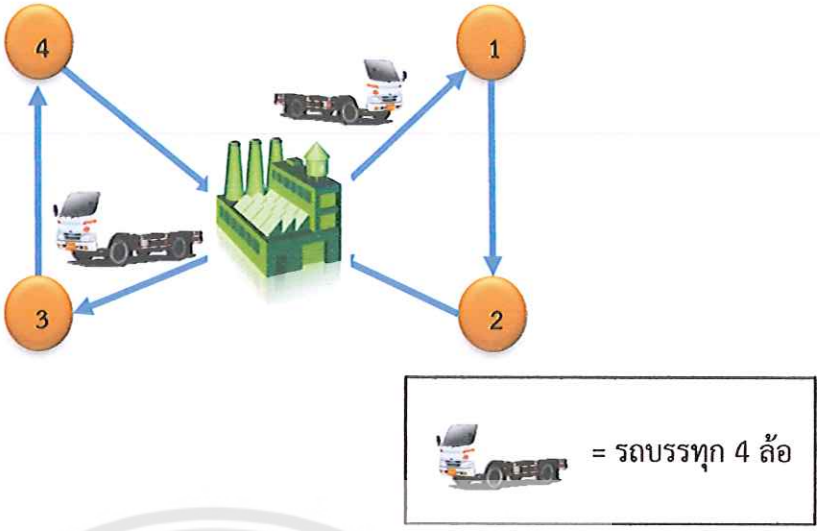
ข. ใช้จำนวนมากกว่า 1 คัน คือ ในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า จะมีการแบ่งเส้นทางการเดินทางมากกว่า 1 เส้นทาง โดยในแต่ละเส้นทางจะมีรถขนส่งสินค้าประจำเส้นทางนั้นๆ เมื่อขนส่งสินค้าเสร็จรถทุกคันจะกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 แสดงการใช้รถมากกว่า 1 คัน

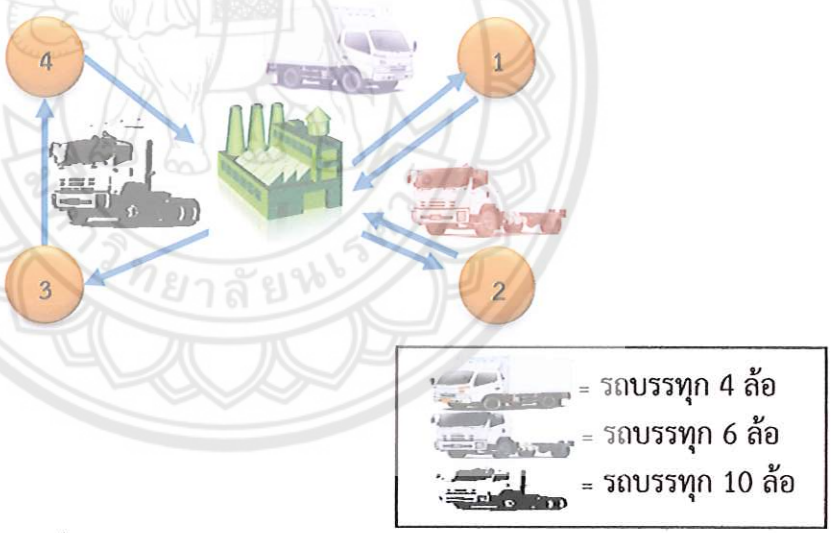
2.1.2.2 ประเภทยานพาหนะ

ก. ประเภทเดียว คือ ภายในศูนย์กระจายสินค้ามีรถประเภทเดียวกันในการขนส่งสินค้า เช่น ภายในศูนย์กระจายสินค้ามีรถอยู่ 2 คัน เป็นรถบรรทุก 4 ล้อทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 2.7



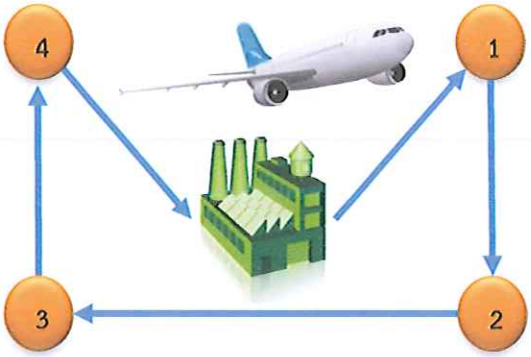
รูปที่ 2.7 แสดงการใช้ยานพาหนะประเภทเดียว

ข. หลายประเภท คือ ภายในศูนย์กระจายสินค้ามีรถหลายประเภทในการขนส่งสินค้า เช่น ภายในศูนย์กระจายสินค้ามีรถอยู่ 3 คัน เป็นรถบรรทุกคนละชนิดกัน แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 แสดงการใช้ยานพาหนะหลายประเภท

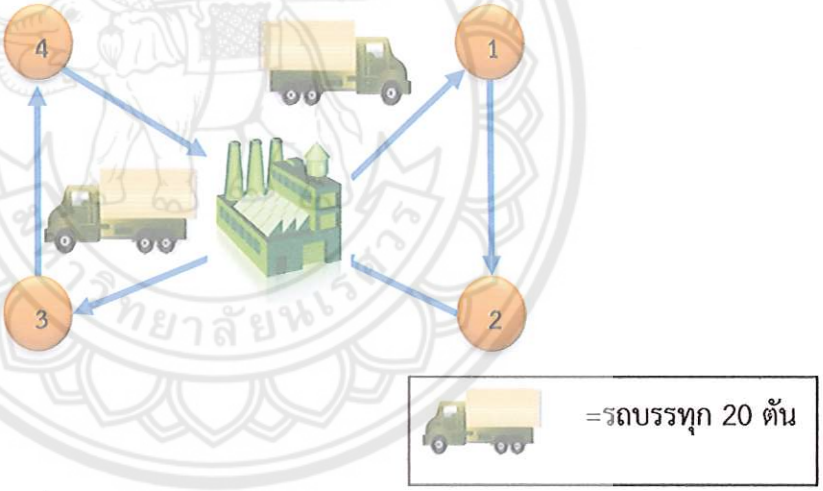
ค. พาหนะพิเศษ คือ พาหนะที่มีความสะดวกรวดเร็ว และต้องการควบคุมคุณภาพสินค้าเป็นพิเศษ เพื่อลดความเสียหายที่จะเกิดกับสินค้า พาหนะแบบพิเศษ ได้แก่ เครื่องบิน เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 แสดงการใช้ยานพาหนะพิเศษ

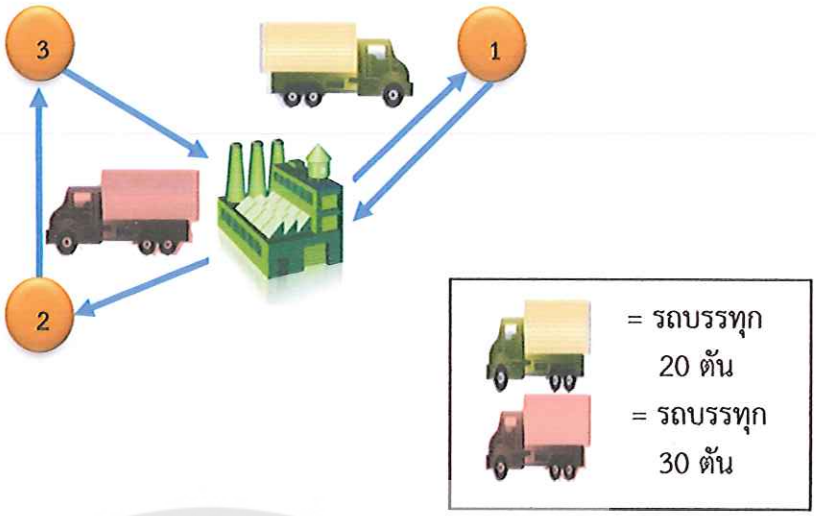
2.1.2.3 ความจุยานพาหนะ

ก. เท่ากันทุกคัน คือ ตลอดเส้นทางการขนส่งต่อหนึ่งศูนย์กระจายสินค้า จะมียานพาหนะที่มีความจุเท่ากัน เนื่องจาก ความต้องการสินค้าในแต่ละเส้นทางขนส่งมีความต้องการที่ไม่ต่างกันมากนัก ในแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 แสดงความจุยานพาหนะเท่ากันทุกคัน

ข. ไม่เท่ากันทุกคัน คือ ตลอดเส้นทางการขนส่งต่อหนึ่งศูนย์กระจายสินค้า จะมียานพาหนะที่มีความจุไม่เท่ากัน เนื่องจาก ความต้องการสินค้าในแต่ละเส้นทางขนส่งมีความต้องการที่ต่างกันมาก จึงต้องใช้รถบรรทุกในการขนส่งที่มีความจุของรถต่างกัน ในแต่ละเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 แสดงความจุยานพาหนะไม่เท่ากันทุกคัน

2.1.2.4 ความต้องการของลูกค้า

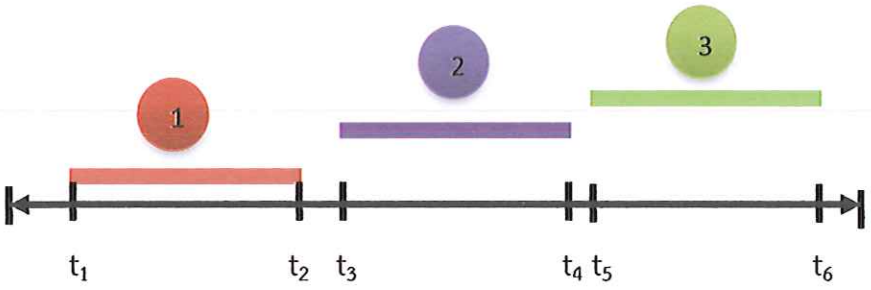
ก. ความต้องการแบบคงที่ คือ ในเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าในปริมาณที่เท่ากัน และปริมาณการสั่งสินค้าแต่ละรอบคงที่เสมอ

ข. ความต้องการแบบไม่คงที่ คือ ในเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าในปริมาณที่ไม่เท่ากัน และในแต่ละรอบการสั่งสินค้าปริมาณการสั่งสินค้าจะไม่คงที่

ค. ความต้องการแบบคงที่และความต้องการแบบไม่คงที่ คือ ในเส้นทางการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าในปริมาณที่เท่ากัน แต่เมื่อเวลาผ่านไปลูกค้ามีความต้องการสินค้าเพิ่ม เนื่องจาก สินค้านั้นขายดี จึงต้องจัดส่งสินค้าเพิ่มจากจำนวนที่เคยสั่งจากเดิม

2.1.2.5 ข้อจำกัดทางด้านเวลา

ก. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการส่งสินค้าไปถึงลูกค้า คือ ลูกค้าแต่ละรายมีช่วงเวลาในการรับสินค้าที่ต่างกัน ดังนั้น ในการจัดส่งสินค้าจะต้องนำช่วงเวลาที่ลูกค้าสามารถรับสินค้าได้ มาพิจารณาในการจัดเส้นทางการขนส่งด้วย แสดงดังรูปที่ 2.12



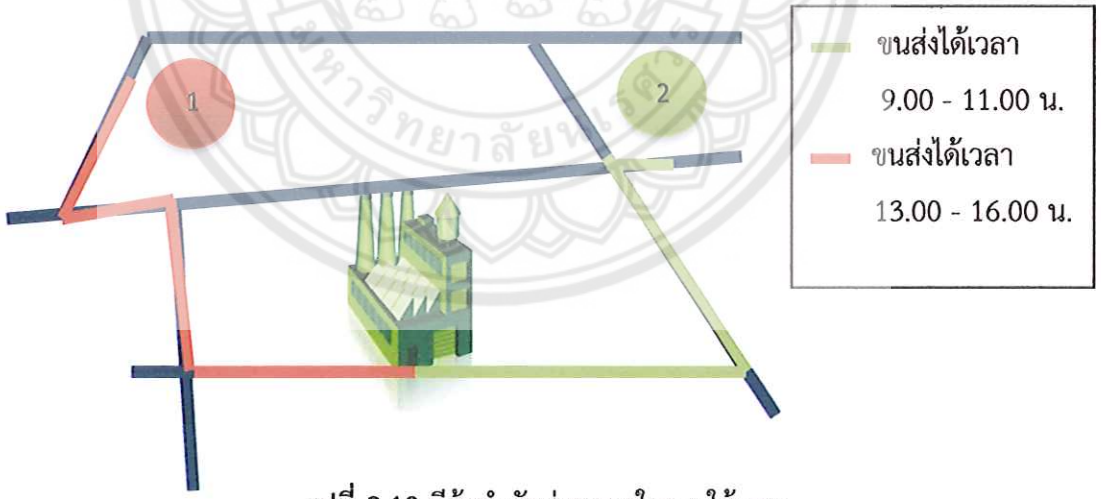
ลูกค้าคนที่ 1 **ช่วงเวลาที่สามารถรับสินค้าได้ คือ ช่วงเวลา t_1 ถึง t_2**

ลูกค้าคนที่ 2 ช่วงเวลาที่สามารถรับสินค้าได้ คือ ช่วงเวลา t_3 ถึง t_4

ลูกค้าคนที่ 3 ช่วงเวลาที่สามารถรับสินค้าได้ คือ ช่วงเวลา t_5 ถึง t_6

รูปที่ 2.12 ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการส่งสินค้าไปถึงลูกค้า

ข. ข้อจำกัดช่วงเวลาในการใช้ถนน คือ ถนนบางเส้นทางมีช่ว**งเวลาที่ไม่สามารถขนส่งสินค้า**ผ่านทางนั้นได้ เนื่องจาก ปัญหาทางด้านการจราจร หรือเปิดทำการจรา**จรช่องทางเดินรถเพียงทาง**เดียว แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 มีข้อจำกัดช่วงเวลาในการใช้ถนน

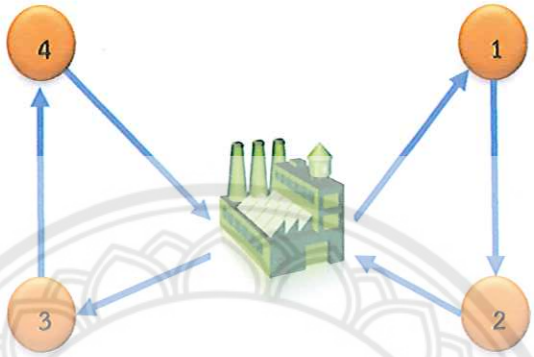
ค. ข้อจำกัดในการเข้ารับสินค้าที่ศูนย์กระจายสินค้า คือ ศูนย์กระจายสินค้ามีข้อจำกัดด้านเวลาการเปิดให้บริการสำหรับการเบิกจ่ายสินค้าเพื่อจัดส่งให้ลูกค้าแต่ละราย

ง. ข้อจำกัดช่วงเวลาการใช้รถ คือ รถบรรทุกมีอายุการใช้งานต่างกัน รถบรรทุกที่มีอายุการใช้งานนาน สมรรถนะจะน้อยลงส่งผลให้บางครั้งรถบรรทุกใช้งานไม่ได้ จึงต้องส่งเข้าศูนย์

ซ่อมทำให้ในช่วงเวลาที่ต้องส่งสินค้าให้ลูกค้าเวลานั้นไม่สามารถไปส่งได้ จึงต้องเปลี่ยนประเภทของรถบรรทุกเพื่อนำสินค้าไปส่งให้ลูกค้าแต่ละราย

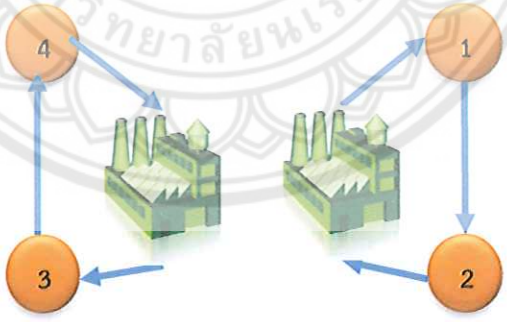
2.1.2.6 จุดกระจายสินค้า

ก. จุดกระจายสินค้าแห่งเดียว คือ สินค้าที่จัดส่งให้ลูกค้ามีปริมาณเพียงพอต่อความต้องการในศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียวตลอดทั้งเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 จุดกระจายสินค้าแห่งเดียว

ข. จุดกระจายสินค้าหลายแห่ง คือ สินค้าที่จัดส่งให้ลูกค้าทุกศูนย์กระจายสินค้ามีเหมือนกัน แต่การเลือกเส้นทางการขนส่งพิจารณาจากศูนย์กระจายสินค้าที่ใกล้ลูกค้ามากที่สุด แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 จุดกระจายสินค้าหลายแห่ง

2.1.3 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา (Vehicle Routing Problem Time Window)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา เป็นรูปแบบของปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยมีข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไป คือ ลูกค้ากำหนดช่วงเวลาในการรับสินค้า และ Solomon ได้ให้ความหมายของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาว่า เป็น

การขนส่งภายในช่วงเวลาที่กำหนดไว้ ถ้าหากว่าไปถึงก่อนเวลาต้องรอคอยจนกว่าจะถึงช่วงเวลาที่กำหนด (Solomon, 1987) เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาได้ชัดเจนขึ้น จะขอแสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาผ่านทาง ตัวอย่างที่ 2.2

ตัวอย่างที่ 2.2 มีลูกค้าตามจุดต่างๆ อยู่ 6 ราย คือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 และมีจุดกระจายสินค้า (0) อยู่ 1 แห่ง โดยมีสมมติฐาน แสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลา

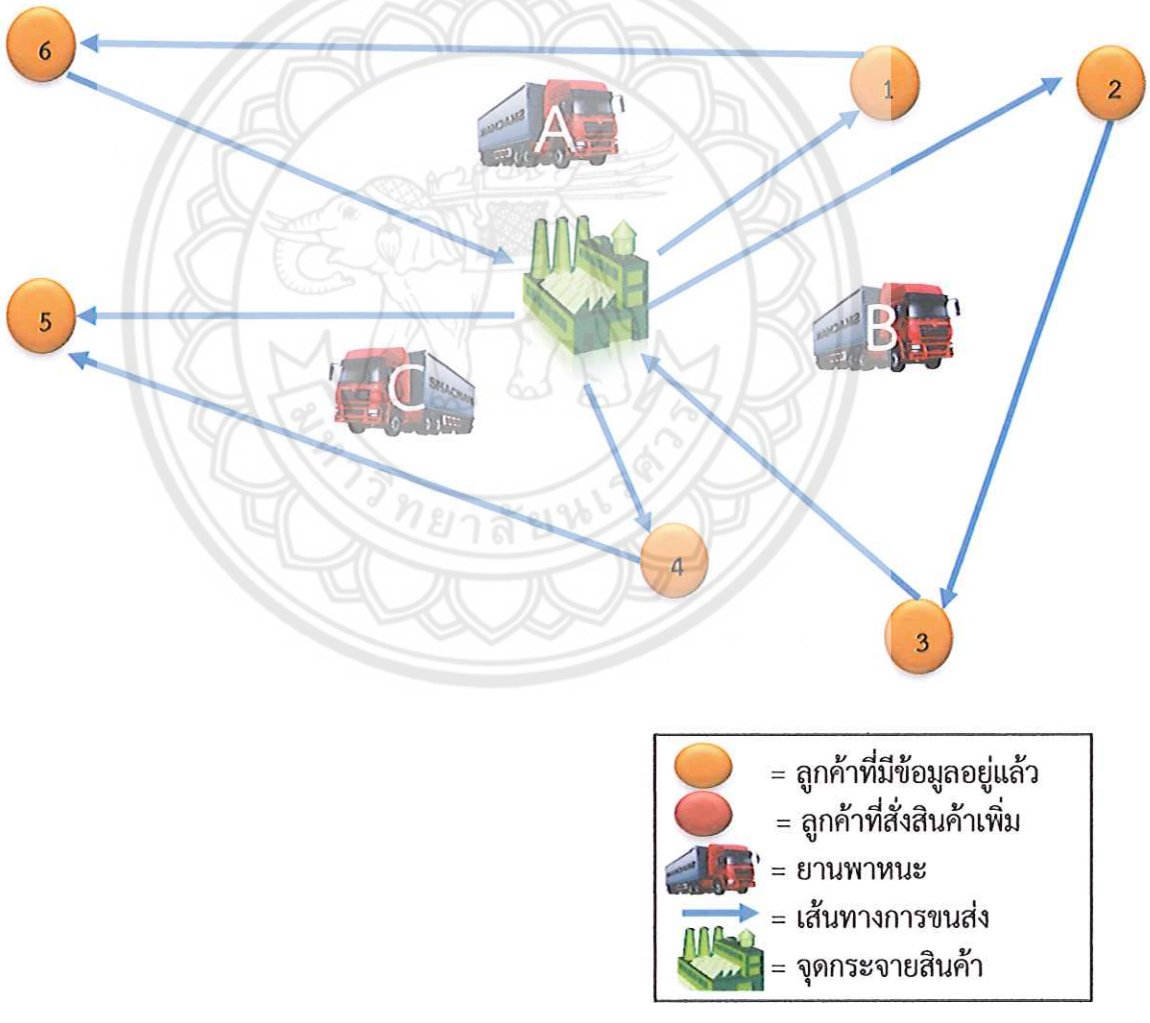
ข้อที่	สมมติฐาน
1	รถบรรทุกวิ่งออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม
2	รถบรรทุกทุกคันสามารถบรรทุกสินค้าได้ 200 หน่วย
3	ปัญหาเป็นแบบสมมาตร คือ ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i มีระยะทางเท่ากัน
4	มีรถบรรทุกทั้งหมด 3 คัน
5	รถบรรทุกทุกคันมีเวลาในการใช้งานตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 8
6	เวลาในการเดินทางจาก จุด i ไปยังจุด j เท่ากับ 1 ชั่วโมงเท่ากันทุกเส้นทาง
7	เวลาในการให้บริการเท่ากับ 1 ชั่วโมง
8	ลูกค้ามีความต้องการสินค้าและมีการจำกัดเวลาในการในการรับสินค้า โดยที่เวลาจะเริ่มต้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 8 แสดงดังตารางที่ 2.6
9	มีระยะทางการขนส่ง แสดงดังตารางที่ 2.7

ตารางที่ 2.6 แสดงความต้องการสินค้าและกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)	กรอบเวลาในการรับสินค้า (ชั่วโมงที่)
1	80	2-3
2	120	2-5
3	60	3-5
4	100	4-7
5	70	1-6
6	95	4-7

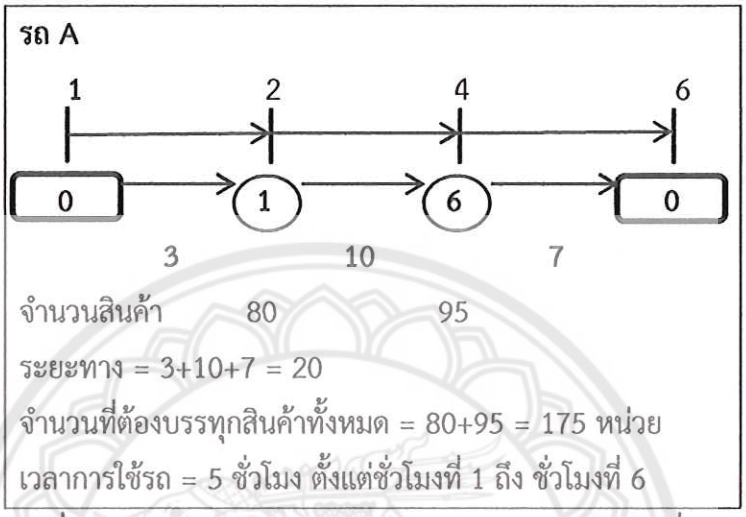
ตารางที่ 2.7 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุดที่ 0 ถึง จุดที่ 6

	0	1	2	3	4	5	6
0							
1	3						
2	6	2					
3	5	6	7				
4	2	5	8	3			
5	7	11	14	11	8		
6	7	10	14	13	9	3	



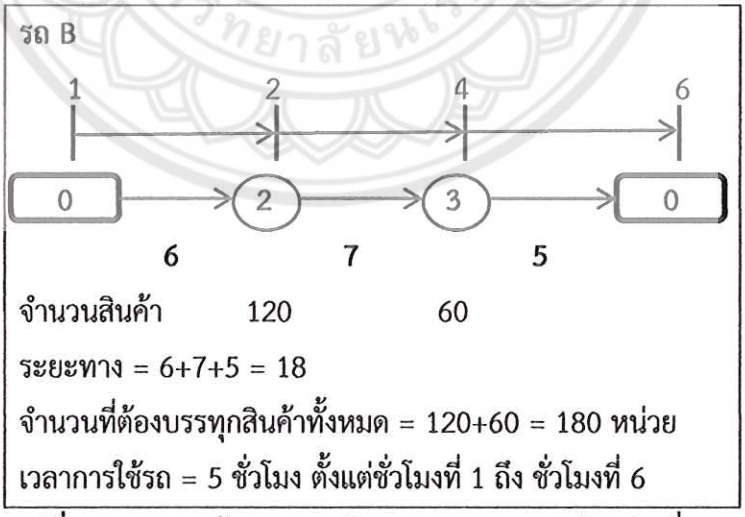
รูปที่ 2.16 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.2 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน

สมมติว่ารูปแบบการเดินทาง 1 แบบกำหนดเส้นทางการเดินทางดังรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า มีการใช้ยานพาหนะทั้งหมด 3 คัน โดยรถ A ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 1, 6 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 20 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 175 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.17



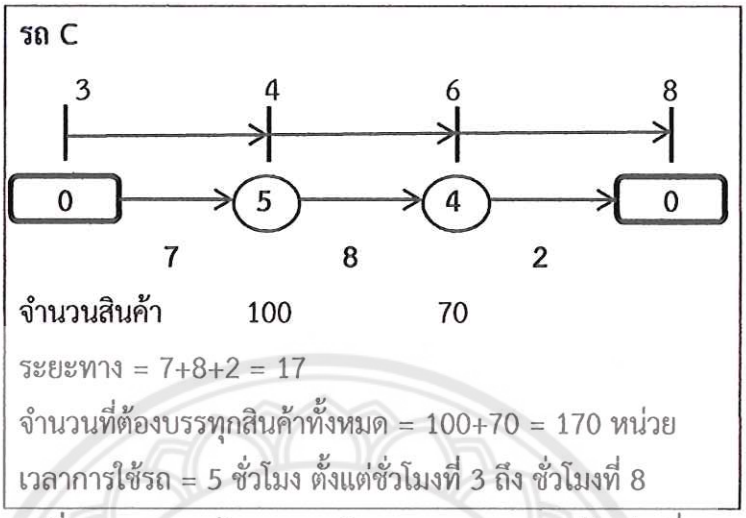
รูปที่ 2.17 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.2

รถ B ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 2, 3 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 18 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 180 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.2

รถ C ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 5, 4 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้าที่ โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 17 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 170 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.19

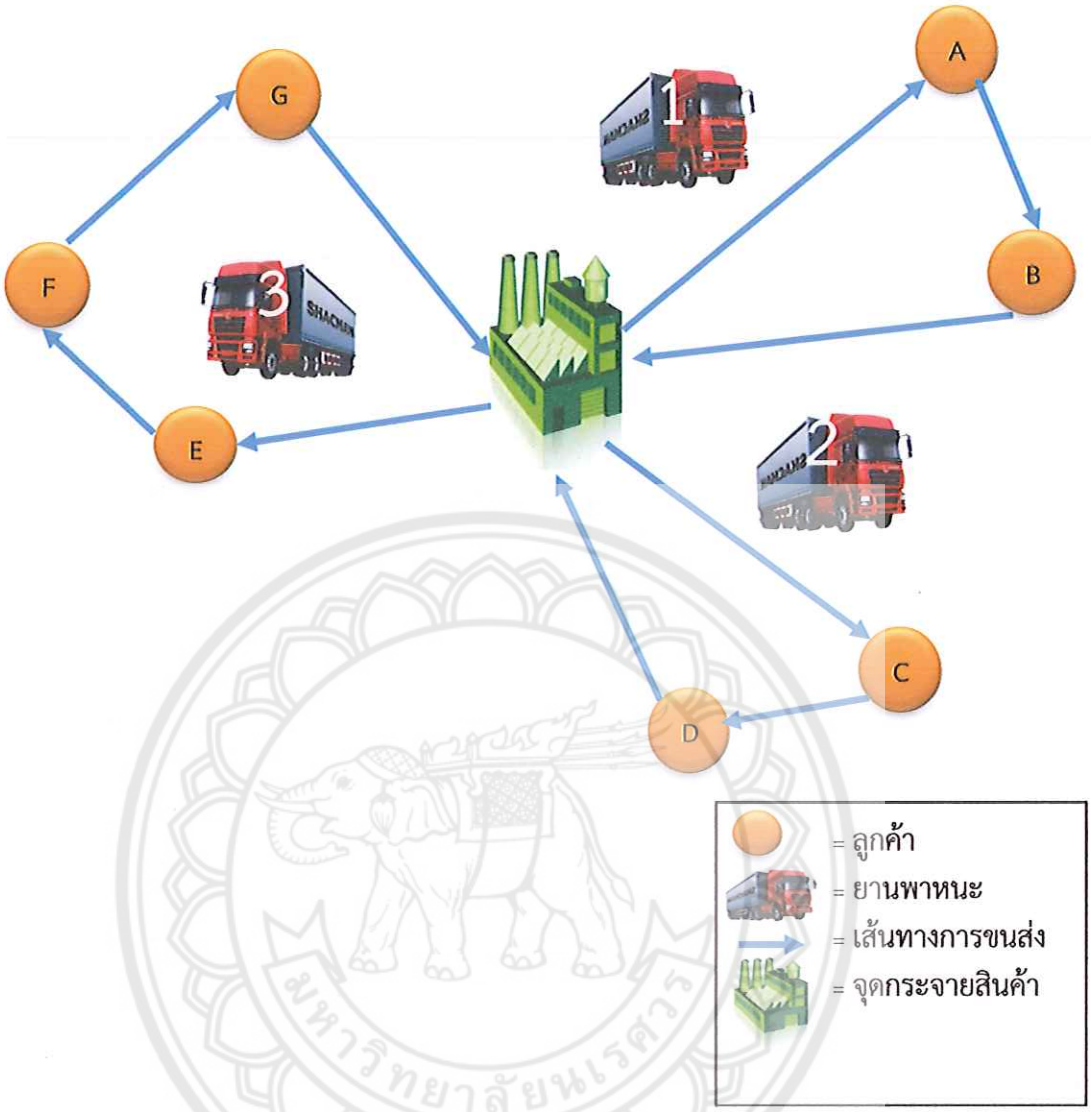


รูปที่ 2.19 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.2

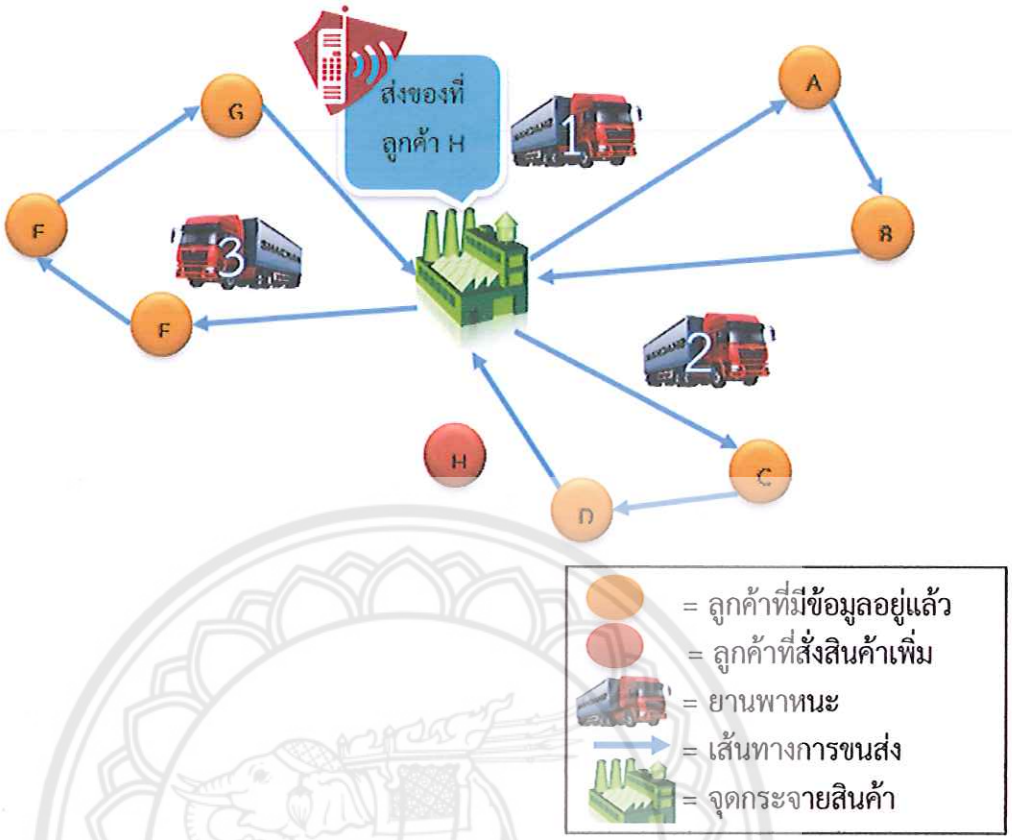
โดยผลรวมของระยะทางที่รถ A, B และ C ใช้ไปส่งสินค้าตามจุดต่างๆ ได้ระยะทางรวมทั้งหมด 55

2.1.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem)

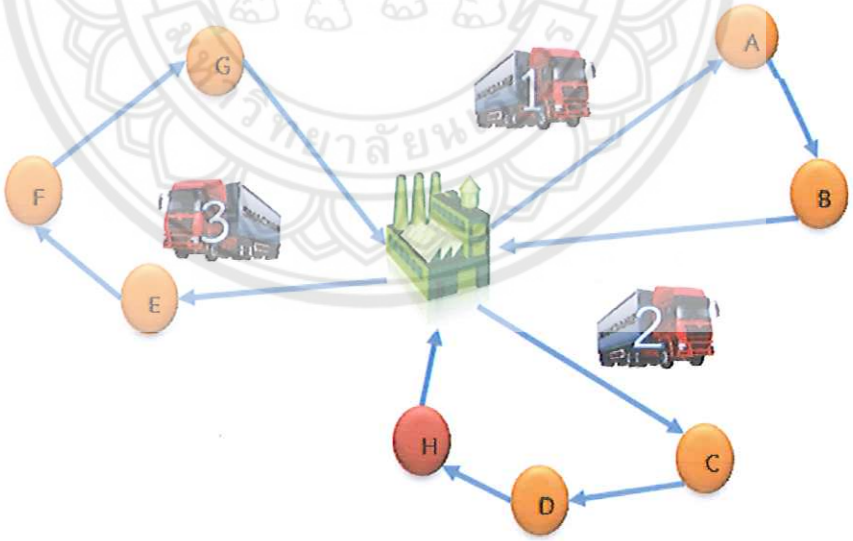
ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต เป็นรูปแบบของปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยมีข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไป คือ ความต้องการด้านการขนส่งเป็นข้อมูลอนาคตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงแผนเส้นทางการเดินรถทุกครั้งเมื่อมีข้อมูลเข้ามาใหม่ เช่น เส้นทางการเดินรถถูกกำหนดเส้นทาง โดยรถคันที่ 1 เดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า A และ B รถคันที่ 2 เดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า C และ D และรถคันที่ 3 เดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า E, F และ G แสดงดังรูปที่ 2.20 เมื่อเวลาผ่านไปมีความต้องการสินค้าจากลูก H เข้ามา แสดงดังรูปที่ 2.21 ดังนั้น จึงทำการจัดเส้นทางรอบใหม่ทันที โดยเมื่อทำการจัดเส้นทางใหม่แล้วจะได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้รถคันที่ 2 ไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า H จากนั้น จึงแจ้งให้รถคันที่ 2 ทราบว่า มีการปรับเส้นทาง โดยต้องไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า H ด้วย แสดงดังรูปที่ 2.22 เพื่อสามารถดำเนินการขนส่งสินค้าได้ทันเวลาพอดี



รูปที่ 2.20 แสดงเส้นทางการเดินรถของแต่ละคัน



รูปที่ 2.21 แสดงเมื่อมีความต้องการของลูกค้าเพิ่มเข้ามา



รูปที่ 2.22 แสดงเส้นทางเมื่อมีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่

เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตได้ชัดเจนขึ้น จะขอแสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตผ่านทาง ตัวอย่างที่ 2.3

ตัวอย่างที่ 2.3 มีลูกค้าตามจุดต่างๆ อยู่ 6 ราย คือ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 และมีจุดกระจายสินค้า (0) อยู่ 1 แห่ง โดยมีสมมติฐาน แสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 แสดงสมมติฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

ข้อที่	สมมติฐาน
1	รถบรรทุกวิ่งออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมาสิ้นสุดที่จุดเดิม
2	ปัญหาเป็นแบบสมมาตร คือ ระยะทางจากจุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i มีระยะทางเท่ากัน
3	มีรถบรรทุกทั้งหมด 3 คัน ประกอบไปด้วย รถบรรทุก 4 ล้อ รถบรรทุก 6 ล้อ และรถบรรทุก 10 ล้อ
4	รถบรรทุก 4 ล้อ บรรจุสินค้าได้ 100 หน่วย รถบรรทุก 6 ล้อ บรรจุสินค้าได้ 200 หน่วย และรถบรรทุก 10 ล้อ บรรจุสินค้าได้ 300 หน่วย
5	ยานพาหนะทุกประเภท และทุกคันมีอัตราเร็วในการเดินทางเท่ากัน
6	เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าแล้วและมีคำขอจากลูกค้าใหม่เข้ามายานพาหนะไม่จำเป็นต้องกลับไปที่คลังสินค้าเพื่อบรรทุกสินค้าเพิ่มแต่ยานพาหนะสามารถพิจารณาให้บริการลูกค้าใหม่ โดยใช้สินค้าที่บรรทุกอยู่ในรถได้เลย
7	เวลาในการให้บริการเท่ากับ 1 ชั่วโมง
8	ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าก่อนกรอบเวลาการรับสินค้าของลูกค้ารายใดๆ ยานพาหนะจะต้องรอคอยให้ถึงช่วงเริ่มต้นของกรอบเวลาของลูกค้ารายนั้นก่อน จึงจะสามารถเริ่มการขนถ่ายสินค้าได้
9	ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าหลังเวลาสุดท้ายที่ลูกค้าจะสามารถรับสินค้าได้ (Due Date Time) ในกรณีนี้จะมีค่าปรับเกิดขึ้น 200 บาท โดยค่าปรับจะไม่แปรผันตามระยะเวลา
10	รถบรรทุกทุกคันมีเวลาในการใช้งานตั้งแต่ชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 8
11	เวลาในการเดินทางจาก จุด i ไปยังจุด j เท่ากับ 1 ชั่วโมงเท่ากันทุกเส้นทาง
12	ลูกค้ามีความต้องการสินค้าและมีการจำกัดเวลาในการในการรับสินค้า โดยที่เวลาจะเริ่มต้นจากชั่วโมงที่ 0 ถึง ชั่วโมงที่ 8 ดังตารางที่ 2.9
13	มีระยะทางการขนส่ง ดังตารางที่ 2.10
14	ระยะทาง 1 หน่วย มีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง 50 บาท
15	ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถบรรทุก 4 ล้อ เท่ากับ 100 บาท ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถบรรทุก 6 ล้อ เท่ากับ 200 บาท และค่าใช้จ่ายคงที่ของรถบรรทุก 10 ล้อ เท่ากับ 300 บาท
16	มีระยะทางการขนส่ง แสดงดังตารางที่ 2.10

ตารางที่ 2.9 แสดงปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้า

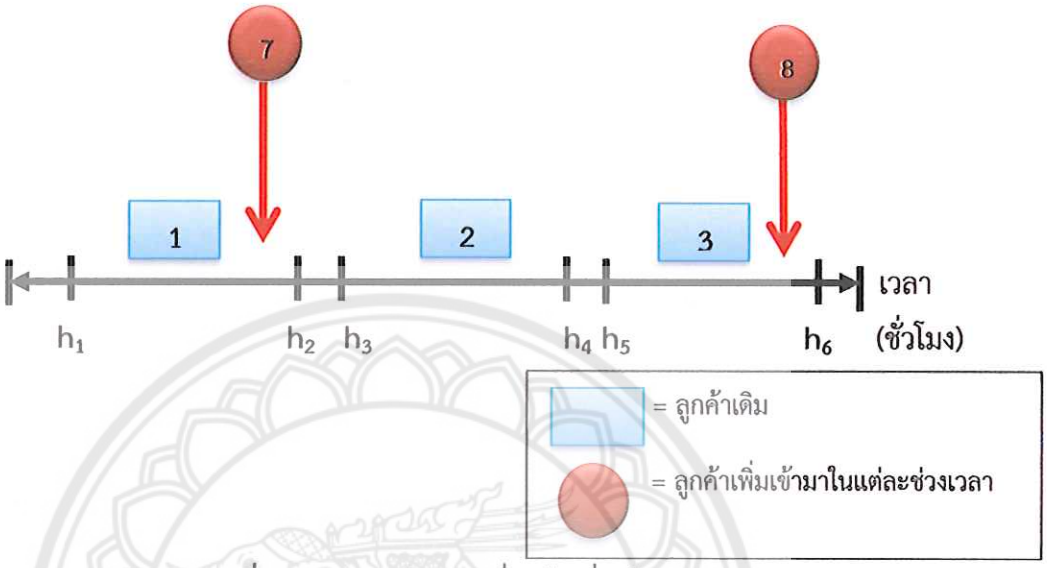
ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)	กรอบเวลาในการรับสินค้า (ชั่วโมงที่)
1	80	2-3
2	120	2-5
3	60	3-5
4	100	4-7
5	70	1-6
6	95	4-7

เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงมีลูกค้ารายที่ 7 สั่งสินค้าเพิ่มจำนวน 30 หน่วย ซึ่งมีกรอบเวลาในการรับสินค้า ชั่วโมงที่ 2 ถึง ชั่วโมงที่ 6 และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 3 ชั่วโมง มีลูกค้ารายที่ 8 สั่งสินค้าเพิ่มจำนวน 25 หน่วย ซึ่งมีกรอบเวลาในการรับสินค้า ชั่วโมงที่ 4 ถึง ชั่วโมงที่ 5

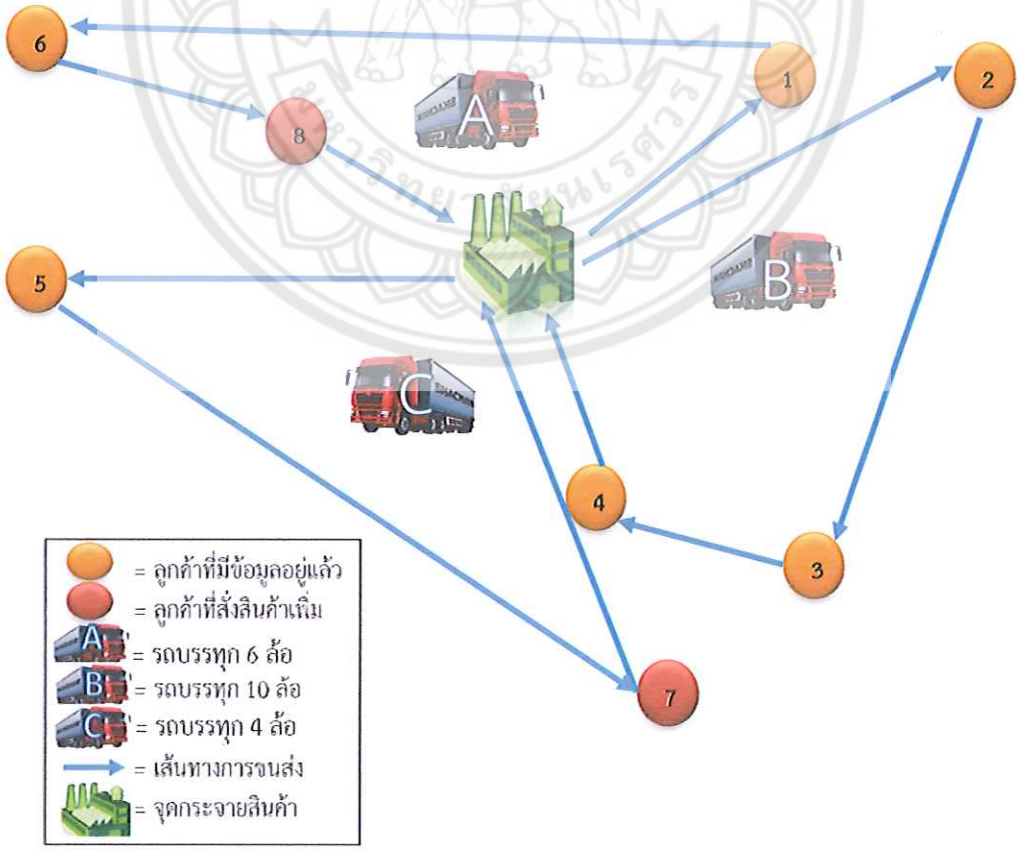
ตารางที่ 2.10 แสดงระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุดที่ 0 ถึง จุดที่ 8

	0	1	2	3	4	5	6	7	8
0									
1	3								
2	6	2							
3	5	6	7						
4	2	5	8	3					
5	7	11	14	11	8				
6	7	10	14	13	9	3			
7	5	9	10	4	3	9	12		
8	3	7	10	10	7	6	4	10	

จากโจทย์ในช่วงแรกที่มีการทราบข้อมูลอยู่แล้ว ซึ่งเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.16 เมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมงมีลูกค้ารายที่ 7 สั่งสินค้าเพิ่มจำนวน 30 หน่วย และเมื่อเวลาผ่านไปอีก 3 ชั่วโมง มีลูกค้ารายที่ 8 สั่งสินค้าเพิ่มจำนวน 25 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.23



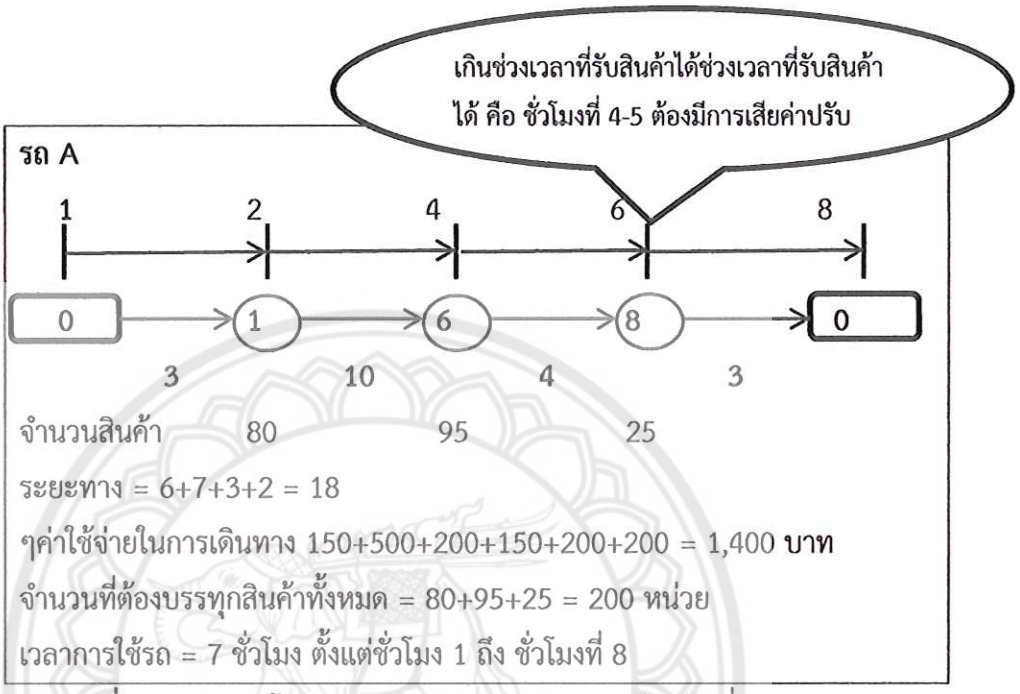
รูปที่ 2.23 แสดงช่วงเวลาที่ลูกค้าเพิ่มเข้ามา



รูปที่ 2.24 แสดงคำตอบของตัวอย่างที่ 2.3 เส้นทางการเดินรถแต่ละคัน

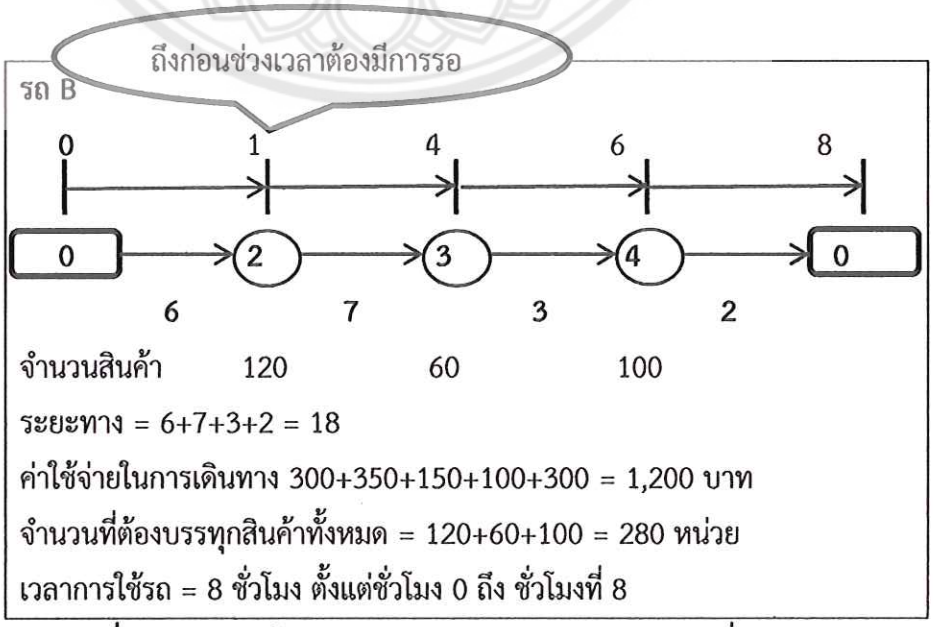
i 6894745

สมมติว่ารูปแบบการเดินทาง 1 แบบกำหนดเส้นทางการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.24 โดยรถ A ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 1, 6, 8 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 18 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 200 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.25



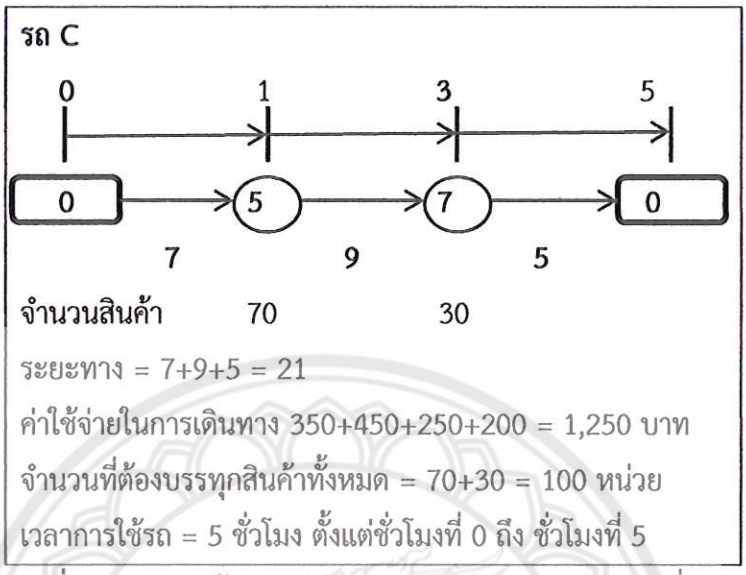
รูปที่ 2.25 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ A ของตัวอย่างที่ 2.3

รถ B ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 2, 3, 4 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 18 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 280 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.26 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ B ของตัวอย่างที่ 2.3

รถ C ต้องออกจากจุดกระจายสินค้าไปส่งสินค้าที่จุดที่ 5, 7 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า โดยมีผลรวมระยะทางเท่ากับ 21 บรรทุกสินค้าทั้งหมด 100 หน่วย แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถ C ของตัวอย่างที่ 2.3

โดยผลรวมของระยะทางที่รถ A, B และ C ใช้ไปส่งสินค้าตามจุดต่างๆ **ได้ระยะทางรวมทั้งหมด** 57 และมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม 3,850 บาท

2.2 วิธีการเมตาฮิวริสติก

วิธีการเมตาฮิวริสติก หมายถึง ชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหา (Algorithm) **แบบฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่สาม**ารถนำหลักการเดียวกันไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลายปัญหา ซึ่งในปัจจุบัน **วิธีการออกแบบฮิวริสติก** โดยอาศัยหลักการแก้ปัญหาได้รวดเร็วและใช้งานได้ง่าย

2.2.1 หลักการเบื้องต้นของวิธีการเมตาฮิวริสติก

หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก มีดังต่อไปนี้

2.2.1.1 วิธีการเมตาฮิวริสติก มีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Region)

2.2.1.2 วิธีการเมตาฮิวริสติก มีจุดประสงค์ เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาอันสั้น

2.2.1.3 วิธีการเมตาฮิวริสติก อาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น

2.2.1.4 วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ

2.2.1.5 วิธีการเมตาฮิวริสติก อาจจะเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิค เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.2.1.6 วิธีการเมตาฮิวริสติก มีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอน แม้ว่าเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดของขั้นตอนย่อยที่แตกต่างกัน แต่ฮิวริสติกสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาต้องดำเนินตามขั้นตอนหลักของเมตาฮิวริสติกดั้งเดิม เช่น การประยุกต์ใช้วิธีระบบมด (Ant System) ในปัญหาที่แตกต่างกัน จะมีระเบียบหลักๆ ที่เหมือนกัน เช่น การมีทัศนคติ (Bias) ก่อนตัดสินใจหลังจากตัดสินใจต้องใช้คำตอบมาเพิ่มหรือลดปริมาณทัศนคตินั้น แต่วิธีการตัดสินใจใช้ระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะไม่เหมือนกัน และวิธีการเลือกคำตอบมาเพิ่มหรือลดระดับทัศนคติในแต่ละปัญหาอาจจะแตกต่างกัน เป็นต้น

2.2.1.7 วิธีการเมตาฮิวริสติก ต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

2.2.1.8 วิธีการเมตาฮิวริสติก อาจจะมีลักษณะเป็นคำบรรยายโดยย่อก็ได้ หรือไม่จำเป็นต้องมีหลักการทางคณิตศาสตร์

2.2.1.9 ปัจจุบันนี้ วิธีการเมตาฮิวริสติก ใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้นในการจำคำตอบเดิมเพื่อค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำเดิมหรือแตกต่างไปจากเดิม เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีระบบมด เป็นต้น

2.2.2 การแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติก

ในปัจจุบัน วิธีการทางด้านเมตาฮิวริสติกมีอยู่หลากหลาย ให้เลือกใช้ตามความชอบ และถนัดแต่ละวิธีการจะมีจุดดีและจุดด้อยที่แตกต่างกัน บางวิธีการให้ผลดีแต่ใช้เวลาในการคำนวณนาน บางวิธีการรวดเร็วแต่ให้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าวิธีอื่นๆ การแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติกมีหลากหลายวิธี (Blum and Roli, 2003) ได้เสนอวิธีการแบ่ง ดังนี้

2.2.2.1 แบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ หรือแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติวิธีที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด (Ant System) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) ส่วนวิธีการที่ไม่ได้เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search) เป็นต้น

2.2.2.2 แบบใช้ประชากรหรือแบบไม่ใช้ประชากร (Population or Non Based Heuristic) แบบใช้ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก ส่วนแบบไม่มีประชากร ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว วิธีแบบใช้ประชากร เช่น วิธีระบบมด วิธีเชิงพันธุกรรม และวิธีลอกแบบ เป็นต้น วิธีแบบไม่ใช้ประชากร เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน และวิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบ

วนรอบซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข บางครั้งเราเรียกกรณีที่ไม่ใช้ประชากรว่า วิธีการแบบทราเจกทอรี (Trajectory Method)

2.2.2.3 แบบสมการเป้าหมายคงที่หรือไม่คงที่ (Dynamic or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้นหรือไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย ในกรณีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบมีการชี้นำ (Guided Local Search) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นหาคำตอบต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ และวิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เป็นต้น

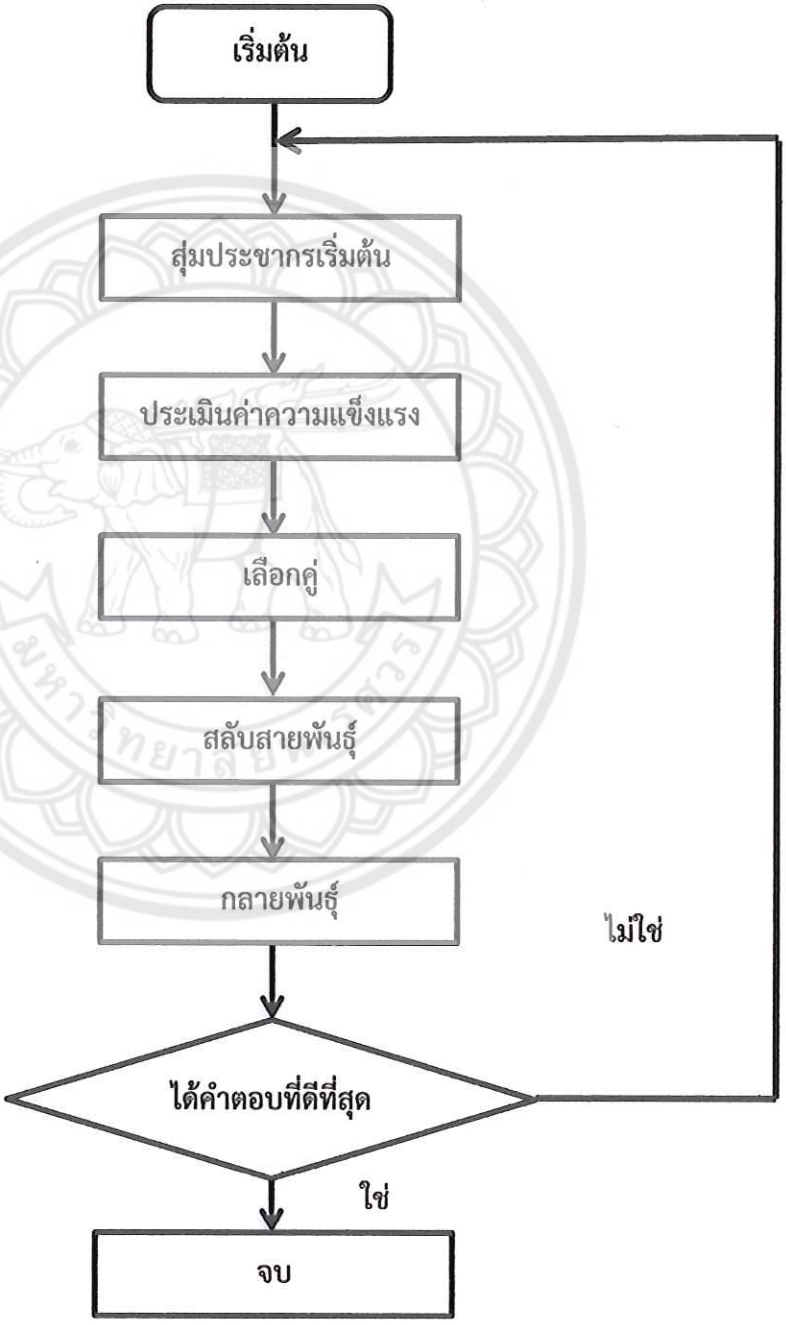
2.2.2.4 แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่กรณีที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ ได้แก่ วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นหาต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ ส่วนกรณีที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียง ได้แก่ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เป็นต้น

2.2.2.5 แบบมีและไม่มีหน่วยความจำ ถ้ามีการใช้หน่วยความจำ จะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป ซึ่งกรณีที่ใช้หน่วยความจำที่ปรากฏชัด ได้แก่ วิธีระบบมด และวิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ เป็นต้น

2.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม

(ณัฐกฤตา ศักดิ์เรืองฤทธิ์, 2550) วิธีการเชิงพันธุกรรมมีรากฐานมาจากวิวัฒนาการ จาก ชาร์ล ดาวิน (Chrales Dawin, 1859) กล่าวว่าเป็นวิธีเมตาฮิวริสติกส์ชนิดหนึ่งที่ใช้ค้นหาค่าของคำตอบ โดยจำลองวิธีการทางชีววิทยาเรื่องการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือกคำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด วิธีเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการค้นหาคำตอบ โดยเลียนแบบการคัดเลือกตามธรรมชาติ ซึ่งอาศัยหลักการสุ่มเพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น โดยมีการกำหนดฟังก์ชันเป้าหมาย กำหนดรูปแบบการแทนโครโมโซม กระบวนการทำงานของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม เมื่อกำหนดรูปแบบโครโมโซม และฟังก์ชันความเหมาะสมได้แล้วขั้นตอนต่อไปจะเป็นการทำงานของ วิธีการขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งจะสร้างวิวัฒนาการของกลุ่มคำตอบในรุ่นต่อๆ ไป องค์ประกอบหลัก คือ การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ (Chromosome Encording) การสร้างประชากรเริ่มต้น (Initial Population) สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function) และวิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม (Gennetic Operator) โดยการกำหนดฟังก์ชันความเหมาะสมรวมทั้งรูปแบบโครโมโซมก่อน จากนั้นจึงเริ่มสร้างประชากรเริ่มต้นกำหนดตามรูปแบบโครโมโซมที่กำหนดไว้ เพื่อคัดเลือกเข้าสู่กระบวนการ

วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยทำการคัดเลือกเฉพาะโครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมเป็นที่น่าพอใจชุดหนึ่งเก็บไว้ โครโมโซมที่คัดเลือกไว้นั้นจะถูกนำมาทำการสลับสายพันธุ์และกลายพันธุ์ ได้เป็นโครโมโซมชุดใหม่ ซึ่งจะนำโครโมโซมชุดใหม่มาประเมินค่าความเหมาะสมเพื่อทำการคัดเลือก และดำเนินการต่อไปจนสิ้นสุดตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้ ซึ่งจะได้โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมเป็นที่น่าพอใจ หรือได้คำตอบของปัญหาที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 2.28



รูปที่ 2.28 ผังงานแสดงขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม

วิธีการเชิงพันธุกรรม คือ วิธีแก้ปัญหาแบบหนึ่งที่ใช้ในการค้นหา เพื่อให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด (Optimum Point) ซึ่งเป็นการได้พัฒนา และจำลองวิธีการมาจากกระบวนการทางพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิต จากทฤษฎีวิวัฒนาการจอห์น โฮลแลนด์ นักวิทยาศาสตร์สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ ได้ทำการคิดค้นการลอกเลียนแบบขั้นตอนธรรมชาติของการพัฒนาสิ่งมีชีวิตขึ้นในปีคริสต์ศักราช 1970 โดยร่วมกับเพื่อนร่วมงานและนักศึกษาของมหาวิทยาลัยมิชิแกน ประเทศสหรัฐอเมริกา โดยมีจุดมุ่งหมายเพื่ออธิบายการเปลี่ยนแปลงกระบวนการทางธรรมชาติของพันธุกรรม และนำกลไกการเปลี่ยนแปลงเหล่านี้มาประยุกต์ใช้กับการเขียนโปรแกรม

จากการคิดค้นของ จอห์น โฮลแลนด์ ทำให้สามารถค้นหา และแก้ปัญหาให้ได้จุดที่เหมาะสมที่สุด ทั้งอาจจะเป็นจุดต่ำสุด (Minimum Point) หรือจุดสูงสุด (Maximum Point) สำหรับหลักการของวิธีการค้นหาแบบวิธีการเชิงพันธุกรรม คือ สิ่งมีชีวิตทั้งหมดจะมีทั้งลักษณะที่ดีและไม่ดี ในการกำหนดว่าสิ่งมีชีวิตไหนมีลักษณะที่ดีหรือไม่ดีนั้น จะถูกกำหนดจากทฤษฎีการหาค่าที่ดีที่สุด (Optimization Theory) ซึ่งสิ่งมีชีวิตที่มีลักษณะที่ดีนั้น จะได้รับการสนับสนุนให้มีการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมเพื่อให้ได้สิ่งมีชีวิตใหม่ที่ดีขึ้น ในส่วนที่มีลักษณะที่ไม่ดีจะไม่ถูกสนับสนุนหรือไม่นำส่วนนี้มาพิจารณา ดังนั้น ในหลักการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมจึงถูกนำเสนอข้อมูลในรูปแบบโครโมโซม นั้นหมายความว่า คำตอบที่สามารถเป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหาจะถูกนำมาแปลงเป็นโครโมโซม เพื่อนำโครโมโซมไปใช้ในกระบวนการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรม โดยจะใช้สมการแทนค่าคำตอบ (Fitness Function) ที่มีความสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ (Objective Function) กำหนดให้แต่ละโครโมโซม และโครโมโซมเหล่านั้น จะถูกนำมาพิจารณาว่าโครโมโซมใดควรนำมาสืบสายพันธุ์ต่อไป หรือโครโมโซมใดไม่ควรนำมาสืบสายพันธุ์ และจากการหาคำตอบโดยใช้โครโมโซม ในแต่ละรุ่นจะมีการสุ่ม (Generations) คำตอบที่เป็นไปได้ทั้งหมดของปัญหา จึงทำให้วิธีการเชิงพันธุกรรม สามารถหาคำตอบที่มีค่าสูงสุดหรือต่ำสุดได้สมบูรณ์และเหมาะสมที่สุด

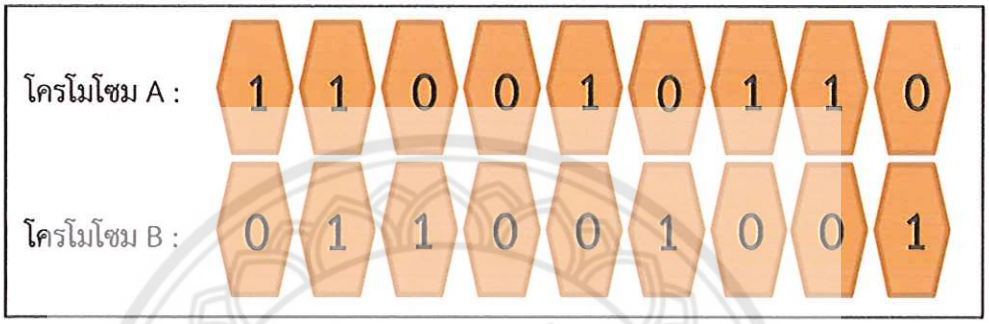
วิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นวิธีการหาคำตอบที่ช่วยในการหาคำตอบของปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เนื่องจากสมบัติการเลียนแบบการถ่ายทอดลักษณะทางพันธุกรรมตามธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา ซึ่งมีการใช้ตัวดำเนินการ (Operator) คือ การเลือก (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นตัวสุ่มในการหาคำตอบในบริเวณของปัญหา ซึ่งจะช่วยให้มีความหลากหลาย (Diversity) ในการหาคำตอบทุกบริเวณของปัญหา วิธีการเชิงพันธุกรรม มีองค์ประกอบที่สำคัญ 5 ส่วนด้วยกัน โดยมีรายละเอียด ดังนี้

2.3.1 การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ

การออกแบบโครโมโซมแทนคำตอบ เป็นขั้นตอนการออกแบบโครโมโซม เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาจริงที่ต้องการพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาด้วยวิธีการทางพันธุกรรม การออกแบบโครโมโซมจะมีผลต่อความเร็วของวิธีการและค่าคำตอบ รวมถึงวิธีการสืบพันธุกรรม เช่น การคัดเลือก

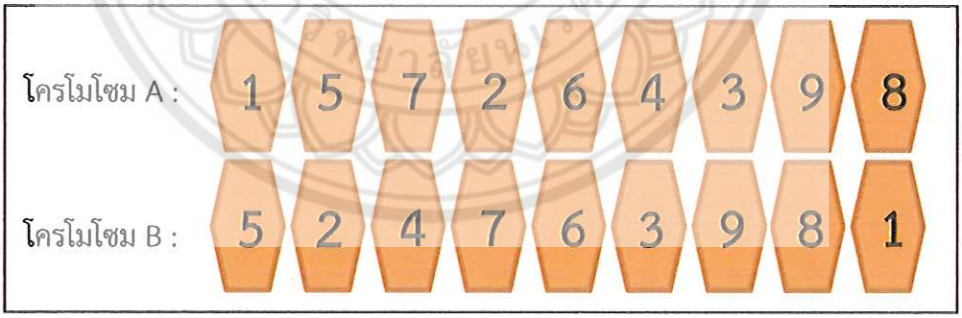
สายพันธุ์ (Selection) การสลับสายพันธุ์ (Crossover) และการกลายพันธุ์ (Mutation) ซึ่งจะส่งผลกับคำตอบสุดท้ายที่ผู้พัฒนาวิธีการต้องการ การออกแบบโครโมโซมจึงเป็นขั้นตอนแรกที่สำคัญมาก และหากผู้ออกแบบสามารถออกแบบได้ดีจะทำให้ได้คำตอบที่ดีในเวลาอันรวดเร็ว วิธีการออกแบบโครโมโซมเพื่อแทนคำตอบมีหลายวิธี ดังรายละเอียดต่อไปนี้

2.3.1.1 การออกแบบโครโมโซมแบบไบนารี (Binary Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่แทนที่ด้วย 0 หรือ 1 เท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.29



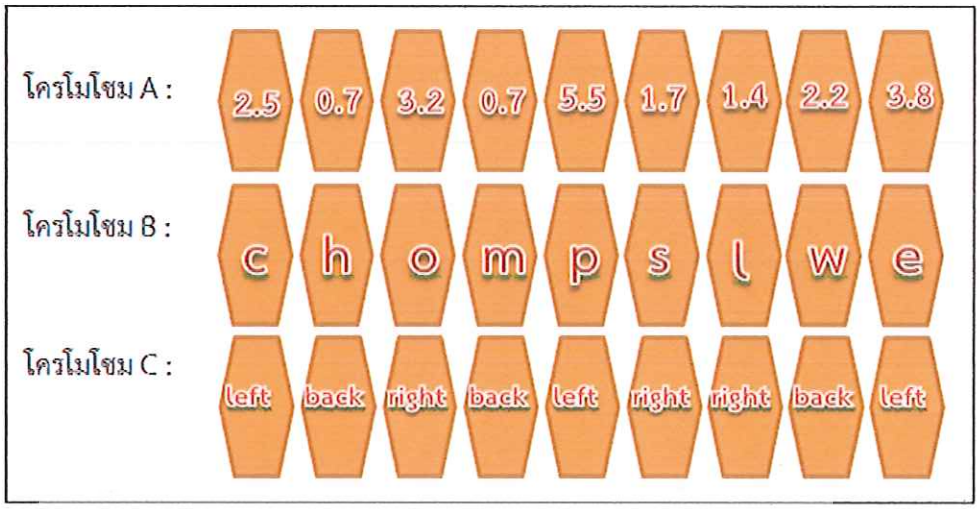
รูปที่ 2.29 แสดงการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง

2.3.1.2 การออกแบบโครโมโซมแบบลำดับ (Permutation Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เป็นตัวเลขทั่วไปได้ เช่น ตัวเลข 1 ถึง 100 หรือมากกว่า ซึ่งตัวเลขแต่ละตัวบอกถึงลำดับขั้นในการทำงานหรือเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.30



รูปที่ 2.30 แสดงโครโมโซมแบบลำดับ

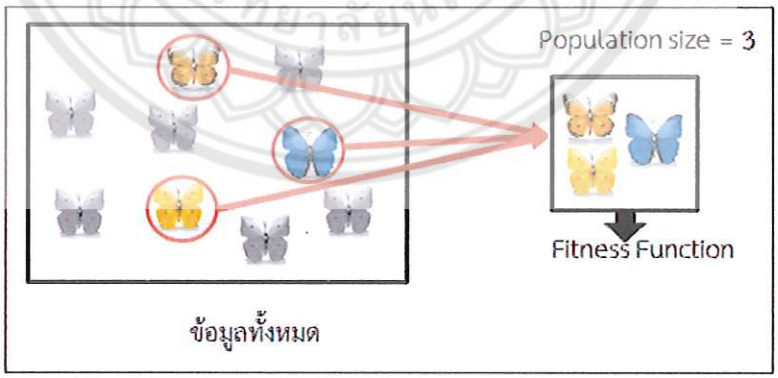
2.3.1.3 การออกแบบโครโมโซมแบบใช้ค่า/เครื่องหมายจริง (Value Encoding) เป็นการออกแบบโครโมโซมที่ใช้เลขจำนวนจริง หรือใช้อักษรที่เป็นตัวแทนของคำตอบจริงๆ ได้เลย โดยที่ไม่ต้องแปลงค่าจากไบนารีให้เป็นขนาดการผลิต แต่ละหน่วยของโครโมโซมอาจจะใช้จำนวนหน่วยความจำมากกว่า เพราะไบนารีใช้เพียง 1 ไบต์ เท่านั้น หากแทนด้วยค่าจำนวนจริงอาจจะต้องใช้ 10, 100, 1000 หรือมากกว่าตามขนาดของเลขจำนวนจริง หรือแม้แต่การออกแบบโครโมโซมที่แทนด้วยอักษร คำ หรือสัญลักษณ์อื่นใดก็สามารถทำได้ แสดงดังรูปที่ 2.31



รูปที่ 2.31 แสดงโครโมโซมแบบใช้ค่า/เครื่องหมายจริง

2.3.2 การสร้างประชากรเริ่มต้น

การสร้างประชากรเริ่มต้น เป็นการหาคำตอบเริ่มต้นขึ้นมา เพื่อใช้เป็นจุดเริ่มต้นของขั้นตอนการวิวัฒนาการ ขั้นตอนนี้เป็นขั้นตอนแรกที่เกิดขึ้นก่อนที่จะเริ่มเข้ากระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม โดยประชากรกลุ่มแรกหรือประชากรต้นกำเนิดอาจจะเกิดจากการสุ่ม หรือการกระทำใดๆ เพื่อให้ได้ประชากรต้นแบบจำนวนหนึ่ง อาจใช้วิธีเดียวกันหรือต่างกันก็ได้ โดยจำนวนของประชากรต้นแบบที่สร้างขึ้นมานี้ เป็นพารามิเตอร์ที่ต้องตั้งขึ้นมาก่อนที่จะเริ่มกระบวนการของวิธีการเชิงพันธุกรรม แสดงดังรูปที่ 2.32



รูปที่ 2.32 แสดงการสุ่มหาประชากรเริ่มต้นจำนวน 3 โครโมโซม

2.3.3 สมการแทนค่าคำตอบหรือค่าความแข็งแรง

การหาสมการแทนค่าของคำตอบ คือ การหาคำตอบที่ใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม เพื่อให้คะแนนคำตอบต่างๆ ที่เป็นไปได้ ซึ่งผลการประเมินความเหมาะสมนี้อาจจะเป็น

คำตอบของปัญหาที่ต้องการแก้ปัญหานี้โดยตรงหรือเป็นคำตอบอื่นๆ ที่ใช้เพื่อประเมินความเหมาะสมเท่านั้น แสดงดังรูปที่ 2.33

รูปที่ 2.33 แสดงการหาค่าความเหมาะสม

2.3.4 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรม

วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมจะใช้ในการปรับเปลี่ยนองค์ประกอบของข้อมูลตลอดกระบวนการ ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ การสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์ ซึ่งจะเป็นการกลายพันธุ์ ซึ่งจะเป็นกระบวนการค้นหาและแลกเปลี่ยนผลคำตอบเพื่อหาผลเฉลยที่ดียิ่งขึ้น

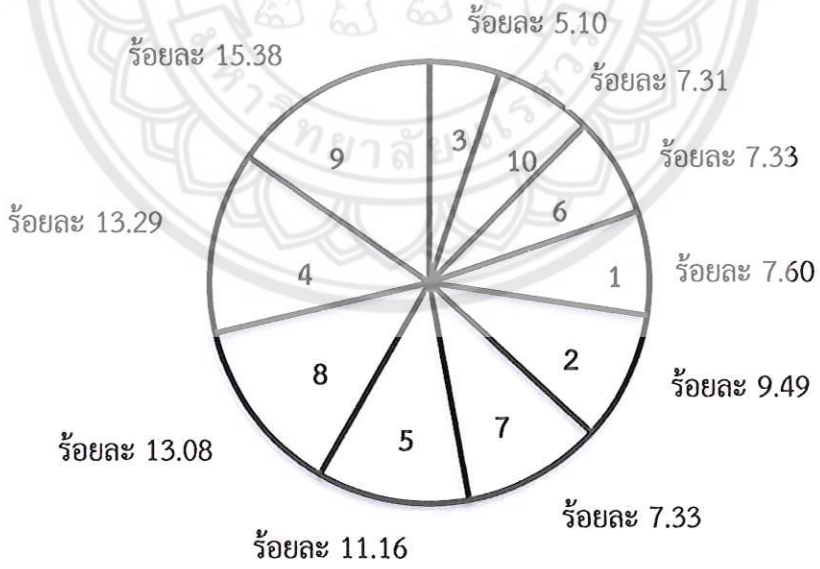
2.3.4.1 การคัดเลือกสายพันธุ์

เพื่อให้เกิดการอยู่รอดของสิ่งมีชีวิต โดยจะต้องคัดเลือกสายพันธุ์มาเป็นโครโมโซมพ่อ และแม่ (Parent) ในการสืบสายพันธุ์ จึงทำให้เกิดรูปแบบการคัดเลือกมากมายเพื่อให้เกิดผลลัพธ์ที่น่าพอใจที่สุด เช่น การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection) การคัดเลือกตามความแข็งแรง การคัดเลือกแบบจัดอันดับ (Ranking Selection) การคัดเลือก โดยการแข่งขัน (Tournament Selection) และอื่นๆ มากมายหลายวิธี เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการคัดเลือกโครโมโซมที่ดี โดยจะขอยกตัวอย่างการคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทาย การคัดเลือกแบบวงล้อรูเล็ต (Roulette Wheel) คือ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีกว่ามีโอกาสถูกเลือกมากกว่า อธิบายได้จากรูปต่อไปนี้ เมื่อแสดงถึงวงล้อเสี่ยงโชคที่โครโมโซมทั้งหมดอาศัยอยู่ ขนาดพื้นที่ของวงล้อเสี่ยงโชค คือ สัดส่วนของค่าความเหมาะสม ที่เหมาะสมของทุกโครโมโซม ค่าที่มากที่สุด คือ ส่วนที่ใหญ่ที่สุดตามตัวแสดงดังรูปที่ 2.34 เมื่อมีการหมุนวงล้อ โครโมโซมที่มีค่าความเหมาะสมมากจะมีโอกาสถูกเลือกได้บ่อย

ตารางที่ 2.11 ความน่าจะเป็นในการถูกเลือก

โครโมโซม	ค่าความแข็งแรง	ความน่าจะเป็นที่ถูกเลือก
1	320	320/4213=ร้อยละ 7.60
2	400	400/4213=ร้อยละ 9.49
3	215	215/4213=ร้อยละ 5.10
4	560	560/4213=ร้อยละ 13.29
5	470	470/4213=ร้อยละ 11.16
6	309	309/4213=ร้อยละ 7.33
7	432	432/4213=ร้อยละ 10.25
8	551	551/4213=ร้อยละ 13.08
9	648	648/4213=ร้อยละ 15.38
10	308	308/4213=ร้อยละ 7.31
รวม	4,213	ประมาณร้อยละ 10

จากตารางที่ 2.11 นำอัตราค่าความน่าจะเป็นในการถูกเลือกมาสร้างวงล้อ**เสี่ยงทาย** แสดงดังรูปที่ 2.34



รูปที่ 2.34 วงล้อเสี่ยงทาย จากตารางที่ 2.8

2.3.4.2 การสลับสายพันธุ์

การสลับสายพันธุ์ เป็นกระบวนการที่สำคัญของวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเมื่อเกิดการสลับสายพันธุ์เกิดขึ้นในทางพันธุศาสตร์แล้ว จะทำให้เกิดการเปลี่ยนของสิ่งมีชีวิตที่หลากหลายขึ้น ซึ่งการสลับสายพันธุ์ จะต้องอาศัยกระบวนการวิวัฒนาการที่เป็นเวลานาน แต่ในทำนองเดียวกันในทางการแก้ปัญหาแล้ว จะทำให้เกิดความหลากหลายของคำตอบที่ได้ทำให้ได้รับคำตอบที่หลากหลาย จึงสามารถเลือกเอาคำตอบที่เหมาะสมกับความต้องการได้มากที่สุด ขั้นตอนในการสลับสายพันธุ์ นำ 2 โครโมโซมมาผสมกันเพื่อให้ได้โครโมโซมใหม่ขึ้นมาจากนั้นใช้วิธีการที่ง่ายที่สุด คือ สุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุ์และทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งสลับสายพันธุ์ของพ่อ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งสลับสายพันธุ์ของแม่รวมกันจะได้ลูกตัวที่ 1 ออกมา จากนั้น ทำการคัดลอกทุกอย่างที่อยู่หน้าตำแหน่งสลับสายพันธุ์ของแม่ และคัดลอกทุกอย่างหลังตำแหน่งสลับสายพันธุ์ของพ่อรวมกันจะได้ลูกตัวที่ 2 ออกมา แสดงดังรูปที่ 2.35

รูปที่ 2.35 แสดงการสลับสายพันธุ์

เทคนิคของการสลับสายพันธุ์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ ตัวอย่างการสลับสายพันธุ์กับรูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ เช่น การสลับสายพันธุ์กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองที่มีลักษณะการสลับสายพันธุ์หลายลักษณะ แสดงดังตารางที่ 2.12

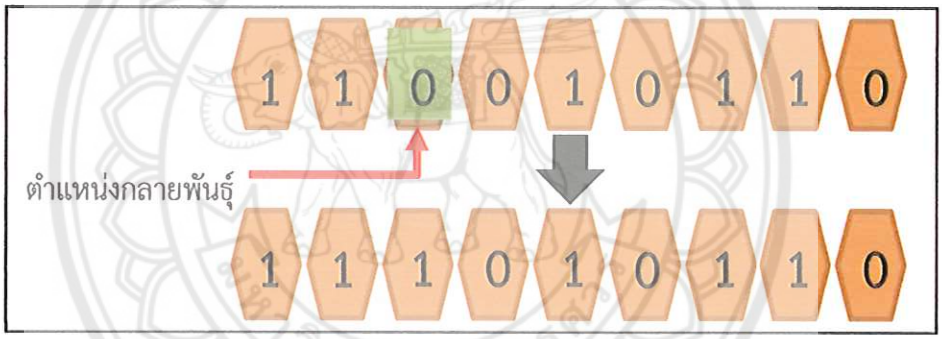
ตารางที่ 2.12 แสดงลักษณะการสลับสายพันธุ์แบบต่างๆ กับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสอง

ลักษณะการสลับสายพันธุ์	พ่อ	แม่	บุตรคนที่ 1	บุตรคนที่ 2
Single Point	0100|110001	1001|011100	0100011100	1001110001
Two Point	0100|11|0001	1001|01|1100	0100010001	1001111100
Arithmetic	0100110001	1001011100	0000010000 and	1101111101 or

I คือ ตำแหน่งสลับสายพันธุ์ สุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุ์เพียง 1 ตำแหน่ง (Single Point) สุ่มตำแหน่งสลับสายพันธุ์เพียง 2 ตำแหน่ง (Two Point) การใช้ Operator and และ or (Arithmetic)

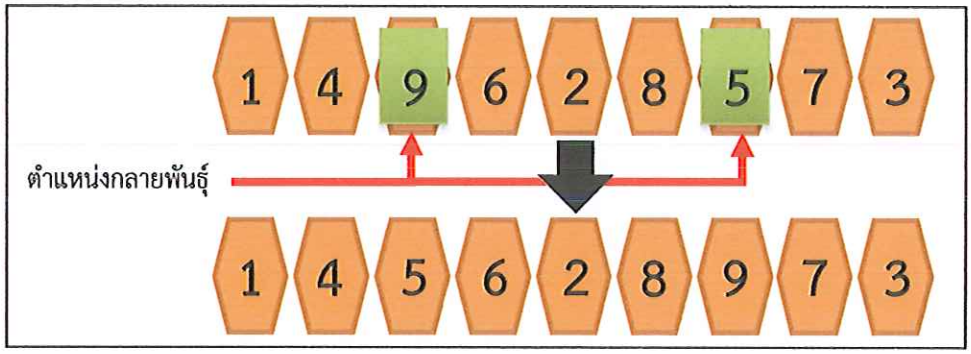
2.3.4.3 การกลายพันธุ์

การกลายพันธุ์ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นหลังจากการสลับสายพันธุ์เสร็จสิ้น นั่นหมายความว่า ได้รุ่นลูกที่เกิดจากผสมจากรุ่นพ่อแม่แล้ว จึงนำรุ่นลูกมาดำเนินการกลายพันธุ์ในการกลายพันธุ์นั้น ในทางพันธุศาสตร์จะทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงหรือทำให้เกิดลักษณะใหม่ๆ เกิดขึ้นและทำให้เกิดวิวัฒนาการ สำหรับการแก้ปัญหาแล้ว การที่เกิดผลลัพธ์ในลักษณะที่แตกต่างออกไปจากเดิม การกลายพันธุ์จะทำหน้าที่ป้องกันข้อผิดพลาดของวิธีการแก้ไขปัญหาทั้งหมดในการเข้าไปในเฉพาะปัญหาที่ดีที่สุดของการแก้ปัญหา ขั้นตอนในการกลายพันธุ์ เมื่อได้ตำแหน่งกลายพันธุ์แล้วเปลี่ยนแปลงค่า ณ ตำแหน่งที่สุ่มนั้นในตัวอย่างดำเนินการกับการเข้ารหัสแบบเลขฐานสองจะมีการเปลี่ยนที่เป็นไปได้จาก 1 เป็น 0 หรือ จาก 0 เป็นหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 2.36



รูปที่ 2.36 แสดงการกลายพันธุ์

สำหรับการกลายพันธุ์สามารถเกิดได้มากกว่า 2 ตำแหน่งขึ้นอยู่กับการสุ่มที่อยู่ภายใต้ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์เทคนิคของการกลายพันธุ์ส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการใช้รูปแบบโครโมโซมแบบต่างๆ ในที่นี้ จะยกตัวอย่างของการกลายพันธุ์กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding ที่ใช้กับปัญหาของการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman) แสดงดังรูปที่ 2.37



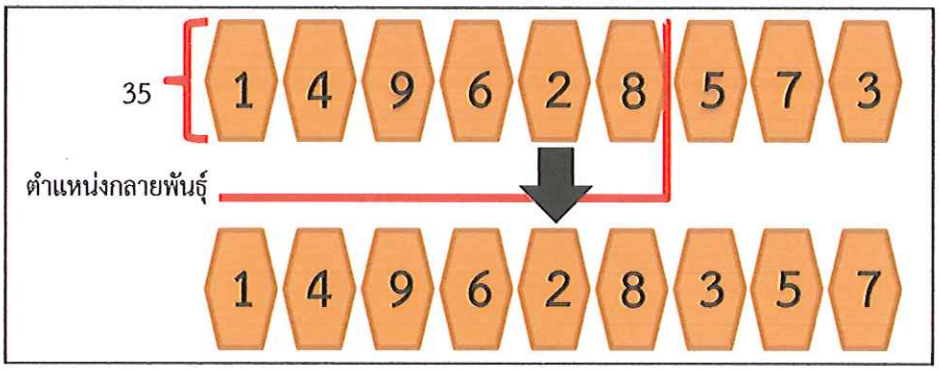
รูปที่ 2.37 แสดงการกลายพันธุ์กับโครโมโซมรูปแบบ Permutation Encoding

มีตำแหน่งกลายพันธุ์ 2 ตำแหน่ง เพื่อที่จะสลับค่าระหว่าง 2 ตำแหน่งที่ได้มา แต่การกลายพันธุ์กับการเข้ารหัสแบบค่าที่เป็นจำนวนจริงอาจจะทำการเพิ่มค่าหรือลบค่าก็ได้

2.3.5 พารามิเตอร์ (Parameter)

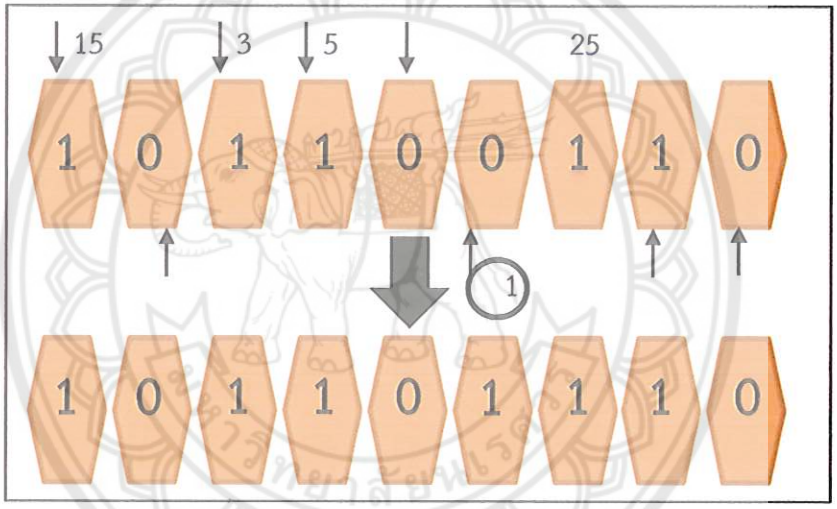
ตัวแปรที่สำคัญหรือเป็นพื้นฐานของ ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรมมี 3 ตัว คือ

2.3.5.1 ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่านได้ พบว่า ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ส่วนใหญ่อยู่ที่ร้อยละ 60 ถึงร้อยละ 95 ถ้าหากไม่มีการสลับสายพันธุ์ (ร้อยละ 0) ผลที่ได้ คือ การทำสำเนาที่ถูกต้องจาก Parent แต่ถ้ามีการสลับสายพันธุ์เกิดขึ้นบ่อยจะทำให้เกิดผลลัพธ์ที่หลากหลาย บางปัญหาอาจจะแก้ปัญหาได้ดีในความน่าจะเป็นอยู่ที่ร้อยละ 85 ถึงร้อยละ 95 ตัวอย่างการเกิดการสลับสายพันธุ์ กำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิดสลับสายพันธุ์เป็นร้อยละ 85 ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 นั่นหมายความว่า หากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 85 ก็จะเกิดการสลับสายพันธุ์ นอกจากนั้น จะไม่เกิดการสลับสายพันธุ์จากตัวอย่างสุ่มค่าได้ 35 จึงเกิดการสลับสายพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 2.38



รูปที่ 2.38 แสดงโอกาสเกิดการสลับสายพันธุ์

2.3.5.2 ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์จะมีค่าที่อยู่ในช่วง 0 ถึง 100 จากการทดลองของนักวิทยาศาสตร์หลายท่าน พบว่า ความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ส่วนใหญ่อยู่ที่ร้อยละ 0 ถึงร้อยละ 1 ต่อ 1 ตำแหน่งของโครโมโซม ถ้าไม่มีการกลายพันธุ์ นั่นหมายความว่า ผลที่ได้เกิดจากการสลับสายพันธุ์เพียงอย่างเดียว แต่ถ้าหากมีการกลายพันธุ์ร้อยละ 100 จะทำให้โครโมโซมมีการเปลี่ยนแปลงทั้งหมด ซึ่งการเกิดกลายพันธุ์จะไม่เกิดบ่อยมากนัก เพราะจะทำให้วิธีการเชิงพันธุกรรมเปลี่ยนไปเป็น Random Search ตัวอย่างการเกิดกลายพันธุ์ โดยกำหนดให้ความน่าจะเป็นของการเกิดกลายพันธุ์เป็น ร้อยละ 1 ค่าที่สุ่มอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 นั่นหมายความว่า ณ ตำแหน่งนั้นหากสุ่มตัวเลขได้ค่าที่น้อยกว่าหรือเท่ากับ 1 ก็จะเกิดการกลายพันธุ์จากตัวอย่างจะเห็นว่า ณ ตำแหน่งที่ 2 ของโครโมโซมมีการสุ่มที่มีค่าเป็นไปตามเงื่อนไขจึงเกิดกลายพันธุ์ ณ ตำแหน่งอื่นๆ ของโครโมโซมได้ค่าสุ่มที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขจึงไม่เกิดกลายพันธุ์ขึ้น แสดงดังรูปที่ 2.39



รูปที่ 2.39 แสดงโอกาสเกิดการกลายพันธุ์

2.3.5.3 จำนวนโครโมโซมในแต่ละรุ่น ถ้ามีจำนวนมากจะทำให้ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ประมวลผลได้ช้าลง การวิจัยจะแสดงให้เห็นว่า มีข้อจำกัดบางอย่างซึ่งส่วนใหญ่ขึ้นอยู่กับการถอดรหัส

2.4 ทฤษฎีการออกแบบการทดลองและการวิเคราะห์ข้อมูลทางสถิติ

(ธีรวัช แก้วเปี้ย, 2557) เนื่องจากในโครงงานนี้ มีส่วนที่ต้องการหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งวิธีการทางสถิติที่จะนำมาช่วยในกระบวนการดังกล่าว คือ การออกแบบการทดลอง (Design of Experiments : DOE) ซึ่งจะนำมาช่วยในการศึกษาความแปรปรวนของปัจจัย และวิเคราะห์พารามิเตอร์ที่มีผลลัพธ์เพื่อตัดสินใจหาทางเลือก

การออกแบบการทดลอง คือ การทดลองเพียงครั้งเดียวหรือทดสอบแบบต่อเนื่อง โดยทำการเปลี่ยนแปลงตัวแปรนำเข้า (Input Variables) ในระบบ หรือกระบวนการที่ศึกษาเพื่อสังเกต และ

อธิบายสาเหตุต่างๆ ที่ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของผลลัพธ์ (Output) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) และเป็นกระบวนการที่ใช้วางแผนไว้ล่วงหน้า เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ตรงตามความต้องการของกระบวนการทดลอง โดยนำหลักการทางสถิติมาวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ตรงกับเป้าหมายของการทดลอง ซึ่งการออกแบบการทดลองควรจะมีวิธีการที่ง่าย มีประสิทธิภาพ และใช้ทรัพยากรอย่างคุ้มค่ามากที่สุด (ปารเมศ ชุติมา, 2545)

การออกแบบการทดลองเพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และกระบวนการผลิตเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งในทางวิทยาศาสตร์ และวิศวกรรมที่ถูกนำมาใช้งานอย่างกว้างขวาง เพื่อพัฒนาผลิตภัณฑ์และปรับปรุงผลิตภัณฑ์ที่มีอยู่แล้วให้ดีขึ้น (Hunter, 1985) ถ้าการออกแบบการทดลองคำนึงถึงผลกระทบของตัวแปรภายนอก จะทำให้ได้เกิดผลการทดลองที่มีความน่าเชื่อถือมากขึ้น (Montgomery, 1999) ดังนั้น การเลือกประเภทของการออกแบบการทดลองให้เหมาะสมกับปัญหาและปัจจัยในปัญหาที่ต้องการศึกษา การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล (Factorial Experiment) เป็นการออกแบบการทดลองประเภทหนึ่งที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวาง เนื่องจากสามารถศึกษาปัจจัยได้หลายปัจจัยพร้อมกัน มีวัตถุประสงค์ เพื่อศึกษาผลกระทบตั้งแต่สองปัจจัยเป็นต้นไป ซึ่งจะศึกษาผลกระทบหลัก (Main Effects) และศึกษาผลกระทบร่วมของปัจจัย (Interaction Effects) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

2.4.1 การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล

การออกแบบการทดลองแฟคทอเรียลมีต้นกำเนิดมาจากนักสถิติชาวอังกฤษชื่อ Donald Fisher โดยออกแบบการทดลองแฟคทอเรียล เพื่อนำมาทดแทนวิธีการออกแบบการทดลองแบบเปลี่ยนค่าปัจจัยครั้งละหนึ่งปัจจัย (One Factor at a Time) (ชาญณรงค์ สายแก้ว, 2555) ซึ่งผลกระทบที่สามารถเกิดขึ้นในการออกแบบการทดลองแบบแฟคทอเรียล สามารถแบ่งออกได้ 3 ประเภท ดังนี้ ประเภทที่ 1 คือ ผลกระทบหลัก เป็นผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณาหนึ่งปัจจัย ประเภทที่ 2 คือ ผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย (2 – Ways Interactions) ซึ่งเป็นผลกระทบในกรณีที่สนใจพิจารณา 2 ปัจจัยพร้อมกัน และประเภทที่ 3 คือ ผลกระทบร่วมระหว่างหลายปัจจัย (Multi – Ways Interactions) เป็นผลกระทบกรณีที่สนใจพิจารณามากกว่า 2 ปัจจัยพร้อมกัน แต่ในการทำการทดลองโดยทั่วไปแล้ว จะให้ความสำคัญการพิจารณาผลกระทบหลักและผลกระทบร่วมระหว่าง 2 ปัจจัย

โดยการทดลองแบบแฟคทอเรียลสามารถแบ่งได้ 2 แบบ คือ การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (Full – Factorial Experiment) และการทดลองแฟคทอเรียลบางส่วน (Fractional – Factorial Experiment) โดยเนื้อหาในโครงงานจะพิจารณาเพียงการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปเท่านั้น เนื่องจาก การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป เป็นการทดลองที่ทำขึ้นเพื่อศึกษาผลกระทบร่วมตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ซึ่งสามารถวิเคราะห์ผลกระทบหลัก และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน นอกจากนี้ ผู้ทดลองยังสามารถใช้ผลการทดลองยืนยันเพื่อลดปัจจัยที่ไม่มีผลกระทบในการศึกษาครั้ง

ต่อไป ซึ่งจำนวนการทดลองจะแปรผันตามผลคูณของจำนวนระดับปัจจัยของทุกปัจจัยและคูณกับจำนวนการทำซ้ำ การทดลองโดยทั่วไปจะนิยมศึกษาปัจจัยที่ 2 ระดับ และ 3 ระดับเท่านั้น โดยเรียกแผนการทดลองนี้ว่า 2^k และ 3^k การทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูป (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

การทดลอง 2^k แฟคทอเรียลเต็มรูป (2^k Full - Factorial) สามารถวิเคราะห์ปัจจัยหลายๆ ปัจจัยได้พร้อมกัน เพื่อหาปัจจัยที่มีผลกระทบต่อวัตถุประสงค์อย่างมีนัยสำคัญ ซึ่งการทดลองแบบ 2^k แฟคทอเรียลเต็มรูปยังสามารถช่วยคัดกรองจำนวนปัจจัยและศึกษาความสัมพันธ์เชิงเส้นตรง (Linear Model) (ชาญณรงค์ สายแก้ว, 2555) โดยจำนวนการทดลองที่เป็นไปได้ (ไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ 2^k กำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีค่าสองระดับ (Level) มักจะกำหนดไว้ที่ค่าต่ำสุด (-) และค่าสูงสุด (+) ของแต่ละปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น การทดลอง 2^2 แฟคทอเรียลเต็มรูป จะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 4 การทดลอง

การทดลอง 3^k แฟคทอเรียลเต็มรูป (3^k Full - Factorial) ในกรณีที่ศึกษาปัจจัยตั้งแต่ 3 ระดับขึ้นไปนั้น จะเป็นการศึกษาความสัมพันธ์ที่ไม่เป็นเส้นตรง หรือโพลิโนเมียลกำลังสองขึ้นไป (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) โดยจำนวนการทดลองที่เป็นไปได้ (ไม่ทำซ้ำ) มีค่าเท่ากับ 3^k กำหนดให้ k มีค่าเท่ากับ จำนวนปัจจัยที่ต้องการศึกษา ซึ่งแต่ละปัจจัยจะมีค่าสามระดับมักจะกำหนดไว้ที่ค่าต่ำสุด (-) ค่ากลาง (0) และค่าสูงสุด (+) ของแต่ละปัจจัย ยกตัวอย่างเช่น การทดลอง 3^3 แฟคทอเรียลเต็มรูปจะมีจำนวนการทดลองทั้งหมด 27 การทดลอง

ดังนั้น จากที่กล่าวมาสามารถสรุปได้ว่า ข้อดีในการใช้การทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูปนั้น มีโครงสร้างไม่ซับซ้อน ซึ่งสามารถศึกษาผลกระทบต่อปัจจัยหลักและผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยได้พร้อมกัน เหมาะกับการทดลองที่มีต้นทุนทางด้านทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองน้อย และไม่มีข้อจำกัดในด้านเวลาที่ใช้ในการทดลอง เนื่องจาก จำนวนการทดลองแปรผันตามจำนวนการทดลอง แต่ในทางกลับกันการทดลองแบบแฟคทอเรียลเต็มรูป อาจจะไม่เหมาะกับการทดลองที่มีต้นทุนทางด้านทรัพยากรที่ใช้ในการทดลองสูงและมีข้อจำกัดในด้านเวลาด้วยเช่นกัน

2.4.2 การวิเคราะห์ความแปรปรวน

การวิเคราะห์ความแปรปรวน (Analysis of Variance : ANOVA) เป็นวิธีการพื้นฐานทางสถิติที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของข้อมูลที่ได้จากการออกแบบการทดลอง โดยอาศัยหลักการในการวิเคราะห์ความแปรปรวนของค่าตอบสนอง (Response) หรือค่าผลลัพธ์จากระบบที่กำลังศึกษา ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแสดงการวิเคราะห์ได้ 3 กรณี คือ กรณีแรกเป็นการวิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาเพียงปัจจัยเดียวที่มีผลต่อค่าตัวตอบสนอง (One – Way ANOVA) มีระดับที่ต้องการศึกษาเท่ากับ a ระดับ กรณีที่สองเป็นการวิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาผลกระทบของสองปัจจัย (Two – Way ANOVA) ที่ระดับต่าง ซึ่งมีผลกระทบต่อค่าตอบสนอง และกรณีสุดท้ายเป็นการ

วิเคราะห์ที่สนใจพิจารณาผลกระทบร่วมต่อค่าตอบสนองที่มีปัจจัย ≥ 2 ปัจจัย (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

จากกรณีของการวิเคราะห์ความแปรปรวนที่ได้กล่าวมา สามารถอธิบายความแตกต่างที่ได้จากผลการวิเคราะห์ 2 ลักษณะ คือ ความแตกต่างที่สามารถอธิบายได้ (Explained Variation) เป็นความแตกต่างที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงปัจจัยที่ใช้ในการออกแบบการทดลอง และอีกกรณี คือ ความแตกต่างที่ไม่สามารถอธิบายได้ (Unexplained Variation) เป็นความแตกต่างที่อาจจะเกิดจากข้อมูลที่นำมาใช้ไม่เพียงพอ หรือเกิดจากการเปลี่ยนแปลงของตัวแปรที่ไม่สามารถควบคุมได้ (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551) ซึ่งสามารถแสดงรูปแบบข้อมูลที่นำไปใช้ในการหาความแปรปรวนได้ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 แสดงลักษณะข้อมูลที่นำไปใช้ในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

Factor A	Factor B						Total	Average
	1	2	⋯	j	⋯	B		
1	y_{11}	y_{12}	⋯	y_{1j}	⋯	y_{1b}	$y_{1..}$	$\bar{y}_{1..}$
2	y_{21}	y_{22}	⋯	y_{2j}	⋯	y_{2b}	$y_{2..}$	$\bar{y}_{2..}$
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮
i	y_{1i}	y_{2i}	⋯	y_{ij}	⋯	y_{ib}	$y_{j..}$	$\bar{y}_{i..}$
⋮	⋮	⋮		⋮		⋮	⋮	⋮
a	y_{a1}	y_{2a}	⋯	y_{aj}	⋯	y_{ab}	$y_{a..}$	$\bar{y}_{a..}$
Total	$y_{.1.}$	$y_{.1.}$	⋯	$y_{.j.}$	⋯	$y_{.a.}$	$y_{...}$	
Average	$\bar{y}_{.1.}$	$\bar{y}_{.2.}$	⋯	$\bar{y}_{.j.}$	⋯	$\bar{y}_{.b.}$		$\bar{y}_{...}$

จากตารางที่ 2.13 กำหนดให้

$y_{j...}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ i ของปัจจัย A

$y_{.j..}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ j ของปัจจัย B

y_{ijij} แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองที่ระดับ ij

$y_{....}$ แทน ผลรวมข้อมูลการทดลองทั้งหมด

$\bar{y}_{i..}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ i ของปัจจัย A

$\bar{y}_{.j.}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ j ของปัจจัย B

$\bar{y}_{ij}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองที่ระดับ ij

$\bar{y}_{...}$ แทน ค่าเฉลี่ยข้อมูลการทดลองทั้งหมด

หลังจากการหาค่าเฉลี่ยและผลรวมของข้อมูลทั้งหมด โดยทั่วไปจะนำข้อมูลไปวิเคราะห์ความแปรปรวนเพื่อหาค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Squares : SS) หาค่าผลเฉลี่ยกำลังสอง (Mean Squares : MS) หาองศาเสรี (Degrees of Freedom : d.f.) และหาค่าสถิติ (F Value : F) ซึ่งปัจจุบันนิยมใช้โปรแกรมสำเร็จรูปทางสถิติ เพื่อการวิเคราะห์หาความแปรปรวน และข้อควรคำนึงในการวิเคราะห์ความแปรปรวน กรณีที่ใช้การทดลองแบบ 2^k, 3^k แฟคทอเรียลเต็มรูป จะทำการวิเคราะห์โดยใช้ตาราง ANOVA ได้ก็ต่อเมื่อการทดลองนั้นมีการทดลองซ้ำเท่านั้น (Replicate (n) > 1) (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวมาสามารถตรวจสอบได้ โดยตรวจสอบจากกราฟความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) โดยลักษณะของกราฟจะเป็นเส้นตรง และตรวจสอบกราฟระหว่างค่า Residuals กับระดับของปัจจัย โดยจะพิจารณาเปรียบเทียบการกระจายตัวของค่า Residuals ของแต่ระดับปัจจัยว่าแตกต่างกันหรือไม่ ถ้าหากการกระจายตัวของค่า Residuals ไม่แตกต่างกัน แสดงว่าค่าความแปรปรวนของแต่ละประชากรเท่ากัน และสุดท้ายตรวจสอบจากกราฟระหว่างค่า Residuals กับเวลาหรือลำดับการทดลอง ซึ่งพิจารณาค่า Residuals ค่าบวก (+) และค่าลบ (-) โดยกราฟจะต้องไม่มีการกระจายตัวที่เป็นรูปแบบแต่มีการกระจายตัวอย่างอิสระต่อกัน (นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์, 2554) ซึ่งสามารถแสดงตาราง ANOVA ได้ดังตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 แสดงตาราง ANOVA การทดลองแฟคทอเรียล 2 ตัวแปร

Source Of Variation	SS	d.f.	MS	F
A	$SS_a = \sum_{i=1}^{a} \frac{\bar{y}_{i...}^2}{bn} - \frac{y_{i...}^2}{abn}$	a-1	$MS_a = \frac{SS_a}{d.f._{\cdot a}}$	$F_a = \frac{MS_a}{MS_E}$
B	$SS_b = \sum_{j=1}^{b} \frac{\bar{y}_{.j.}^2}{an} - \frac{y_{.j.}^2}{abn}$	b-1	$MS_a = \frac{SS_b}{d.f._{\cdot b}}$	$F_b = \frac{MS_b}{MS_E}$
AB	$SS_{subtotals(ab)} = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b} \frac{y_{ij}^2}{bn} - \frac{y_{...}^2}{abn}$ $SS_{ab} = SS_{subtotals(ab)} - SS_a - SS_b$	(a-1)(b-1)	$MS_{ab} = \frac{SS_{ab}}{d.f._{\cdot ab}}$	$F_{ab} = \frac{MS_{ab}}{MS_E}$
Error	$SS_E = SS_T - SS_{ab} - SS_a - SS_b$	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{d.f._{\cdot E}}$	
Total	$SS_T = \sum_{i=1}^{a}\sum_{j=1}^{b}\sum_{k=1}^{k} y_{ijk}^2 - \frac{y_{...}^2}{abn}$	abn-1		

ในการวิเคราะห์ผลโดยใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) กรณีการทดลองแฟคทอเรียลเต็มรูปจะทำการพิจารณาผลกระทบร่วมก่อนเสมอ แต่ไม่นิยมวิเคราะห์ผลกระทบตั้งแต่ 3 ปัจจัยขึ้นไป และถ้าผลกระทบร่วมมีนัยสำคัญ (P – Value < α) จะไม่ทำการพิจารณาปัจจัยหลักที่เกี่ยวข้องกับเทอมของผลกระทบร่วมนั้น โดยการใช้วิธีการวิเคราะห์ความแปรปรวนสามารถแสดงกราฟผลกระทบได้ 2 แบบ คือ Main Effect Plot คือ กราฟค่าเฉลี่ยหรือกราฟผลกระทบหลัก เป็นกราฟที่แสดงแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงตัวแปรตอบสนอง ในกรณีที่ปัจจัยหลักมีผลกระทบอย่างมีนัยสำคัญ และ Interaction Plot คือ กราฟอันตรกิริยาหรือกราฟผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย เป็นกราฟที่ใช้พิจารณาการเปลี่ยนแปลงของค่าเฉลี่ยตัวแปรตอบสนอง และใช้ในการกำหนดจุดที่เหมาะสมสำหรับผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย

ดังนั้น ในการทำการทดลองเพื่อศึกษาปัจจัย k ใดๆ หลักการใช้ตาราง ANOVA และหลักการใช้กราฟยังคงเดิม เพียงแต่ตาราง ANOVA จะมีพจน์ในช่อง Source เพิ่มตามปัจจัยที่ศึกษา (ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์, 2551)

2.4.3 ซอฟต์แวร์วิเคราะห์และประมวลผลทางสถิติ Minitab 16

Minitab เป็นโปรแกรมสำเร็จรูปใช้ประมวลผลข้อมูลทางด้านสถิติ โดยพัฒนาจากกลุ่มนักวิชาการทางด้านสถิติมากว่า 30 ปีแล้ว โดยปัจจุบันได้พัฒนาปรับปรุงมาจนถึงเวอร์ชัน 16 ซึ่งสามารถใช้กับระบบปฏิบัติการวินโดวส์ โดย Minitab เข้ามามีบทบาทสำหรับผู้ใช้สถิติในส่วนของการประมวลผลและการแสดงผลข้อมูลในลักษณะของตัวเลขและผลในลักษณะของกราฟ ประกอบกับเทคโนโลยีทางด้านคอมพิวเตอร์ได้พัฒนาและมีบทบาทต่อชีวิตประจำวัน ดังนั้น Minitab จึงถูกเลือกใช้ด้วยเหตุผลหลัก 3 ประการ คือ ความซับซ้อนในการประมวลผล (Complexity) ความเที่ยงตรงและแม่นยำในการประมวลผลข้อมูล (Accuracy) ความรวดเร็วและความสามารถในการทำซ้ำ (Repeatability)

2.5 ภาษา Visual Basic for Application บน Excel

ภาษา Visual Basic for Application เป็นภาษาที่ใช้สำหรับการเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Microsoft Office โครงสร้างของภาษาจะเหมือนกับภาษา Visual Basic แต่มีส่วนเพิ่มเติมในวิธีการอ้างถึงองค์ประกอบในโปรแกรม Microsoft Office

Visual Basic for Application เป็นเครื่องมือพัฒนาระบบงานใน Microsoft Excel ให้ทำงานอัตโนมัติ โดยสามารถควบคุม Microsoft Excel ให้ทำงานตามต้องการ เช่น สร้างรายงาน หรือวิเคราะห์ข้อมูลอัตโนมัติ สร้างแบบจำลองการเงิน (Financial Model) หรือเหมาะสำหรับงานวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมาก เช่น ดึงข้อมูล (Database) และวิเคราะห์สรุปผลใน Microsoft Excel จัดรูปแบบรายงานอัตโนมัติทันที

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

วิธีการดำเนินโครงงานการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ ได้เริ่มจากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหา โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel จากนั้น จึงเริ่มเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหา โดยวิธีการเชิงพันธุกรรม และทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาตามที่ได้ออกแบบไว้ เพื่อนำไปหาเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต และสรุปผลการดำเนินโครงงาน แสดงดังรูปที่ 3.1

รูปที่ 3.1 แสดงขั้นตอนวิธีการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

ในโครงงานนี้ จะศึกษาปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต คือ ปัญหาที่มีการจัดเส้นทางการเดินทางของยานพาหนะที่กระจายไปตามจุดต่างๆ เพื่อทำการส่งสินค้า โดยมีข้อกำหนดที่เกี่ยวกับการมีลูกค้าเข้ามาเพิ่มเติมขณะยานพาหนะกำลังขนส่งสินค้า กล่าวคือ ช่วงเริ่มต้นของการสั่งสินค้า บริษัทจะทราบจำนวนลูกค้าที่จะต้องไปส่งสินค้าที่แน่นอนจากการสั่งสินค้าของ

ลูกค้าในวันก่อนหน้า จากนั้น บริษัทจะนำข้อมูลที่มีอยู่มาทำการวางแผนจัดเส้นทางยานพาหนะ เพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้วมอบหมายเส้นทางการขนส่งให้กับยานพาหนะแต่ละคัน จากนั้นยานพาหนะก็จะออกเดินทาง เพื่อส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามลำดับที่ได้จัดไว้ ระหว่างที่ยานพาหนะก็จะออกเดินทางเพื่อส่งสินค้าอยู่นั้น ลูกค้ารายใหม่จะติดต่อเข้ามาที่ศูนย์กระจายสินค้าเพื่อสั่งสินค้า ดังนั้นศูนย์กระจายสินค้าจะต้องทำการวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้าสินค้าใหม่แล้วมอบหมายเส้นทางนั้นให้กับยานพาหนะ

จากการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตข้างต้น มีวัตถุประสงค์ เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งประกอบไปด้วย

3.1.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีขนาดบรรจุต่างกัน โดยแต่ละขนาดจะมีค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน

3.1.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเป็นค่าใช้จ่ายแบบผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระยะทางของการขนส่งสินค้า โดยค่าใช้จ่ายจะแปรผันตามระยะทางของการขนส่งสินค้า

3.1.3. ค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา (Penalty) คือ ค่าใช้จ่ายเมื่อส่งสินค้าเกินกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดจะมีการเสียค่าปรับเท่า กันทุกช่วงเวลาของการขนส่ง

3.2 ศึกษาทฤษฎีเกี่ยวกับวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm)

ในโครงงานนี้ จะใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) ในการแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต ซึ่งวิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่และซับซ้อน เนื่องจาก มีสมบัติการเลียนแบบธรรมชาติ ซึ่งจะนำค่าที่เหมาะสมที่สุดจากประชากรรุ่นก่อนมาใช้พิจารณาในการหาคำตอบของประชากรรุ่นถัดมา เพื่อให้ได้ค่าคำตอบที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในการเดินทาง และค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดทางด้านเวลาต่ำที่สุด

3.3 ศึกษาการเขียนโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel

Visual Basic for Application (VBA) เป็นภาษาที่มีอยู่ใน Microsoft Excel ซึ่งมีจุดเด่นในด้านการวิเคราะห์ข้อมูลจำนวนมากและงานคำนวณที่ซับซ้อน โดยสามารถเรียกคำสั่งใน Microsoft Excel มาใช้งานได้เลย เช่น สูตรต่างๆ ในเรื่องของ Statistical, Engineering และ Financial เป็นต้น และเป็นเครื่องมือสำเร็จรูปสำหรับวิเคราะห์ข้อมูล ทำให้การพัฒนา VBA ใน Microsoft Excel ทำได้อย่างรวดเร็วและง่ายต่อการเข้าใจ ซึ่งผู้ที่ต้องการพัฒนาไม่จำเป็นต้องเป็นโปรแกรมเมอร์ (Programmer) หรือศึกษาทางด้านคอมพิวเตอร์มาก่อนก็สามารถใช้งานได้

3.4 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมด้วยภาษา Visual Basic for Application (VBA) บน Microsoft Excel

เป็นขั้นตอนการออกแบบวิธีการหาคำตอบที่ใช้แก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งอธิบายเป็นขั้นตอนในภาพรวม แสดงดังรูปที่ 3.2 ดังนี้

3.4.1 ออกแบบโครโมโซม

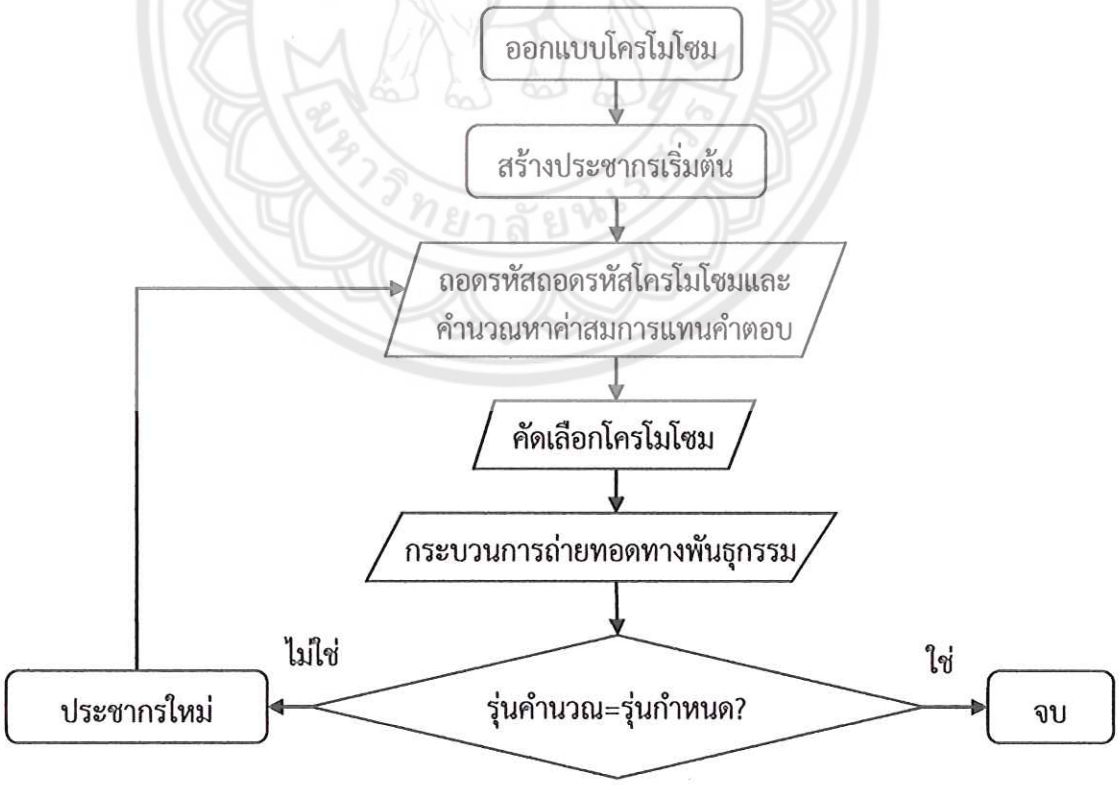
3.4.2 สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้น เพื่อใช้จุดเริ่มต้นของขั้นตอนวิวัฒนาการ

3.4.3 ถอดรหัสโครโมโซมเพื่อให้ได้ตัวแปรของปัญหา และคำนวณค่าสมการแทนคำตอบ

3.4.4 คัดเลือกโครโมโซมเข้าไปสู่กระบวนการดำเนินการทางพันธุกรรม โดยพิจารณาจากค่าสมการแทนคำตอบ

3.4.5 นำโครโมโซมที่ผ่านการคัดเลือกมากระทำด้วยตัวดำเนินการทางพันธุกรรม ได้แก่ การคัดเลือกสายพันธุ์ การสลับสายพันธุ์ และการกลายพันธุ์

3.4.6 ตรวจสอบจำนวนรุ่นของการคำนวณว่าตรงตามที่กำหนดไว้หรือไม่ ถ้าใช่ให้หยุดการคำนวณ ถ้าไม่ให้กลับไปทำซ้ำตั้งแต่ขั้นตอนที่ 3.4.3 จนถึง 3.4.5 จนกระทั่งได้ครบจำนวนรุ่นที่กำหนดไว้



รูปที่ 3.2 แผนผังแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

3.5 การเขียนและการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

นำวิธีการเชิงพันธุกรรมที่ได้พัฒนาขึ้นมาสร้างเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ โดยเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA บน Microsoft Excel เพื่อนำไปจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีพลวัต และทดสอบประสิทธิภาพ

3.6 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

นำข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลทางโปรแกรมคอมพิวเตอร์มาวิเคราะห์ และพิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบว่าเหมาะสมถูกต้องหรือไม่ แล้วสรุปผลการดำเนินโครงงาน

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

การดำเนินโครงงานนี้ ได้นำวิธีการเชิงพันธุกรรมมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยเริ่มจากการสร้างโครโมโซม การประเมินคำตอบ และการหาค่าคำตอบ จากนั้นจึงออกแบบกระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม เพื่อนำไปทดลองกับปัญหาที่จำลองขึ้นมา ซึ่งจะมีการปรับปรุงคำตอบให้ดีขึ้น โดยการสลับสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และการคัดเลือกสายพันธุ์ นอกจากนี้ ยังมีการทดลองเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อประสิทธิภาพคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่นประชากร วิธีการสลับสายพันธุ์ วิธีการกลายพันธุ์ ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ โดยผลการทดลองนี้ จะนำคำตอบมาเปรียบเทียบกัน เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรม กับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ในบทนี้จะกล่าวถึง 4.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ 4.2 กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม 4.3 วิธีการเชิงพันธุกรรม 4.4 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ และ 4.5 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธีการหาค่าคำตอบแบบวิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการหาค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีการหาค่าคำตอบจากวิธีกลุ่มอนุภาค วิธีการหาค่าคำตอบจากวิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการหาค่าคำตอบจากวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

4.1 การจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

การจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต เป็นการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยมีข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไป คือ ความต้องการด้านการขนส่งเป็นข้อมูลอนาคตที่สามารถเปลี่ยนแปลงได้ จึงต้องทำการเปลี่ยนแปลงแผนเส้นทางการเดินรถเมื่อมีข้อมูลลูกค้าเข้ามาใหม่

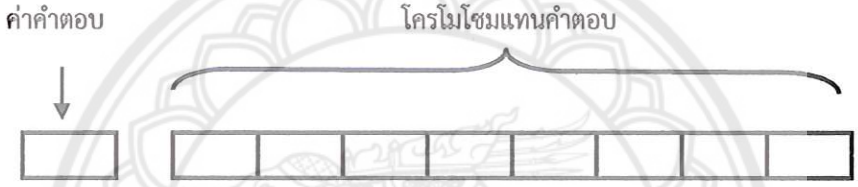
4.1.1 ช่วงเวลาในการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

ช่วงเวลาในการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต คือ ก่อนเริ่มการขนส่งสินค้าผู้ให้บริการจะทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า จากนั้น จะทำการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้วมอบหมายเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นให้กับยานพาหนะแต่ละคัน ยานพาหนะก็จะออกเดินทางจากคลังสินค้าเพื่อไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามลำดับที่ได้จัดไว้ ระหว่างที่ยานพาหนะกำลังเดินทางเพื่อส่งสินค้าอยู่นั้น ลูกค้าใหม่จะติดต่อเข้ามากับคลังสินค้าเพื่อร้องขอสินค้า ดังนั้น คลังสินค้าจะต้องวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่แล้วมอบมายเส้นทางใหม่นั้นให้กับยานพาหนะผ่านทางเทคโนโลยีที่ช่วยในการสื่อสาร แสดงดังรูปที่ 2.23

4.2 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ

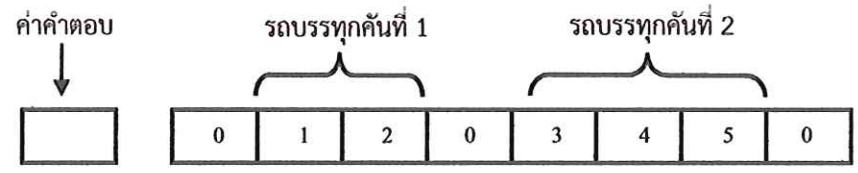
4.2.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบ

การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม การสร้างโครโมโซมจะมีผลต่อความเร็วกระบวนการหาค่าคำตอบรวมถึงการสืบทอดพันธุกรรม โดยโครโมโซมแทนคำตอบที่ออกแบบในโครงงานนี้ จะถูกแบ่งออกเป็นช่องๆ แต่ละช่อง เรียกว่า "ยีน (Gene)" จำนวนทั้งหมดของแต่ละแถวเรียกว่า "โครโมโซม (Chromosome)" โครโมโซม (N) จะเท่ากับ จำนวนลูกค้า (n) จำนวนรถบรรทุก (k) บวกหนึ่ง (หรือ N = n+k+1) ภายในโครโมโซมจะบอกถึงการจัดการขนส่งสินค้าของรถบรรทุกในแต่ละคัน โดยที่รถบรรทุกแต่ละคันในโครโมโซมจะมียีนที่มีค่าเป็นศูนย์ (0) แยกรถบรรทุกแต่ละคันภายในโครโมโซม ดังรูปที่ 4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบ n = 5 และ k = 2 (N = 5+2+1 = 8)



รูปที่ 4.1 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบแบบกำหนดให้ n = 5 และ k = 2

ตัวอย่างที่ 4.1 กำหนดให้มีลูกค้า 5 ราย และมีรถบรรทุก 2 คัน โครโมโซมแทนคำตอบนี้ได้จากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด โดยกำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-5-0 ซึ่งหมายถึง รถบรรทุกคันที่ 1 เริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 2 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ส่วนรถคันที่ 2 เริ่มออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้ารายที่ 3, 4, 5 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า โดยจะมีโครโมโซมแทนคำตอบ ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงตัวอย่างการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบของตัวอย่างที่ 4.1

4.2.2 การประเมินคำตอบ

เมื่อทำการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเรียบร้อยแล้ว จะนำโครโมโซมที่ได้ไปประเมินคำตอบ โดยจะแบ่งการประเมินออกเป็น 2 ส่วน คือ การละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา และการละเมิด

ข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก ถ้าหากโครโมโซมที่ได้มีการละเมิดข้อกำหนดจะมีการเพิ่มค่าปรับทำให้ค่าใช้จ่ายรวมของค่าคำตอบมากขึ้น

4.2.2.1 การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา

การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา จะเป็นการตรวจสอบว่าส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ตรงตามช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้หรือไม่ โดยปัจจัยที่ตรวจสอบ คือ ช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้า เวลาในการเดินทาง และเวลาในการขนถ่ายสินค้า เพื่อให้เข้าใจวิธีการตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลามากขึ้น จะแสดงผ่านทางตัวอย่างที่ 4.2

ตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้มีลูกค้า 5 ราย รถบรรทุก 2 คัน มีช่วงเวลาการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ดังตารางที่ 4.1 มีเวลาในการเดินทางซึ่งเป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าหรือลูกค้า i ไปยังลูกค้า j หรือกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า เช่น การขนส่งสินค้าจากจากศูนย์กระจายสินค้า 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 3 มีเวลาในการเดินทางเท่ากับ 2 ดังตารางที่ 4.2 และมีค่าปรับจากการส่งสินค้าไม่ทันเท่ากับ 5,000 บาท โดยสมมติให้เวลาในการขนถ่ายเท่ากับ 1 ชั่วโมง และเวลาเริ่มต้นในการเดินทางไปส่งสินค้าเริ่มต้นที่ชั่วโมงที่ 0

ตารางที่ 4.1 แสดงรายละเอียดของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า	ช่วงเวลาในการรับสินค้า (ชั่วโมงที่)	
		เปิดรับสินค้า	ปิดรับสินค้า
1	15	3	6
2	5	3	7
3	7	1	6
4	10	5	8
5	5	1	2

ตารางที่ 4.2 แสดงเวลาในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การประเมินคำตอบ

i/j	0	1	2	3	4	5
0	0	2	3	2	1	2
1	2	0	2	2	2	3
2	2	1	0	3	3	2
3	3	2	3	0	2	3
4	3	2	2	2	0	2
5	2	3	1	2	2	0

สมมติโครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการประเมินคำตอบ คือ 5-4-0-3-1-2 หมายความว่า รถบรรทุกคันที่ 1 ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 5 และ 4 โดยเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าในชั่วโมงที่ 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 5 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง สามารถเริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 2 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลาการรับสินค้า โดยใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง จากนั้น เริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที่ 5 ในชั่วโมงที่ 3 ไปยังลูกค้ารายที่ 4 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง สามารถเริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 5 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลารับสินค้า โดยใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง ส่วนรถคันที่ 2 ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 3, 1 และ 2 ตามลำดับ โดยเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าในชั่วโมงที่ 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 3 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง เริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 2 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลาการรับสินค้า โดยใช้เวลาในการขนถ่าย 1 ชั่วโมง จากนั้น เริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที่ 3 ในชั่วโมงที่ 3 ไปยังลูกค้ารายที่ 1 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง สามารถเริ่มขนถ่ายสินค้าในชั่วโมงที่ 5 ซึ่งยังอยู่ในช่วงเวลารับสินค้า โดยใช้เวลาการขนถ่าย 1 ชั่วโมง จากนั้นเริ่มเดินทางจากลูกค้ารายที่ 1 ในชั่วโมงที่ 6 ไปยังลูกค้ารายที่ 2 ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง จะพบว่า เกินช่วงเวลารับสินค้าของลูกค้ารายที่ 2 จึงมีค่าปรับของรถบรรทุกคันที่ 2 คือ 5,000 บาท และเดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า

4.2.2.2 การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก

การตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุก จะตรวจสอบว่าสินค้าที่ส่งให้ลูกค้าของรถบรรทุกแต่ละคันเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ โดยมีปัจจัยที่ตรวจสอบคือ ความต้องการของลูกค้าและความจุของรถบรรทุก เพื่อให้เข้าใจในวิธีการตรวจสอบการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุของรถบรรทุกมากขึ้น จะขอแสดงผ่านตัวอย่างที่ 4.2 โดยกำหนดให้รถบรรทุกมีความจุเท่ากับ 20 มีความต้องการสินค้าจากลูกค้าดังตารางที่ 4.1

โครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการประเมินคำตอบเป็น 5-4-0-3-1-2 หมายความว่า รถบรรทุกคันที่ 1 ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 5 และ 4 มีสินค้าที่ต้องส่งให้ลูกค้าตามความต้องการดังตารางที่ 4.1 เท่ากับ 10+5 = 15 ซึ่งถือว่า ไม่เกินความจุของรถที่กำหนดไว้ ส่วนรถบรรทุกคันที่ 2 ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 3, 1 และ 2 ตามลำดับ มีสินค้าที่ต้องส่งให้ลูกค้าตามความต้องการ ดังตารางที่ 4.1 เท่ากับ 7+15+5 = 27 ซึ่งถือว่า เกินความจุของรถที่กำหนดไว้จึงมีการพิจารณาโดยจะบวกค่า 1,000,000 เข้าไปให้มีค่าใช้จ่ายมาก เพื่อการพิจารณาให้คำตอบนี้ไม่ถูกเลือก

4.2.3 การหาค่าคำตอบ

เมื่อทำการประเมินคำตอบเรียบร้อยแล้ว ก็สามารถทำการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ซึ่งในส่วนของค่าใช้จ่ายจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือ ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ในส่วนของค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้ใช้ผันแปรตามระยะทางการขนส่ง) และค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลา เพื่อให้เข้าใจมากขึ้นจะขอแสดงผ่านทางตัวอย่างที่ 4.2

จากตัวอย่างที่ 4.2 กำหนดให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง ซึ่งเป็นการขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า i ไปยังลูกค้า j หรือกลับไปศูนย์กระจายสินค้า เช่น การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้า 0 ไปยังลูกค้ารายที่ 2 มีค่าใช้จ่ายเท่ากับ 63 บาท ดังตารางที่ 4.3 และมีค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 1 และ 2 เท่ากับ 200 และ 250 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการเดินทางของตัวอย่างโจทย์การหาค่าคำตอบ

i/j	0	1	2	3	4	5
0	0	57	63	45	65	46
1	45	0	42	44	55	43
2	35	54	0	45	65	67
3	75	43	35	0	63	53
4	66	53	64	63	0	46
5	53	36	44	74	64	0

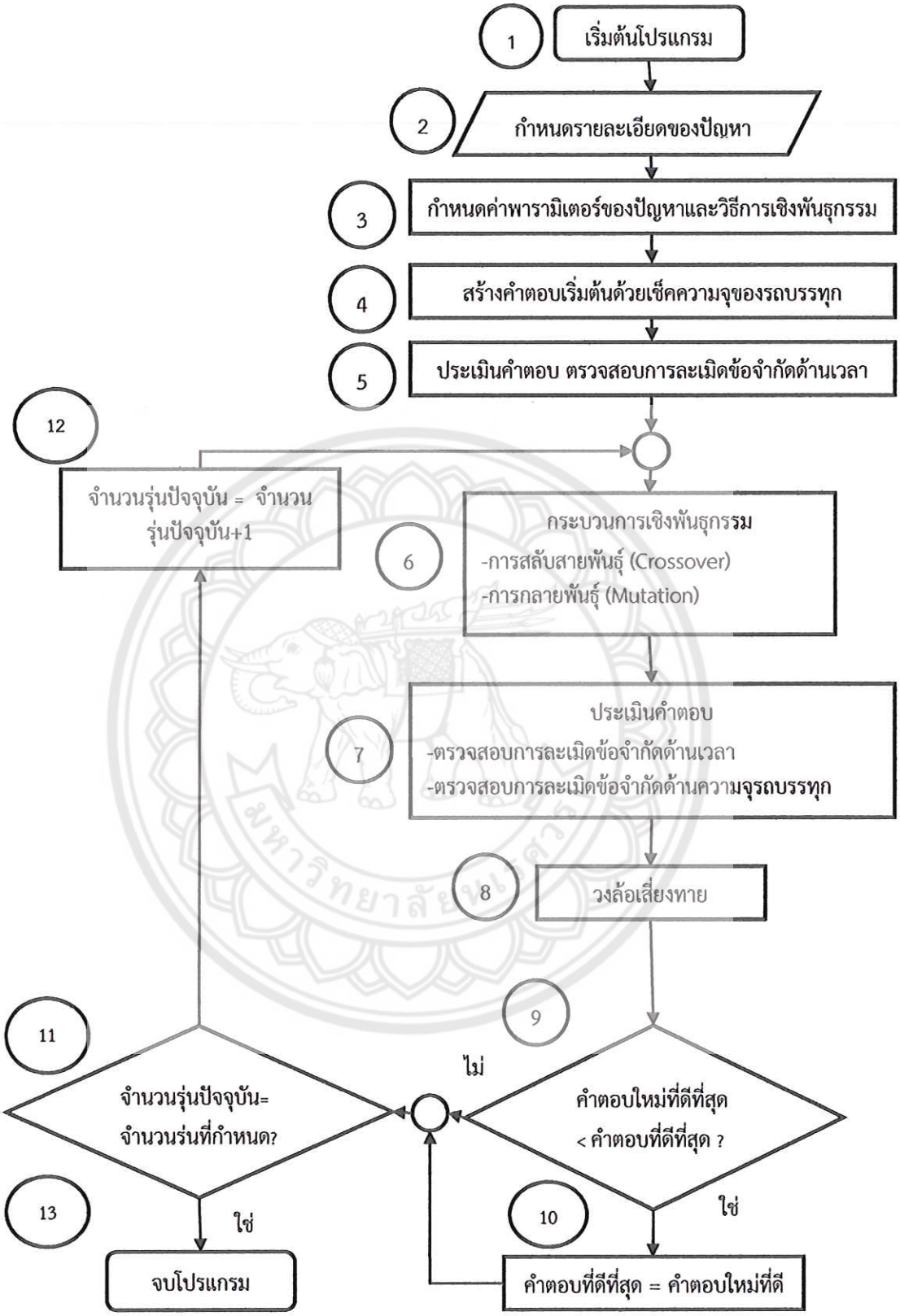
โครโมโซมแทนคำตอบที่ต้องการหาค่าคำตอบ คือ 5-4-0-3-1-2 **ในการคำนวณค่าคำตอบของ**ค่าใช้จ่ายในการเดินทางของการจัดเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 4.3

รูปที่ 4.3 แสดงการคำนวณค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

จากตารางที่ 4.2 มีวิธีการคำนวณค่าคำตอบ ดังนี้ (ค่าใช้จ่ายแบบคงที่ของรถคันที่ 1 + ค่าใช้จ่ายแบบคงที่ของคันที่ 2) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าที่ 0 ถึงลูกค้ารายที่ 5) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้ารายที่ 5 ถึงลูกค้ารายที่ 4) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้ารายที่ 4 ถึงศูนย์กระจายสินค้าที่ 0) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าที่ 0 ถึงลูกค้ารายที่ 3) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้ารายที่ 3 ถึงลูกค้ารายที่ 1) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้ารายที่ 1 ถึงลูกค้ารายที่ 2) + (ค่าใช้จ่ายของการเดินทางจากลูกค้ารายที่ 2 ถึงศูนย์กระจายสินค้าที่ 0) + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุรถบรรทุกคันที่ 1 + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านความจุรถบรรทุกคันที่ 2 + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลาของรถคันที่ 1 + ค่าปรับจากการละเมิดข้อกำหนดด้านเวลาของรถคันที่ 2 = ค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวม ค่าที่ได้ คือ 200 + 250 + 46 + 64 + 66 + 45 + 43 + 42 + 35 + 0 + 1,000,000 + 0 + 5,000 = 1,005,791

4.3 กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรมนี้ เป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยการหาค่าคำตอบเริ่มต้น และประเมินคำตอบ เพื่อหาค่าใช้จ่าย ซึ่งมีกระบวนการทางพันธุกรรม 2 วิธี คือ การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator, One Point Crossover Operator และแบบ Two Point Crossover Operator และการกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator และแบบ Group of Mutation Operator และได้มีการใช้วิธีการหาตัวแทนคำตอบ โดยวิธีการเชิงพันธุกรรมที่มีการสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุของรถบรรทุก ดังแสดงในภาคผนวก ก โดยที่มีการสุ่มลูกค้าให้กับรถบรรทุกทีละคันเมื่อเต็มความจุของรถบรรทุกแล้วให้เปลี่ยนรถบรรทุกเป็นคันใหม่ และนำตัวแทนคำตอบที่ได้มาประเมินคำตอบ เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า และเข้าสู่กระบวนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม แสดงดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 แผนผังแสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการเชิงพันธุกรรม

จากรูปที่ 4.4 จะพบว่าการทำงานของโปรแกรมวิธีการเชิงพันธุกรรม มีขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เป็นการเริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดใช้งานโปรแกรม

ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าใช้จ่ายในการเดินทาง (ค่าใช้จ่ายในการเดินทางแบบคงที่ และค่าใช้จ่ายในการเดินทางแบบผันแปร) กำหนดจำนวนลูกค้า จำนวนรถบรรทุก ความต้องการของลูกค้า เวลาเปิด – ปิดรับสินค้า เวลาในการขนถ่ายสินค้า และเวลาในการเดินทาง

ขั้นตอนที่ 3 เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการเชิงพันธุกรรม ได้แก่ จำนวนประชากร หรือจำนวนโครโมโซมแทนคำตอบ จำนวนรุ่น (จำนวนรอบในการหาคำตอบ) ค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ วิธีการสลับสายพันธุ์ และวิธีการกลายพันธุ์

ขั้นตอนที่ 4 เป็นการสร้างประชากรเริ่มต้นขึ้นมาด้วยวิธีการเช็คค่าความจุของรถบรรทุก

ขั้นตอนที่ 5 ประเมินคำตอบว่าเวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

ขั้นตอนที่ 6 เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม

ขั้นตอนที่ 7 เป็นการประเมินคำตอบของประชากรรุ่นใหม่ว่าเกินความจุของรถบรรทุกหรือไม่ เวลาในการส่งอยู่ในช่วงที่ลูกค้ากำหนดหรือไม่ และคำนวณค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมกับค่าปรับจากการประเมินคำตอบ

ขั้นตอนที่ 8 เป็นการคัดเลือกประชากรรุ่นใหม่ โดยนำประชากรที่ได้จากการสลับสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ และประชากรชุดเดิม มาคัดเลือกด้วยวงล้อเสี่ยงทาย

ขั้นตอนที่ 9 เป็นการเปรียบเทียบค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดไม่น้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 10

ขั้นตอนที่ 10 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดแทน

ขั้นตอนที่ 11 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำขั้นตอนที่ 12 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 13

ขั้นตอนที่ 12 เป็นการให้จำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นปัจจุบันบวก 1 แล้วจึงไปทำขั้นตอนที่ 5

ขั้นตอนที่ 13 เป็นการจบการทำงานของโปรแกรม ซึ่งมีจำนวนรุ่นปัจจุบันเท่ากับจำนวนรุ่นที่กำหนด

4.4 วิธีการเชิงพันธุกรรม

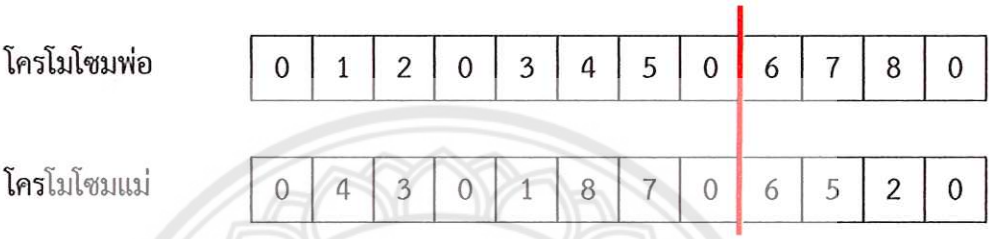
วิธีการเชิงพันธุกรรม เป็นกระบวนการที่ใช้ค้นหา และปรับปรุงค่าของคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีการสลับสายพันธุ์ การกลายพันธุ์ การคัดเลือกสายพันธุ์ และมีค่าพารามิเตอร์เป็นองค์ประกอบของกระบวนการทางพันธุกรรมที่สำคัญต่อการพัฒนาคำตอบ

4.4.1 วิธีการสลับสายพันธุ์

4.4.1.1 การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator

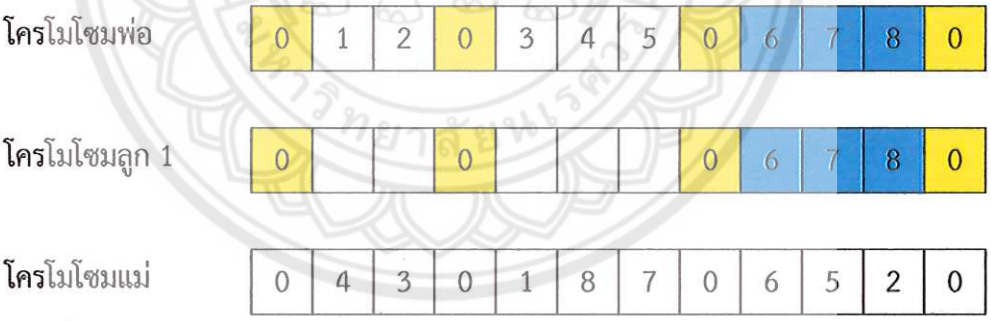
(กอบเจตน์ และคณะ, 2555) การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator คือ การยึดตำแหน่งหลักของ 0 และค่ายีนภายในโครโมโซมจากรถที่ทำการสุ่มขึ้นมา โดยมีวิธีการดังนี้

ก. เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมา 2 โครโมโซม เพื่อแทนเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ แสดงดังรูปที่ 4.5



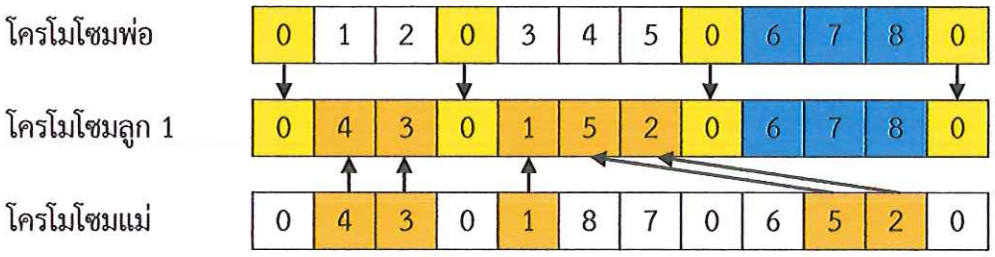
รูปที่ 4.5 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

ข. เลือกตำแหน่ง 0 ของโครโมโซมพ่อแทนค่าลงไปในโครโมโซมลูก 1 และสุ่มเลือกตำแหน่ง 0 เพื่อนำค่าที่อยู่หลัง 0 แทนไปในโครโมโซมลูก 1 แสดงดังรูปที่ 4.6



รูปที่ 4.6 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ Lock Zero Crossover Operator

ค. นำค่าที่อยู่ในโครโมโซมแม่แทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 1 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางด้านซ้ายไปขวาซึ่งค่าจากโครโมโซมแม่ที่นำไปแทนโครโมโซมลูก 1 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 1 แสดงดังรูปที่ 4.7



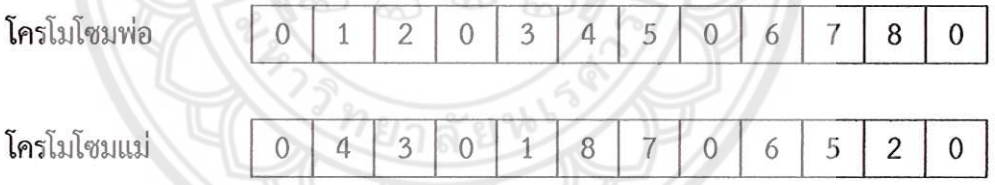
รูปที่ 4.7 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator

ง. จากขั้นตอนในข้อ ก. ถึง ค. จะได้โครโมโซมลูก 1 โครโมโซม แล้วให้นำยีนส์ที่อยู่หน้าตำแหน่งที่สุ่มได้ในโครโมโซมพ่อไปแทนในโครโมโซมลูก 2 ทำซ้ำขั้นตอนในข้อ ค. ซึ่งจะทำให้ได้โครโมโซมลูกเพิ่มอีก 1 โครโมโซม

4.4.1.2 การสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator

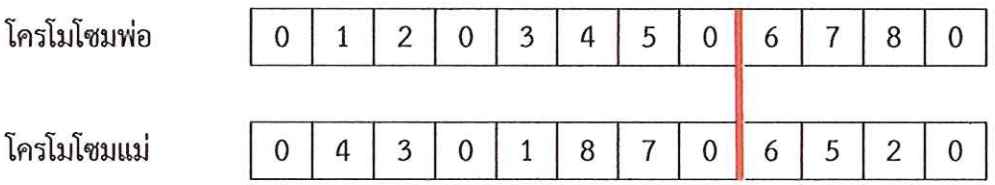
(ณัฐกฤตา ศักดิ์เรืองฤทธิ์, 2555) การสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator คือ การยึดตำแหน่งหลักของ 0 หน้าและหลังของโครโมโซม และทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมาหนึ่งตำแหน่ง เพื่อทำการสลับสายพันธุ์ โดยมีวิธีการ ดังนี้

ก. เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมา 2 โครโมโซม เพื่อแทนเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ แสดงดังรูปที่ 4.8



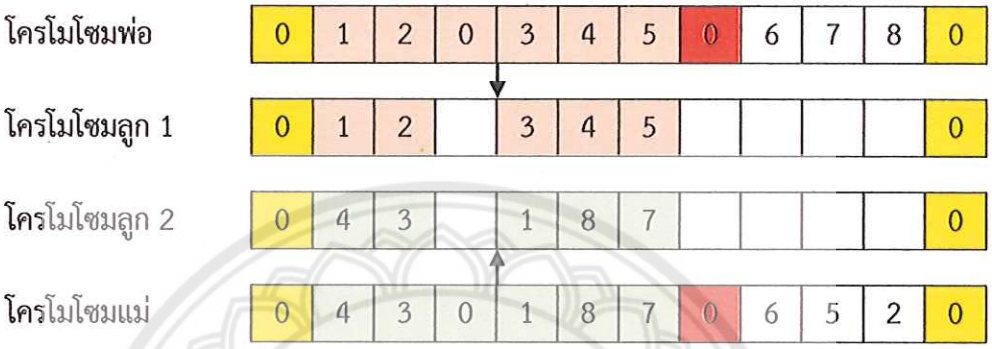
รูปที่ 4.8 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

ข. สุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่มาหนึ่งตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 4.9



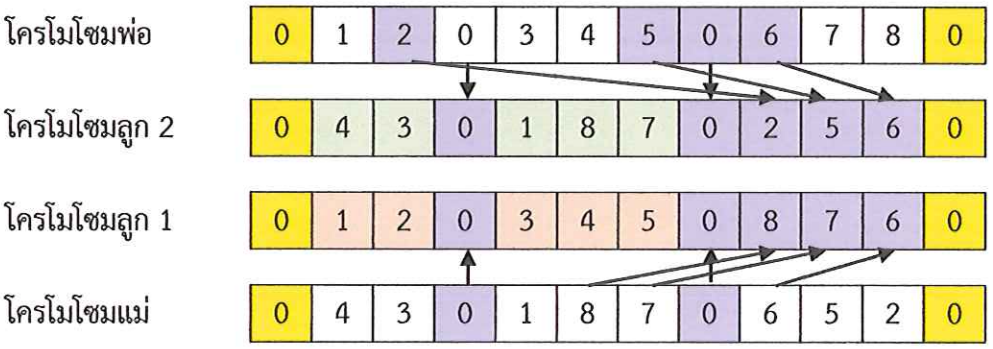
รูปที่ 4.9 การสุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่

ค. นำยีนที่ด้านหน้าของตำแหน่งที่สุ่มของโครโมโซมพ่อไปแทนในโครโมโซมลูก 1 และนำยีนที่ด้านหน้าของตำแหน่งที่สุ่มของโครโมโซมแม่ไปแทนในโครโมโซมลูก 2 โดยยึดตำแหน่ง 0 หน้าและหลังของโครโมโซม ส่วนค่าที่เป็น 0 ในโครโมโซมของพ่อและแม่ จะไม่โอนค่าให้กับโครโมโซมลูกทั้ง 2 โครโมโซม แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ One Point Crossover Operator

ง. นำค่าที่อยู่ในโครโมโซมแม่แทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 1 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางด้านซ้ายไปขวา ซึ่งค่าจากโครโมโซมแม่ที่นำไปแทนโครโมโซมลูก 1 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 1 กรณีที่เป็น 0 แทนค่าได้เลย โดยพิจารณาว่า 0 ที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกเท่ากับ 0 ที่อยู่ในโครโมโซมเริ่มต้นหรือไม่ ถ้าไม่ให้แทนค่าได้เลย และนำค่าที่อยู่ในโครโมโซมพ่อแทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 2 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางด้านซ้ายไปขวา ซึ่งค่าจากโครโมโซมพ่อที่นำไปแทนโครโมโซมลูก 2 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 2 กรณีที่เป็น 0 แทนค่าได้เลย โดยพิจารณาว่า 0 ที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกเท่ากับ 0 ที่อยู่ในโครโมโซมเริ่มต้นหรือไม่ ถ้าไม่ให้แทนค่าได้เลย แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator

4.4.1.3 การสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator

(ณัฐกฤตา ศักดิ์เรืองฤทธิ์, 2555) การสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator คือ การยึดตำแหน่งหลักของ 0 หน้าและหลังของโครโมโซม และทำการสุ่มตำแหน่งขึ้นมาสองตำแหน่ง เพื่อทำการสลับสายพันธุ์ โดยมีวิธีการ ดังนี้

ก. เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมา 2 โครโมโซม เพื่อแทนเป็นโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่ แสดงดังรูปที่ 4.12

โครโมโซมพ่อ	0	1	2	0	3	4	5	0	6	7	8	0
โครโมโซมแม่	0	4	3	0	1	8	7	0	6	5	2	0

รูปที่ 4.12 แสดงโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

ข. สุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่มาหนึ่งตำแหน่ง แสดงดังรูปที่ 4.13

โครโมโซมพ่อ	0	1	2	0	3	4	5	0	6	7	8	0
โครโมโซมแม่	0	4	3	0	1	8	7	0	6	5	2	0

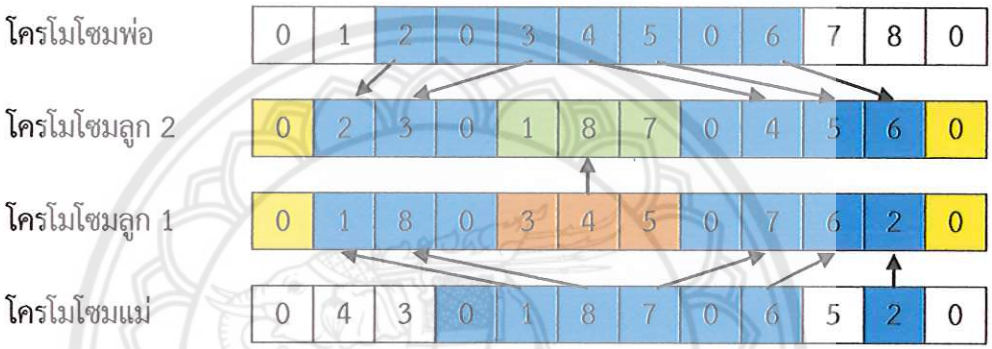
รูปที่ 4.13 การสุ่มตำแหน่งของโครโมโซมพ่อและโครโมโซมแม่

ค. นำยีนที่อยู่กึ่งกลางของตำแหน่งที่สุ่มของโครโมโซมพ่อไปแทนในโครโมโซมลูก 1 และนำยีนที่อยู่กึ่งกลางของตำแหน่งที่สุ่มของโครโมโซมแม่ไปแทนในโครโมโซมลูก 2 โดยยึดตำแหน่ง 0 หน้าและหลังของโครโมโซม ส่วนค่าที่เป็น 0 ในโครโมโซมของพ่อและแม่ จะไม่โอนค่าให้กับโครโมโซมลูกทั้ง 2 โครโมโซม แสดงดังรูปที่ 4.14

โครโมโซมพ่อ	0	1	2	0	3	4	5	0	6	7	8	0
โครโมโซมลูก 1	0	1	2		3	4	5		6	7	8	0
โครโมโซมลูก 2	0	4	3		1	8	7		6	5	2	0
โครโมโซมแม่	0	4	3	0	1	8	7	0	6	5	2	0

รูปที่ 4.14 วิธีการถ่ายทอดทางพันธุกรรมแบบ Two Point Crossover Operator

ง. นำค่าที่อยู่ในโครโมโซมแม่แทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 1 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางด้านซ้ายไปขวาซึ่งค่าจากโครโมโซมแม่ที่นำไปแทนโครโมโซมลูก 1 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 1 กรณีที่เป็น 0 แทนค่าได้เลย โดยพิจารณาว่า 0 ที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกเท่ากับ 0 ที่อยู่ในโครโมโซมเริ่มต้นหรือไม่ ถ้าไม่ให้แทนค่าได้เลย และนำค่าที่อยู่ในโครโมโซมพ่อแทนไปในตำแหน่งของยีนในโครโมโซมลูก 2 ที่ยังว่างอยู่ โดยเริ่มจากทางด้านซ้ายไปขวา ซึ่งค่าจากโครโมโซมพ่อที่นำไปแทนโครโมโซมลูก 2 จะต้องไม่ซ้ำกับค่าที่อยู่ในโครโมโซมลูก 2 กรณีที่เป็น 0 แทนค่าได้เลย โดยพิจารณาว่า 0 ที่มีอยู่ในโครโมโซมลูกเท่ากับ 0 ที่อยู่ในโครโมโซมเริ่มต้นหรือไม่ ถ้าไม่ให้แทนค่าได้เลย แสดงดังรูปที่ 4.15



รูปที่ 4.15 วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator

4.4.2 วิธีการกลายพันธุ์

4.4.2.1 การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator

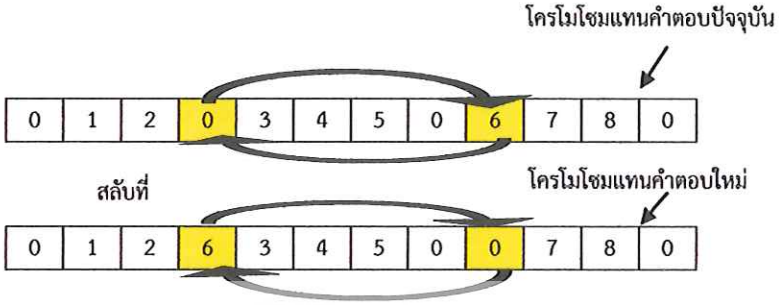
(กอบเจตน์ และคณะ, 2555) การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator จะเป็นการนำเอาโครโมโซมปัจจุบันมาสลับตำแหน่งของยีน ซึ่งการสลับตำแหน่งของยีนโครโมโซมในแต่ละครั้งจะมีการสุ่มช่องของยีนมา 2 ตำแหน่ง เพื่อที่จะสลับกับช่องของยีนของโครโมโซมเดียวกัน โดยกระบวนการสามารถอธิบายได้ตามตัวอย่างดังนี้

ก. เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมาสมมติให้โครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันเป็น 0-1-2-0-3-4-5-0-6-7-8-0 เรียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.16

0	1	2	0	3	4	5	0	6	7	8	0

รูปที่ 4.16 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

ข. จากรูปที่ 4.16 มีความยาวโครโมโซมเท่ากับ 12 สมมติให้สุ่มตำแหน่งของยีนได้ยีนตำแหน่งที่ 4 มีค่าเท่ากับ 0 และยีนตำแหน่งที่ 9 มีค่าเท่ากับ 6 มาสลับค่าของยีนกัน แสดงดังรูปที่ 4.17



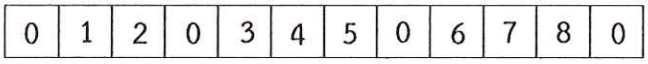
รูปที่ 4.17 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ

ค. ถ้ามีการสุ่มตำแหน่งมากกว่า 2 ตำแหน่ง ให้มีการสลับที่กันจนครบทุกคู่ ตามข้อ ก. และ ข.

4.4.2.2 การกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator

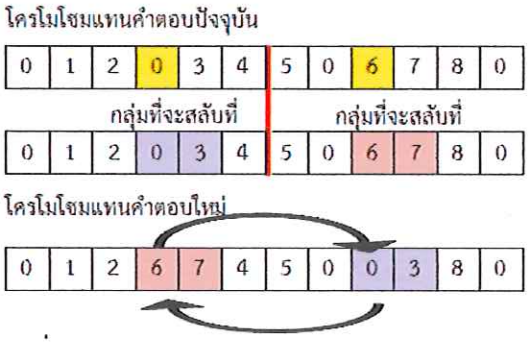
(ณัฐกฤตา ศักดิ์เรืองฤทธิ์, 2555) การกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator จะเป็นการนำเอาโครโมโซมปัจจุบันมาสลับตำแหน่งของยีน ซึ่งจะแบ่งครึ่งโครโมโซมแล้วทำการสุ่มตำแหน่งยีนที่อยู่ด้านหน้าตำแหน่งของการแบ่งครึ่งโครโมโซมมาหนึ่งตำแหน่ง และทำการสุ่มตำแหน่งยีนที่อยู่ด้านหลังตำแหน่งของการแบ่งครึ่งโครโมโซมมาอีกหนึ่งตำแหน่ง เพื่อที่จะสลับยีนของโครโมโซม โดยที่จำนวนของยีนที่จะทำการสลับที่จะขึ้นอยู่กับจำนวนสัดส่วนที่กำหนดไว้ตามจำนวนลูกค้า โดยกระบวนการสามารถอธิบายได้ตามตัวอย่าง ดังนี้

ก. เลือกโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันขึ้นมาสมมติให้โครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบันเป็น 0-1-2-0-3-4-5-0-6-7-8-0 เรียงกัน แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงภาพโครโมโซมแทนคำตอบปัจจุบัน

ข. จากรูปที่ 4.18 จะทำการแบ่งครึ่งโครโมโซม แล้วทำการสุ่มตำแหน่งของยีนในโครโมโซม โดยจะสุ่มทางด้านหน้าตำแหน่งการแบ่งครึ่งมา 1 ตำแหน่ง และสุ่มทางด้านหลังตำแหน่งของการแบ่งครึ่งมาอีก 1 ตำแหน่ง แล้วทำการสลับที่ตามจำนวนกลุ่มที่กำหนด (โครโมโซมนี้มีจำนวนลูกค้าไม่มากจึงกำหนดให้กลุ่มในการสลับที่ เท่ากับ 2) ซึ่งช่วงของการสุ่ม คือ ครึ่งหนึ่งของความยาวของโครโมโซม ลบกับจำนวนกลุ่มลบหนึ่ง แสดงดังรูปที่ 4.19



รูปที่ 4.19 แสดงการสลับค่าของยีนในโครโมโซมแทนคำตอบ

4.4.3 การคัดเลือกสายพันธุ์แบบวงล้อเสี่ยงทาย (Roulette Wheel Selection)

การคัดเลือกแบบวงล้อเสี่ยงทายจะใช้ความน่าจะเป็นในการถูกคัดเลือก ซึ่งจะถูกกำหนดโดยอัตราส่วนค่าคำตอบของแต่ละโครโมโซม เทียบกับค่าคำตอบรวมของโครโมโซมทั้งหมดตามตารางที่ 2.6 ความน่าจะเป็นในการถูกเลือก และนำเอาอัตราส่วนความน่าจะเป็นที่ได้มาสร้างวงล้อเสี่ยงทายดังรูปที่ 2.24 และจะสุ่มค่าร้อยละขึ้นมา เพื่อพิจารณาเลือกโครโมโซมจากการเสี่ยงทาย โดยที่ค่าคำตอบยิ่งดีโอกาสในการถูกเสี่ยงทายก็จะมาก (กอบเจตน์ และคณะ, 2555)

4.4.4 ค่าพารามิเตอร์

(กอบเจตน์ และคณะ, 2555) การกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ความเกี่ยวเนื่องกับวิธีการเชิงพันธุกรรมทั้ง 3 กล่าวมาข้างต้นนี้ก็ส่งผลกับคำตอบ ดังนั้น การกำหนดค่าพารามิเตอร์จึงมีความสำคัญต่อการดำเนินการต่างๆ ทางพันธุกรรม โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์สามารถอธิบายได้ ดังนี้

4.4.4.1 ค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์

เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดการสลับสายพันธุ์ ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 โดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบการทดสอบหาค่าความเหมาะสมกับปัญหา ยกตัวอย่างเช่น ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ให้มีค่าเท่ากับร้อยละ 90 จากนั้น สุ่มเลือกตัวเลขเพื่อที่จะเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ สมมติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 ได้เท่ากับ 45 จะเห็นว่า ตัวเลขที่ได้น้อยกว่า 90 ซึ่งจะยอมให้มีการสลับสายพันธุ์เกิดขึ้น โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ 70 และร้อยละ 90

4.4.4.2 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์

เป็นความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ในรุ่นลูก ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 100 โดยขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบการทดสอบหาค่าความเหมาะสมกับปัญหา เช่น ถ้ากำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ให้เป็นร้อยละ 10 จากนั้นสุ่มเลือกตัวเลข เพื่อที่จะเปรียบเทียบกับความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ สมมติสุ่มตัวเลขที่มีค่าตั้งแต่ 1 ถึง 100 ได้เท่ากับ 70 จะเห็นว่าตัวเลขที่ได้มากกว่า 10 ซึ่งจะไม่ยอมให้มีการเกิดการกลายพันธุ์ขึ้น โดยโครงงานนี้ ได้กำหนดค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์อยู่ที่ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

4.4.4.3 ขนาดของประชากรและจำนวนรุ่น

เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดขึ้นมาก่อน เพื่อสร้างกลไกในการสร้างคำตอบให้ได้ตามจำนวนที่ต้องการ หากมีจำนวนประชากรในแต่ละรุ่นมากจะทำให้ได้คำตอบที่หลากหลายมากขึ้น แต่ถ้ามีจำนวนมากเกินไปจะทำให้ต้องเสียเวลาในการประมวลผลมาก ส่งผลให้คอมพิวเตอร์ทำงานช้าลง โดยโครงงานนี้ได้กำหนดค่า ขนาดของประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 10/200 และ 20/100

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์ข้างต้น จะเห็นว่ามีการเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์เพียง 2 ระดับปัจจัย ในส่วนของจำนวนของประชากร/จำนวนรุ่น ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ เนื่องจากเป็นการคัดกรองค่าพารามิเตอร์เบื้องต้นที่ต้องการทราบว่าพารามิเตอร์ส่งผลต่อค่าคำตอบของปัญหาหรือไม่ หากต้องการทราบระดับปัจจัยอื่นที่ส่งผลโดยละเอียดขึ้นสามารถศึกษาเพิ่มเติมได้

4.5 ผลการทดลองและการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบ

โครงงานนี้ได้มีการสร้างโจทย์ที่มีจำนวนลูกค้าเป็นตัวกำหนดขนาดของปัญหาขึ้นมา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์ นั่นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งปัญหาขนาดเล็กเป็นปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 25 ราย ต่อมาจะเป็นปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ มีจำนวนลูกค้า 50 ราย และปัญหาขนาดใหญ่ 2 โจทย์ มีจำนวนลูกค้า 100 ราย มาทำการทดสอบด้วยวิธีการเชิงพันธุกรรม ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบได้กำหนดปัจจัยไว้ 5 ปัจจัย ได้แก่ วิธีการสลับสายพันธุ์ คือ การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator การสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator และการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator วิธีการกลายพันธุ์ คือ การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator และการกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการสลับสายพันธุ์ (Pcrossover) คือ 0.90 และ 0.70 ค่าความน่าจะเป็นของการเกิดการกลายพันธุ์ (Pmutation) คือ 0.10 และ 0.05 และจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น (Pop/Gen) คือ 10/200 และ 20/100 ซึ่งมีการทดลอง ดังนี้

4.5.1 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของปัจจัยที่มีผลต่อค่าคำตอบของปัญหาแต่ละขนาด

4.5.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนลูกค้า 25 ราย จำนวนรถบรรทุก 3 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีเวลาการในเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดเล็กทั้ง 2 โจทย์ แสดงดังตารางที่ 4.4 และ 4.5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	1,947.75	57.45	1,856.50	46.32
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	1,782.88	58.84	1,721.69	42.73
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	1,821.45	101.59	1,645.19	41.52
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	1,790.41	36.17	1,759.38	42.71
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	2,060.56	106.40	1,932.00	51.86
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	2,183.94	121.99	2,078.56	53.23
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	2,136.70	42.56	2,067.69	49.37
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	2,013.75	68.34	1,954.56	48.02
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	1,880.11	108.33	1,734.06	43.83
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	1,780.36	31.36	1,740.88	42.45
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	1,834.29	115.06	1,717.81	41.79
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	1,821.98	71.89	1,725.63	42.41
10/200	OP	Group	0.90	0.05	1,967.48	179.85	1,724.13	44.06
10/200	OP	Group	0.90	0.10	2,010.51	150.40	1,793.94	45.30
10/200	OP	Group	0.70	0.05	2,094.13	99.65	1,960.88	49.04
10/200	OP	Group	0.70	0.10	2,075.48	136.99	1,919.31	47.85
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	1,902.08	69.47	1,813.81	46.63
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	1,780.36	138.82	1,598.38	42.45
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	1,809.16	69.26	1,735.75	41.71
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	1,791.51	97.12	1,640.06	42.84
10/200	TP	Group	0.90	0.05	2,023.13	89.17	1,915.00	44.36
10/200	TP	Group	0.90	0.10	1,966.45	84.00	1,815.31	45.44
10/200	TP	Group	0.70	0.05	2,039.31	155.62	1,813.19	47.00
10/200	TP	Group	0.70	0.10	1,965.39	123.24	1,789.50	45.84
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	1,901.88	72.36	1,834.44	43.20
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	1,817.81	72.30	1,738.13	44.23
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	1,910.10	145.77	1,778.19	45.60
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	1,839.18	96.74	1,741.75	47.03
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	2,084.83	113.58	1,906.38	50.700
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	1,981.83	151.95	1,852.69	46.89
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	2,117.28	84.77	2,020.31	48.13
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	2,080.03	76.26	1,989.06	47.02
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	1,824.88	81.90	1,736.63	40.38
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	1,764.00	52.01	1,674.56	41.58
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	1,829.44	96.93	1,707.00	40.50
20/100	OP	Swapping	0.70	0.10	1,835.06	58.41	1,736.88	44.11
20/100	OP	Group	0.90	0.05	2,097.73	101.75	1,988.75	45.48
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	1,742.04	55.10	1,676.44	47.05

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	1,842.54	45.49	1,794.31	45.76
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	1,846.28	83.40	1,723.06	44.37
20/100	TP	Group	0.90	0.05	1,891.81	37.95	1,855.13	43.44
20/100	TP	Group	0.90	0.10	1,961.19	123.59	1,903.44	49.36
20/100	TP	Group	0.70	0.05	1,946.43	67.53	1,845.38	50.71
20/100	TP	Group	0.70	0.10	1,929.35	53.90	1,848.50	52.10

จากตารางที่ 4.4 ผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กโจทย์ 1 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 1,742.04 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เท่ากับ 0.90 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.10 และมีจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 20/100

ตารางที่ 4.5 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	1,190.23	100.58	1,098.56	44.80
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	1,186.33	92.58	1,067.75	43.48
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	1,155.88	94.33	1,082.44	42.76
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	1,206.80	19.70	1,191.25	46.04
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	1,343.69	93.63	1,271.63	46.20
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	1,399.91	138.11	1,225.63	44.57
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	1,375.74	44.21	1,317.38	44.61
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	1,326.10	136.02	1,171.88	48.72
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	1,144.76	108.66	1,057.63	43.57
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	1,121.90	68.53	1,068.69	44.51
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	1,161.93	76.24	1,075.88	42.29
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	1,201.76	157.05	1,050.25	44.07
10/200	OP	Group	0.90	0.05	1,308.01	101.15	1,177.63	43.70
10/200	OP	Group	0.90	0.10	1,388.66	87.50	1,280.11	44.45
10/200	OP	Group	0.70	0.05	1,185.39	46.60	1,157.19	42.58
10/200	OP	Group	0.70	0.10	1,340.70	69.40	1,270.31	43.77
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	1,186.89	116.06	1,039.31	41.89
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	1,121.90	80.108	1,058.31	44.51
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	1,274.55	144.14	1,091.88	42.17
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	1,208.65	146.25	1,058.13	43.24

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	TP	Group	0.90	0.05	1,290.71	96.48	1,161.06	48.56
10/200	TP	Group	0.90	0.10	1,265.58	110.100	1,155.00	42.83
10/200	TP	Group	0.70	0.05	1,244.33	75.86	1,128.25	45.60
10/200	TP	Group	0.70	0.10	1,245.66	118.88	1,137.75	42.81
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	1,179.21	104.05	1,061.63	42.33
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	1,169.13	67.63	1,081.69	44.14
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	1,234.49	148.57	1,095.00	42.04
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	1,123.08	67.41	1,048.44	41.67
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	1,271.85	72.26	1,200.06	41.90
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	1,334.70	66.93	1,220.69	46.86
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	1,313.35	157.33	1,175.00	43.76
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	1,245.15	73.22	1,137.63	43.65
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	1,182.44	112.83	1,065.56	46.26
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	1,064.95	48.72	1,033.50	41.45
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	1,210.68	86.06	1,149.88	43.37
20/100	OP	Swapping	0.70	0.10	1,113.80	79.29	1,046.63	40.709
20/100	OP	Group	0.90	0.05	1,298.55	154.64	1,121.00	40.54
20/100	OP	Group	0.90	0.10	1,322.38	131.45	1,153.56	41.81
20/100	OP	Group	0.70	0.05	1,322.81	78.97	1,228.25	44.90
20/100	OP	Group	0.70	0.10	1,318.88	120.64	1,156.31	42.62
20/100	TP	Swapping	0.90	0.05	1,098.69	67.90	1,029.75	45.47
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	1,107.64	117.03	1,027.00	42.10
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	1,135.49	48.10	1,083.44	40.84
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	1,100.55	66.48	1,029.31	43.21
20/100	TP	Group	0.90	0.05	1,164.59	67.90	1,029.75	41.55
20/100	TP	Group	0.90	0.10	1,202.54	117.03	1,027.00	43.60
20/100	TP	Group	0.70	0.05	1,188.61	48.10	1,083.44	41.88
20/100	TP	Group	0.70	0.10	1,161.03	66.48	1,029.31	42.10

จากตารางที่ 4.5 ผลการทดลองของปัญหาขนาดเล็กโจทย์ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 1,064.95 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เท่ากับ 0.90 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.10 และมีจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 20/100

4.5.1.2 ปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนลูกค้า 50 ราย จำนวนรถบรรทุก 7 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีเวลาการในเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดกลางทั้ง 2 โจทย์ แสดงดังตารางที่ 4.6 และแสดงดังตารางที่ 4.7 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.6 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	4,165.88	137.14	4,041.63	94.11
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	3,762.25	90.40	3,633.00	81.50
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	3,901.26	160.49	3,637.50	89.20
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	3,854.26	193.75	3,690.11	95.75
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	4,337.73	219.68	4,115.81	97.88
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	4,080.45	150.37	3,912.06	91.36
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	4,042.83	128.38	3,868.44	89.30
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	4,047.63	196.87	3,767.94	96.07
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	4,018.50	251.58	3,766.81	94.98
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	3,969.68	115.89	3,860.69	88.19
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	4,120.81	141.98	3,951.06	95.23
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	4,087.86	141.98	3,951.06	88.38
10/200	OP	Group	0.90	0.05	4,104.98	187.40	3,871.88	86.54
10/200	OP	Group	0.90	0.10	4,102.71	153.00	3,967.62	88.14
10/200	OP	Group	0.70	0.05	4,292.63	206.40	4,024.75	90.906
10/200	OP	Group	0.70	0.10	4,104.28	179.16	3,900.71	88.25
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	4,029.84	190.85	3,799.19	81.34
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	3,969.68	107.46	3,738.75	88.19
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	3,966.64	117.44	3,846.56	94.78
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	3,951.20	146.16	3,794.75	92.85
10/200	TP	Group	0.90	0.05	4,206.16	285.27	3,790.56	91.01
10/200	TP	Group	0.90	0.10	4,029.94	81.29	3,969.31	98.17
10/200	TP	Group	0.70	0.05	4,178.56	129.83	4,017.44	95.70
10/200	TP	Group	0.70	0.10	3,903.91	146.64	3,719.00	92.59
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	3,992.89	84.27	3,881.93	87.17
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	3,979.88	207.54	3,751.50	85.83
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	3,884.61	255.23	3,718.12	78.27
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	3,965.05	116.00	3,768.31	80.23
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	4,001.00	222.77	3,769.19	92.07
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	4,078.64	135.25	3,840.71	89.87
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	3,930.71	221.13	3,677.00	87.57

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	4,092.40	182.13	3,897.56	89.63
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	4,014.68	150.70	3,861.00	93.68
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	3,975.05	163.98	3,732.06	101.06
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	4,103.58	87.58	4,025.31	84.95
20/100	OP	Swapping	0.70	0.10	3,981.00	163.98	3,819.62	86.03
20/100	OP	Group	0.90	0.05	4,069.93	90.29	3,946.93	88.99
20/100	OP	Group	0.90	0.10	4,322.54	242.17	3,982.50	90.91
20/100	OP	Group	0.70	0.05	4,263.76	269.11	3,860.50	98.33
20/100	OP	Group	0.70	0.10	4,051.99	113.96	3,894.56	95.86
20/100	TP	Swapping	0.90	0.05	3,852.51	156.80	3,640.31	84.63
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	3,795.90	191.67	3,582.75	81.65
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	3,945.51	92.34	3,829.19	79.62
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	3,692.60	179.32	3,502.31	91.15
20/100	TP	Group	0.90	0.05	3,968.55	156.80	3,640.31	88.52
20/100	TP	Group	0.90	0.10	3,932.54	191.67	3,582.75	100.52
20/100	TP	Group	0.70	0.05	3,872.86	92.34	3,829.19	88.49
20/100	TP	Group	0.70	0.10	3,964.31	179.32	3,502.31	96.21

จากตารางที่ 4.6 ผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางโจทย์ 1 **ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดี**ที่สุดอยู่ที่ 3,692.60 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการสลับ**สายพันธุ์แบบ** Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator **ความน่าจะเป็นของการส**ลับสายพันธุ์ เท่ากับ 0.70 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.10 **และมีจำนวนประชากร**/จำนวนรุ่น เท่ากับ 20/100

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	3,259.19	68.39	3,201.81	94.41
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	3,445.81	205.43	3,179.63	103.31
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	3,453.36	223.26	3,229.56	99.06
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	3,329.85	119.37	3,206.13	92.29
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	3,397.68	238.75	3,126.06	85.51
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	3,351.98	174.99	3,165.00	92.51
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	3,425.10	176.98	3,169.31	96.68
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	3,497.48	239.39	3,212.69	96.68
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	3,435.00	348.25	3,086.88	101.47

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	3,500.34	130.00	3,324.94	100.28
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	3,357.98	161.96	3,153.06	92.08
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	3,309.50	113.86	3,164.31	89.79
10/200	OP	Group	0.90	0.05	3,543.41	155.27	3,317.50	90.59
10/200	OP	Group	0.90	0.10	3,438.05	188.82	3,222.38	92.93
10/200	OP	Group	0.70	0.05	3,470.24	191.78	3,196.56	86.22
10/200	OP	Group	0.70	0.10	3,345.13	81.83	3,268.63	88.97
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	3,339.99	155.04	3,125.25	92.07
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	3,500.34	174.33	3,165.88	100.28
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	3,360.83	108.22	3,228.06	82.50
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	3,265.46	91.30	3,180.88	94.42
10/200	TP	Group	0.90	0.05	3,484.74	58.05	3,403.12	91.97
10/200	TP	Group	0.90	0.10	3,278.31	182.96	3,129.69	93.15
10/200	TP	Group	0.70	0.05	3,361.30	138.32	3,205.88	95.93
10/200	TP	Group	0.70	0.10	3,343.91	203.77	3,151.50	92.92
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	3,298.29	146.91	3,172.75	82.76
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	3,330.43	83.62	3,220.50	86.18
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	3,303.45	166.13	3,047.63	82.99
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	3,214.70	126.67	3,028.00	86.19
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	3,351.34	215.47	3,031.31	87.65
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	3,318.48	135.20	3,089.63	85.79
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	3,380.30	121.42	3,242.56	83.76
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	3,185.99	171.20	2,968.94	85.16
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	3,248.38	114.50	3,081.38	89.44
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	3,126.96	124.20	3,010.71	92.58
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	3,335.74	187.29	3,600.00	85.19
20/100	OP	Swapping	0.70	0.10	3,216.01	55.50	3,131.19	83.66
20/100	OP	Group	0.90	0.05	3,424.48	202.20	3,231.00	94.88
20/100	OP	Group	0.90	0.10	3,366.69	52.47	3,300.31	86.72
20/100	OP	Group	0.70	0.05	3,522.31	83.97	3,388.19	89.56
20/100	OP	Group	0.70	0.10	3,373.73	267.35	3,029.88	91.96
20/100	TP	Swapping	0.90	0.05	3,191.76	101.16	3,029.38	89.34
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	3,125.09	189.81	2,804.56	81.97
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	3,231.75	160.42	3,073.69	89.22
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	3,083.19	56.26	3,025.50	81.69
20/100	TP	Group	0.90	0.05	3,269.04	251.47	2,957.06	88.61
20/100	TP	Group	0.90	0.10	3,281.18	119.62	3,114.06	91.55
20/100	TP	Group	0.70	0.05	3,187.20	194.47	3,026.31	84.33
20/100	TP	Group	0.70	0.10	3,201.00	261.44	2,925.38	101.22

จากตารางที่ 4.7 ผลการทดลองของปัญหาขนาดกลางโจทย์ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 3,083.19 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เท่ากับ 0.70 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.10 และมีจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 20/100

4.5.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่

ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนลูกค้า 100 ราย จำนวนรถบรรทุก 15 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 2 โจทย์ ที่มีเวลาในการเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน โดยแสดงผลการทดลองของโจทย์ขนาดใหญ่ทั้ง 2 โจทย์ ดังตารางที่ 4.8 และตารางที่ 4.9 ตามลำดับ

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	7,670.46	142.66	7,516.25	172.78
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	7,387.76	77.31	7,261.25	167.70
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	7,729.85	251.01	7,471.69	190.30
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	7,323.93	237.03	7,157.19	195.30
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	7,523.11	130.24	7,356.38	190.06
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	7,689.30	158.47	7,496.75	204.16
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	7,692.55	261.77	7,257.69	199.57
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	7,248.76	191.30	7,061.38	195.67
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	7,889.24	133.33	7,698.50	209.12
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	7,491.61	143.09	7,342.00	214.00
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	7,869.51	82.78	7,769.81	200.90
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	7,483.84	216.88	7,336.13	215.14
10/200	OP	Group	0.90	0.05	7,936.98	235.20	7,718.88	201.23
10/200	OP	Group	0.90	0.10	7,654.66	244.25	7,386.56	195.40
10/200	OP	Group	0.70	0.05	7,880.30	209.80	7,660.06	201.40
10/200	OP	Group	0.70	0.10	7,689.55	196.24	7,494.25	204.40
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	7,850.70	306.30	7,537.06	181.14
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	7,491.61	341.93	6,697.56	214.00
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	7,739.31	206.46	7,537.38	200.10
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	7,494.64	239.78	7,143.25	204.37
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	7,627.90	100.46	7,508.06	187.65
10/200	TP	Group	0.90	0.05	7,884.84	180.900	7,699.81	190.91
10/200	TP	Group	0.90	0.10	7,631.43	216.11	7,382.00	204.39
10/200	TP	Group	0.70	0.05	7,856.16	266.65	7,555.63	190.45
10/200	TP	Group	0.70	0.10	7,409.41	262.51	7,039.31	213.58
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	7,753.11	260.101	7,336.81	187.30

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	7,444.35	235.08	7,157.00	192.80
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	7,297.11	253.65	6,999.25	174.65
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	7,644.39	224.18	7,351.44	188.86
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	7,818.58	310.04	7,559.38	202.93
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	7,802.05	362.94	7,384.75	189.31
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	7,506.73	218.09	7,230.63	192.13
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	7,835.33	236.42	7,564.38	196.28
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	7,552.69	106.51	7,434.00	202.14
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	7,973.63	186.67	7,760.71	207.12
20/100	OP	Swapping	0.70	0.10	7,830.54	165.19	7,562.31	192.63
20/100	OP	Group	0.90	0.05	7,977.34	245.41	7,701.69	197.43
20/100	OP	Group	0.90	0.10	8,043.71	320.701	7,797.88	183.08
20/100	OP	Group	0.70	0.05	8,110.25	275.42	7,733.63	207.14
20/100	OP	Group	0.70	0.10	7,990.01	246.50	7,695.63	202.79
20/100	TP	Swapping	0.90	0.05	7,461.91	226.90	7,269.13	204.95
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	7,275.71	167.18	7,000.38	201.83
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	7,332.84	169.43	7,081.44	196.65
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	7,397.98	123.88	7,222.38	192.09
20/100	TP	Group	0.90	0.05	7,736.38	354.92	7,350.00	206.66
20/100	TP	Group	0.90	0.10	7,442.21	356.25	7,045.63	182.49
20/100	TP	Group	0.70	0.05	7,644.03	383.85	7,239.69	188.12
20/100	TP	Group	0.70	0.10	7,341.36	326.04	6,952.00	210.30

จากตารางที่ 4.8 ผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ 1 **ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่**ดีที่สุดอยู่ที่ 7,248.76 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการ**สลับสายพันธุ์แบบ** Lock Zero Crossover Operator **การกลายพันธุ์แบบ** Group of Mutation Operator **ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เท่ากับ** 0.70 **ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ** 0.10 **และมีจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ** 10/100

ตารางที่ 4.9 แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2

ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.05	7,405.10	307.17	6,998.00	193.87
10/200	LZ	Swapping	0.90	0.10	7,222.85	237.83	6,968.88	202.00
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.05	7,418.53	154.31	7,211.38	197.42
10/200	LZ	Swapping	0.70	0.10	7,255.06	116.08	7,051.00	188.49
10/200	LZ	Group	0.90	0.05	7,544.18	178.01	7,267.13	203.61

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2

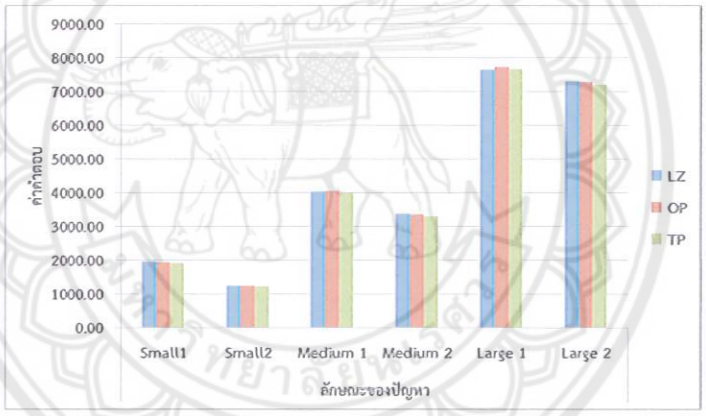
ค่าพารามิเตอร์					ผลการทดลอง			
Pop/Gen	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Average	SD	Min	Time
10/200	LZ	Group	0.90	0.10	7,418.45	317.24	6,958.31	179.44
10/200	LZ	Group	0.70	0.05	7,403.74	318.16	7,055.63	197.18
10/200	LZ	Group	0.70	0.10	7,172.30	200.52	6,908.94	196.34
10/200	OP	Swapping	0.90	0.05	7,364.28	162.48	7,176.38	175.57
10/200	OP	Swapping	0.90	0.10	7,355.50	111.68	7,177.81	189.61
10/200	OP	Swapping	0.70	0.05	7,645.75	208.88	7,441.25	204.51
10/200	OP	Swapping	0.70	0.10	7,256.01	198.89	6,953.75	207.14
10/200	OP	Group	0.90	0.05	7,279.66	186.54	6,954.63	193.24
10/200	OP	Group	0.90	0.10	7,237.53	174.75	7,047.00	199.77
10/200	OP	Group	0.70	0.05	7,563.31	269.73	7,287.50	202.77
10/200	OP	Group	0.70	0.10	7,428.11	320.28	7,078.88	189.23
10/200	TP	Swapping	0.90	0.05	7,366.94	245.48	7,014.69	176.85
10/200	TP	Swapping	0.90	0.10	7,355.50	391.85	6,735.00	189.61
10/200	TP	Swapping	0.70	0.05	7,524.74	378.05	7,001.69	193.64
10/200	TP	Swapping	0.70	0.10	7,143.83	118.08	7,014.38	185.66
10/200	TP	Group	0.90	0.05	7,271.00	298.02	6,999.94	191.56
10/200	TP	Group	0.90	0.10	7,301.44	76.12	7,222.94	215.72
10/200	TP	Group	0.70	0.05	7,179.63	206.63	6,909.94	173.13
10/200	TP	Group	0.70	0.10	7,121.30	509.42	6,650.88	197.84
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.05	7,306.76	301.80	7,032.50	183.08
20/100	LZ	Swapping	0.90	0.10	7,044.21	219.43	6,806.88	185.36
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.05	7,331.60	177.30	7,034.25	181.74
20/100	LZ	Swapping	0.70	0.10	7,046.44	261.42	6,663.00	178.16
20/100	LZ	Group	0.90	0.05	7,065.85	256.56	6,689.25	164.14
20/100	LZ	Group	0.90	0.10	7,045.95	188.87	6,773.69	186.09
20/100	LZ	Group	0.70	0.05	7,291.30	241.52	6,975.63	199.46
20/100	LZ	Group	0.70	0.10	7,120.08	186.86	6,965.25	176.26
20/100	OP	Swapping	0.90	0.05	7,473.53	150.905	7,329.94	210.90
20/100	OP	Swapping	0.90	0.10	7,303.64	126.16	7,191.50	204.08
20/100	OP	Swapping	0.70	0.05	7,176.03	110.33	7,053.25	200.91
20/100	OP	Group	0.70	0.10	7,281.28	184.25	6,989.19	198.91
20/100	TP	Swapping	0.90	0.05	6,998.56	169.51	6,832.38	190.43
20/100	TP	Swapping	0.90	0.10	7,140.20	159.09	6,884.63	183.77
20/100	TP	Swapping	0.70	0.05	7,186.11	289.01	6,920.56	181.35
20/100	TP	Swapping	0.70	0.10	6,979.70	305.10	6,703.31	186.38
20/100	TP	Group	0.90	0.05	7,127.25	109.35	6,954.88	181.74
20/100	TP	Group	0.90	0.10	7,099.55	190.48	6,799.50	177.58
20/100	TP	Group	0.70	0.05	7,240.30	268.62	6,828.31	179.92
20/100	TP	Group	0.70	0.10	7,059.56	241.01	6,824.00	187.78

จากตารางที่ 4.9 ผลการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ 2 ได้ค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ที่ 6,979.70 บาท มีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมอยู่ที่ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ เท่ากับ 0.70 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ เท่ากับ 0.10 และมีจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น เท่ากับ 20/100

4.5.2 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการเปลี่ยนค่าพารามิเตอร์

4.5.2.1 การเปลี่ยนวิธีการสลับสายพันธุ์

วิธีการสลับสายพันธุ์ได้กำหนดไว้ 3 แบบ คือ การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator การสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator และการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการสลับสายพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 4.20

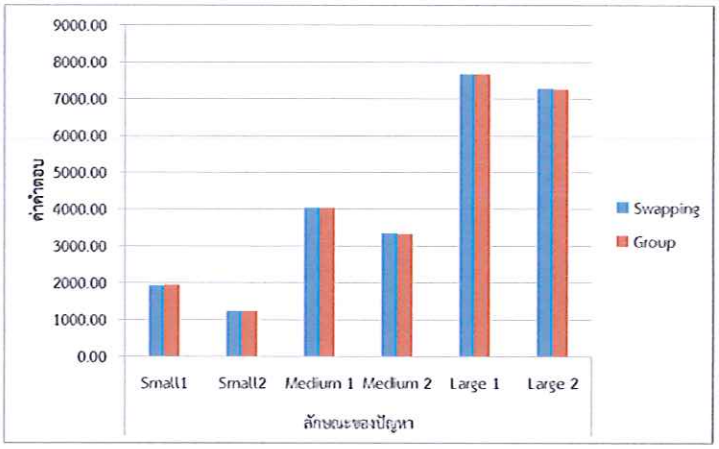


รูปที่ 4.20 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการสลับสายพันธุ์

จากรูปที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนวิธีการสลับสายพันธุ์ ในการทดลองนี้ มีผลแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่าคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

4.5.2.2 การเปลี่ยนวิธีการกลายพันธุ์

วิธีการกลายพันธุ์ได้กำหนดไว้ 2 แบบ คือ การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator และการกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการกลายพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 4.21

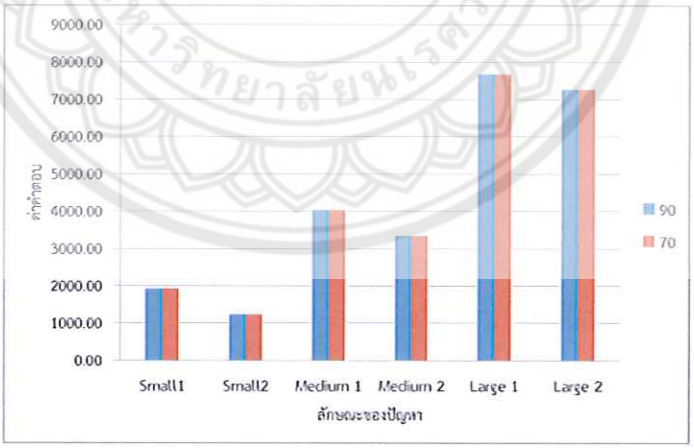


รูปที่ 4.21 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนวิธีการกลายพันธุ์

จากรูปที่ 4.21 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนวิธีการกลายพันธุ์ ในการทดลองนี้ มีผลแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่าคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

4.5.2.3 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ได้กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 0.90 และ 0.70 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 4.22

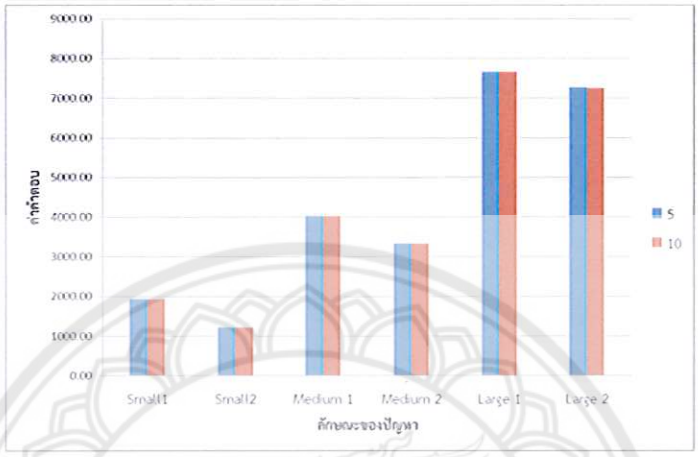


รูปที่ 4.22 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์

จากรูปที่ 4.22 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ ในการทดลองนี้ มีผลแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่าคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

4.5.2.4 การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์

ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ได้กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 0.05 และ 0.10 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ แสดงดังรูปที่ 4.23

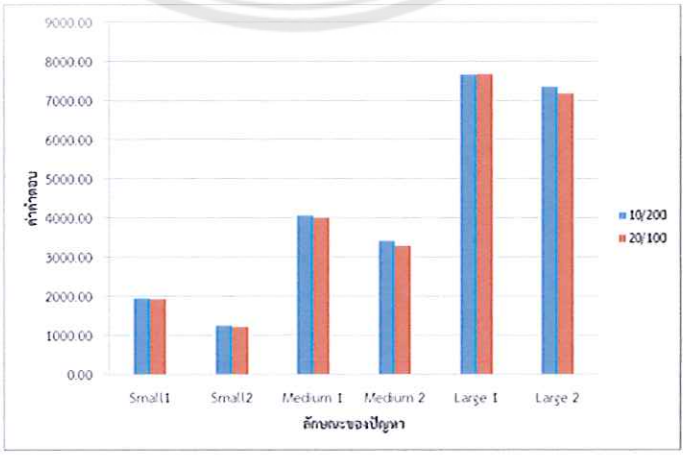


รูปที่ 4.23 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ ในการทดลองนี้ มีผลแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่าคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

4.5.2.5 การเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นได้กำหนดไว้ 2 ค่า คือ 10/200 และ 20/100 ซึ่งมีการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น แสดงดังรูปที่ 4.24



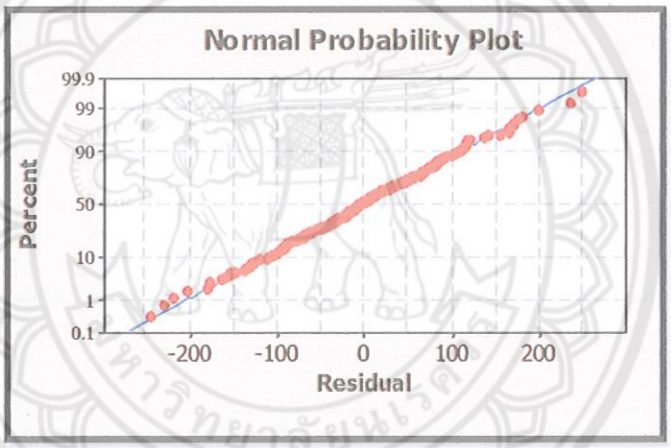
รูปที่ 4.24 แสดงผลการเปรียบเทียบผลการทดลองของการเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น

จากรูปที่ 4.24 จะเห็นได้ว่า การเปลี่ยนค่าจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น ในการทดลองนี้ มีผลแตกต่างกันไม่มาก โดยที่ค่าคำตอบที่ได้จากการทดลองแตกต่างกันไม่มาก

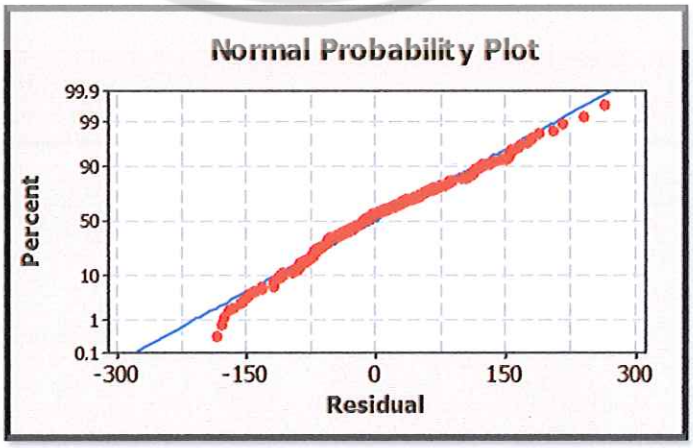
4.5.3 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การตรวจสอบความเหมาะสมและความถูกต้องของข้อมูลเป็นการตรวจสอบข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตารางที่ 9 ถึงตารางที่ 14 โดยอาศัยโปรแกรมทางสถิติ Minitab 16 ช่วยในการวิเคราะห์ผลการทดลอง ประกอบด้วย 4 ขั้นตอน ดังนี้

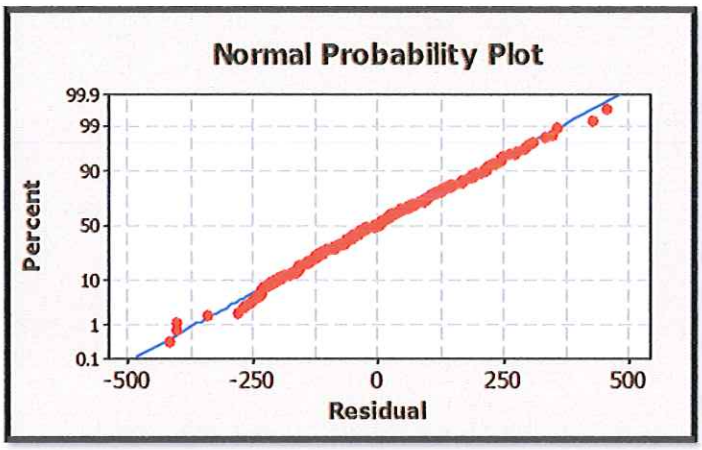
4.5.3.1 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ในการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล โดยใช้การพล็อตความน่าจะเป็นแบบปกติ (Normal Probability Plot) ของข้อมูล พบว่า การกระจายของค่าใช้จ่าย มีการกระจายตัวตามแนวเส้นตรงทำให้ประมาณได้ว่า เป็นการแจกแจงแบบปกติของค่าใช้จ่าย แสดงดังรูปที่ 4.25 ถึงรูปที่ 4.30



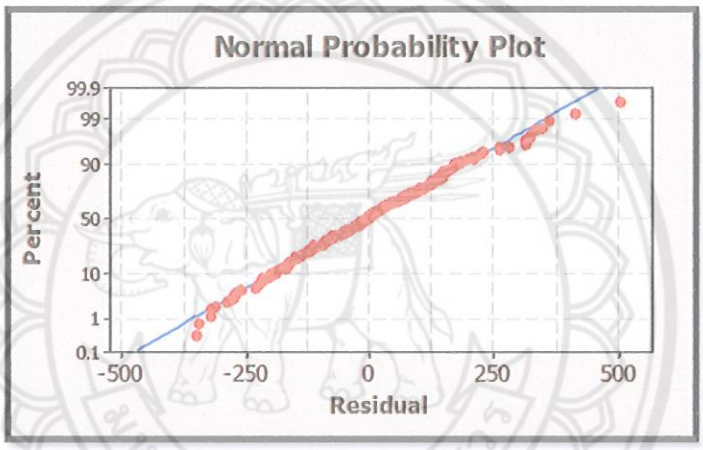
รูปที่ 4.25 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดเล็ก 1



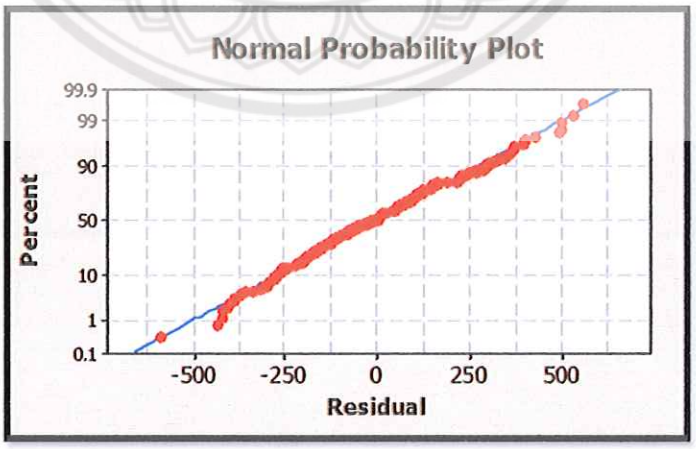
รูปที่ 4.26 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดเล็ก 2



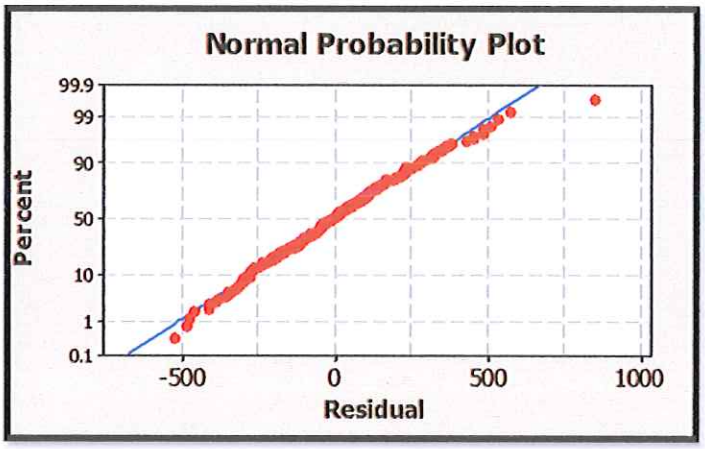
รูปที่ 4.27 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดกลาง 1



รูปที่ 4.28 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดกลาง 2

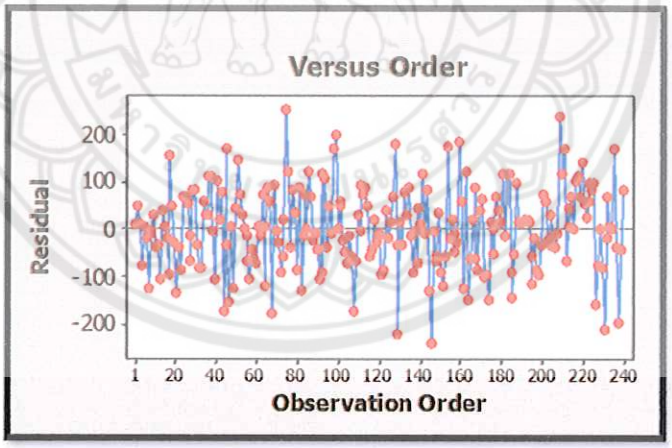


รูปที่ 4.29 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดใหญ่ 1

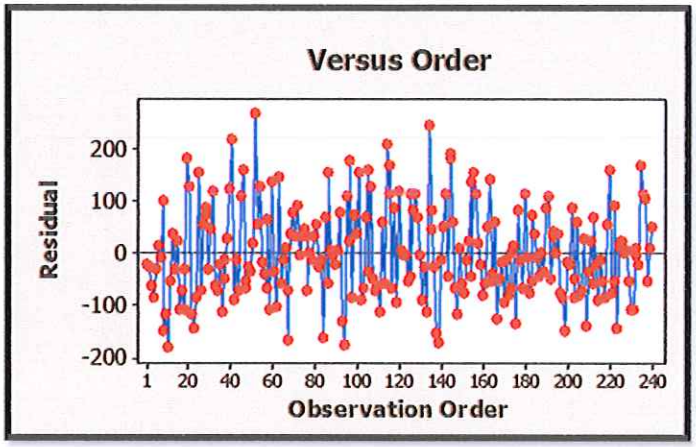


รูปที่ 4.30 การแจกแจงแบบปกติของปัญหาขนาดใหญ่ 2

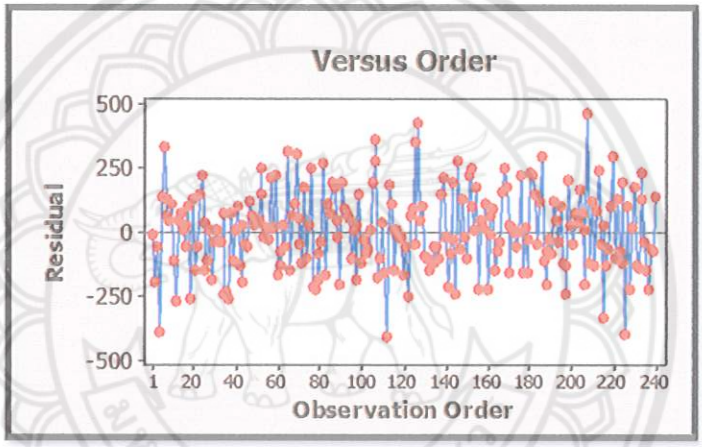
4.5.3.2 การตรวจสอบความเป็นอิสระ (Independent) ของค่าใช้จ่าย การกระจายตัวของค่าความผิดพลาดมีความเป็นอิสระต่อกัน โดยสร้างแผนภูมิการกระจาย (Scatter Plot) เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า การกระจายของค่าใช้จ่าย มีรูปแบบที่เป็นอิสระ ไม่มีรูปแบบที่แน่นอน แสดงให้เห็นว่า ค่าความคลาดเคลื่อน (Residuals) มีความเป็นอิสระต่อกัน แสดงดังรูปที่ 4.31 ถึงรูปที่ 4.36



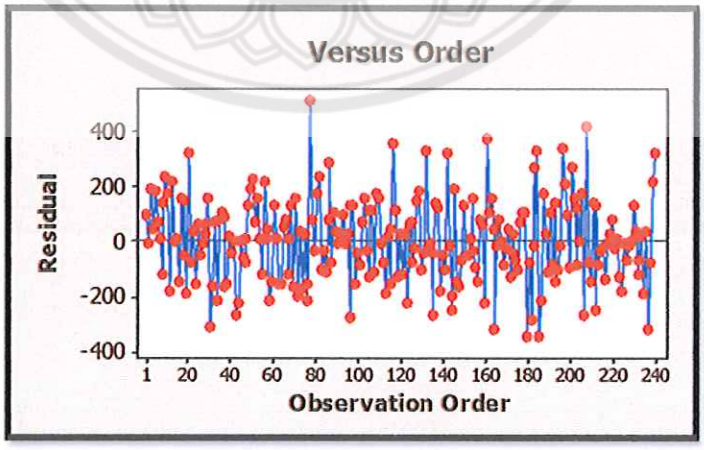
รูปที่ 4.31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 1



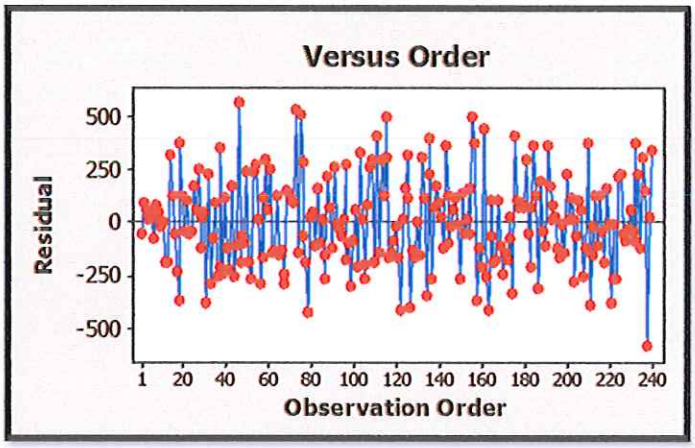
รูปที่ 4.32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดเล็ก 2



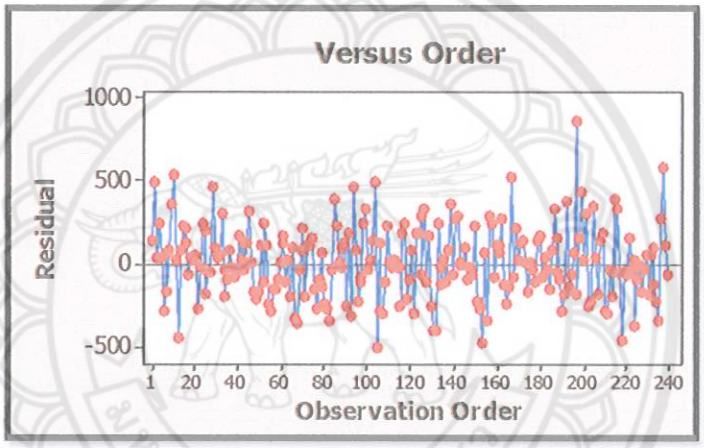
รูปที่ 4.33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 1



รูปที่ 4.34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดกลาง 2

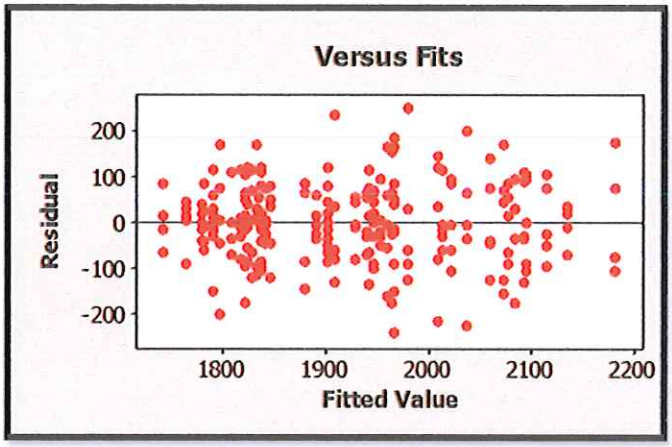


รูปที่ 4.35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 1

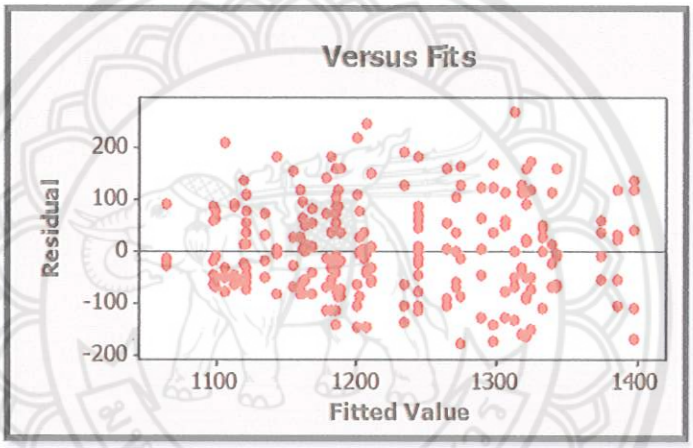


รูปที่ 4.36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ของค่าใช้จ่ายและลำดับการทดลองของปัญหาขนาดใหญ่ 2

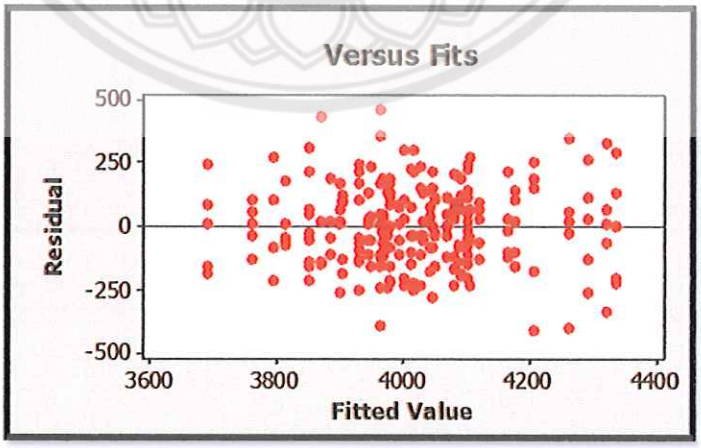
4.5.3.3 การตรวจสอบความเสถียรของความแปรปรวน (Variance Stability : σ^2) ของค่าใช้จ่าย โดยสร้างแผนภูมิการกระจายของค่าความคลาดเคลื่อน เมื่อพิจารณาการกระจายของข้อมูลบนแผนภูมิ พบว่า ความแปรปรวนของค่าความคลาดเคลื่อนอยู่ในระดับน่าพอใจ และรูปร่างการกระจายตัวของข้อมูลไม่เป็นรูปแบบ แสดงดังรูปที่ 4.37 ถึงรูปที่ 4.42



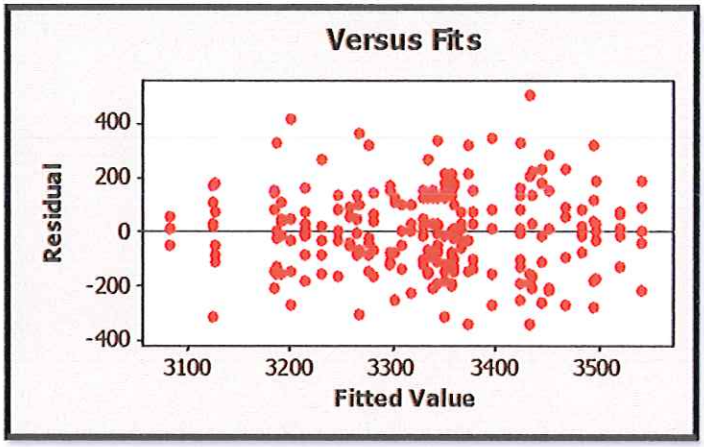
รูปที่ 4.37 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดเล็ก 1



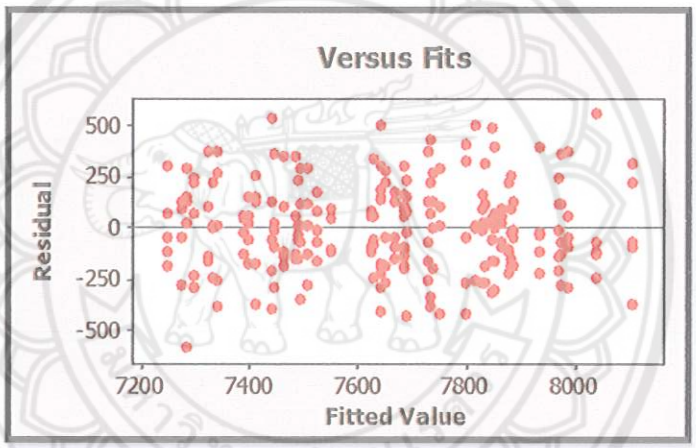
รูปที่ 4.38 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดเล็ก 2



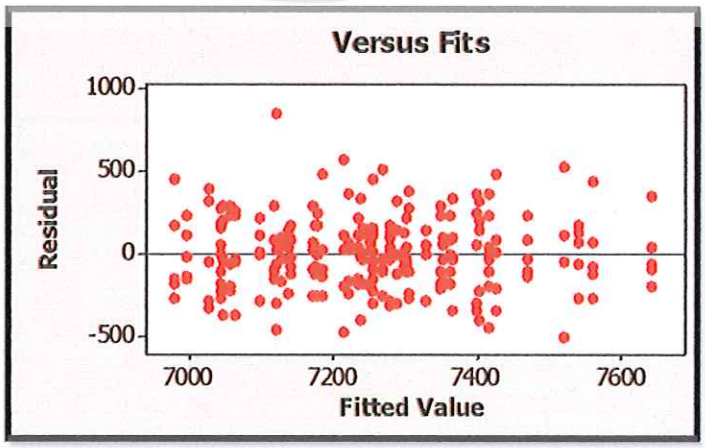
รูปที่ 4.39 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดกลาง 1



รูปที่ 4.40 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดกลาง 2

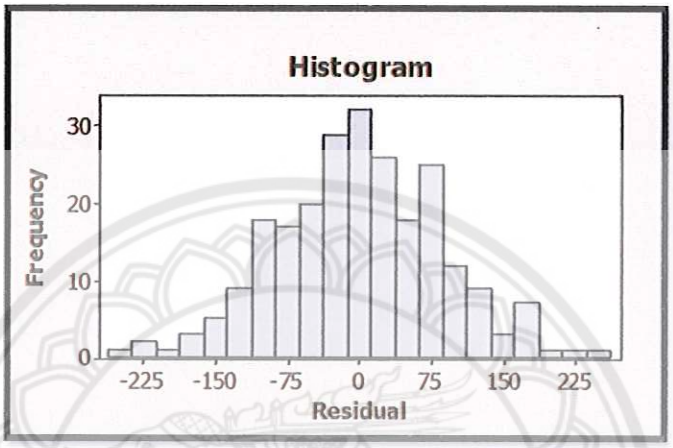


รูปที่ 4.41 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดใหญ่ 1

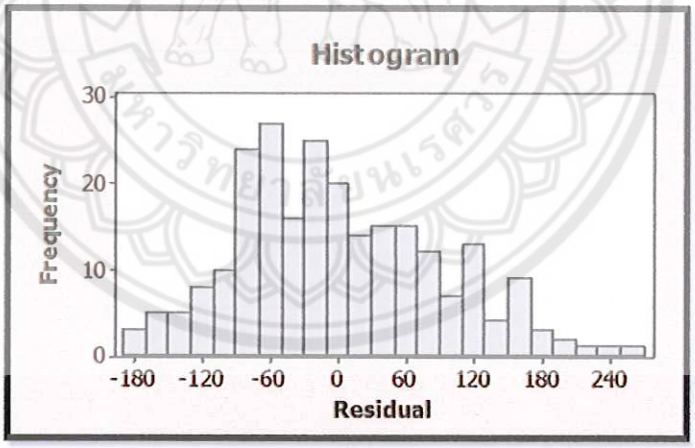


รูปที่ 4.42 กราฟแสดงการกระจายตัวของความคลาดเคลื่อนเทียบกับค่าใช้จ่ายของปัญหาขนาดใหญ่ 2

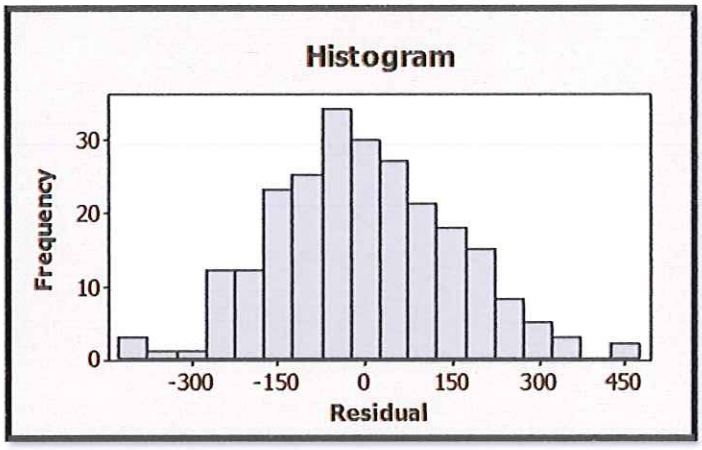
4.5.3.4 การตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติ (Normal Distribution) ในการตรวจสอบการกระจายตัวแบบปกติของข้อมูล โดยใช้การพล็อตการกระจายตัว (Distribution Plot) สร้างแผนภูมิฮิสโตแกรม (Histogram) เมื่อพิจารณาจากแผนภูมิ พบว่า ข้อมูลมีลักษณะการกระจายเข้าข่ายเป็นการกระจายตัวแบบปกติ มีลักษณะการกระจายตัวของข้อมูลเป็นแบบระฆังคว่ำ แสดงดังรูปที่ 4.43 ถึงรูปที่ 4.48



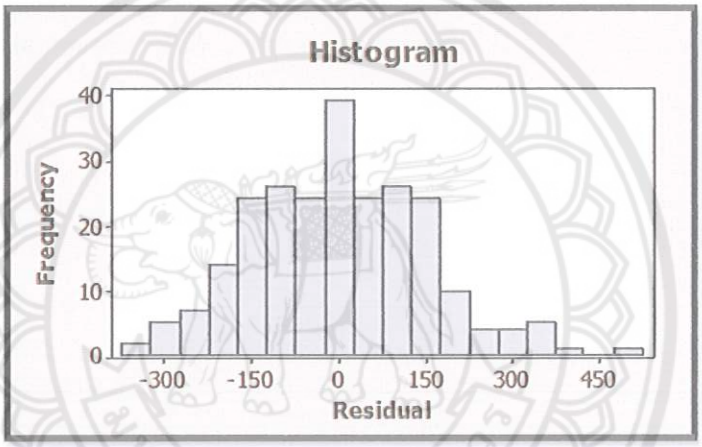
รูปที่ 4.43 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดเล็ก 1



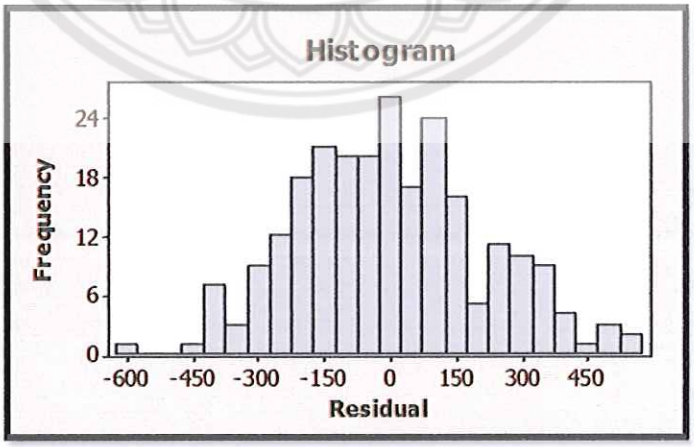
รูปที่ 4.44 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดเล็ก 2



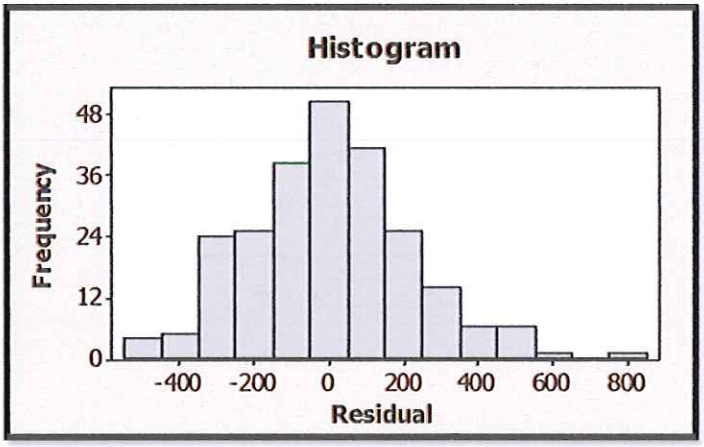
รูปที่ 4.45 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดกลาง 1



รูปที่ 4.46 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดกลาง 2



รูปที่ 4.47 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดใหญ่ 1



รูปที่ 4.48 ฮิสโตแกรมของปัญหาขนาดใหญ่ 2

4.5.4 วิเคราะห์ผลโดยใช้หลักสถิติและหาพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา

จากการทดลองข้างต้นสามารถนำเสนอผลการวิเคราะห์ผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลต่อค่าของคำตอบ โดยใช้วิธีการทางสถิติ ซึ่งตารางการวิเคราะห์จะนำเสนอค่า P-value ของผลกระทบหลักทุกพารามิเตอร์และนำเสนอเฉพาะค่า P-value ของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกันตั้งแต่ 2 ปัจจัยขึ้นไป ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา โดยแบ่งการพิจารณาตามปัญหา ซึ่งสามารถแสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 1 แสดงดังตารางที่ 4.10

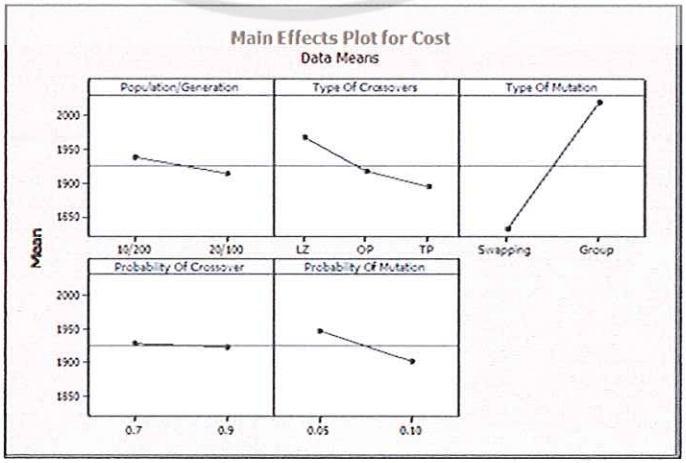
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 1

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj MS	F	P
Population/Generation	1	34,592	34,592	34,592	3.75	0.05
Type of Crossovers	2	227,313	227,313	113,657	12.32	0.00
Type of Mutation	1	2,124,037	2,124,037	2,124,037	230.20	0.00
Probability of Crossover	1	1,440	1,440	1,440	0.11	0.69
Probability of Mutation	1	124,400	124,400	124,400	13.48	0.00
Population/Generation* Type of Mutation	1	42,249	42,249	42,249	4.58	0.03
Type of Crossovers* Type of Mutation	2	75,343	75,343	37,672	4.08	0.02
Population/Generation* Type of Crossovers* Probability of Crossover	2	66,034	66,034	33,017	3.58	0.03

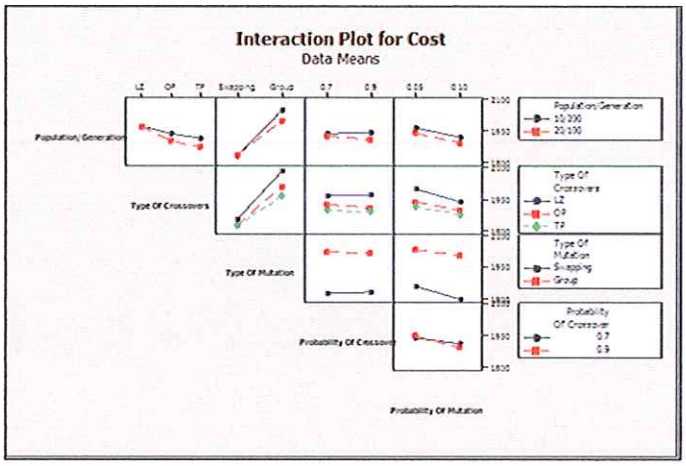
ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 1

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj MS	F	P
Type of Mutation* Probability of Crossover* Probability of Mutation	1	49,076	49,076	49,076	5.32	0.02
Error	192	1,771,555	1,771,555	9,227		
Total	239	4,843,973				

จากตารางที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดเล็ก 1 พบว่า พารามิเตอร์ Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของ Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยพบว่า Population/Generation กับ Type of Mutation และ Type of Crossovers กับ Type of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Type of Crossovers, Probability of Crossover และ Type of Mutation กับ Probability of Crossover, Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.03 และ 0.02 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สำหรับพารามิเตอร์ตัวอื่นๆ ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มีผลให้คำตอบแตกต่างกัน



รูปที่ 4.49 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดเล็ก 1



รูปที่ 4.50 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดเล็ก 1

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า **พารามิเตอร์ในการทดลองนี้** มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่าง**กันมีผลให้คำตอบแตกต่าง**กัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณา**จากลักษณะของเส้นกราฟ**ใน รูปที่ 4.49 และรูปที่ 4.50 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระ**ทบหลักกำหนดให้** Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ TP, Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Swapping **และกำหนดให้** Probability of Mutation มีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระ**ทบร่วม 3 ปัจจัยระหว่าง** Type of Crossovers กับ Population/Generation และ Probability of Crossover **โดยกำหนดให้** Population/Generation มีค่าเท่ากับ 20/100 และกำหนด**ให้** Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.90

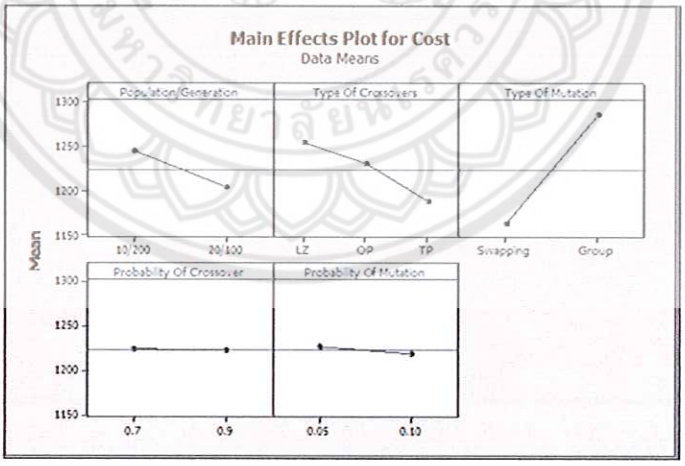
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 2

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation	1	106,163	106,163	106,163	10.84	0.00
Type of Crossovers	2	181,108	181,108	90,554	9.24	0.00
Type of Mutation	1	924,646	924,646	924,646	94.38	0.00
Probability of Crossover	1	284	284	284	0.03	0.87
Probability of Mutation	1	3,649	3,649	3,649	0.37	0.54
Population/Generation* Type of Crossovers	2	67,992	67,992	33,996	3.47	0.03
Type of Crossovers* Type of Mutation	2	102,361	102,361	51,180	5.22	0.01
Type of Mutation* Probability of Crossover	1	50,909	50,909	50,909	5.20	0.02

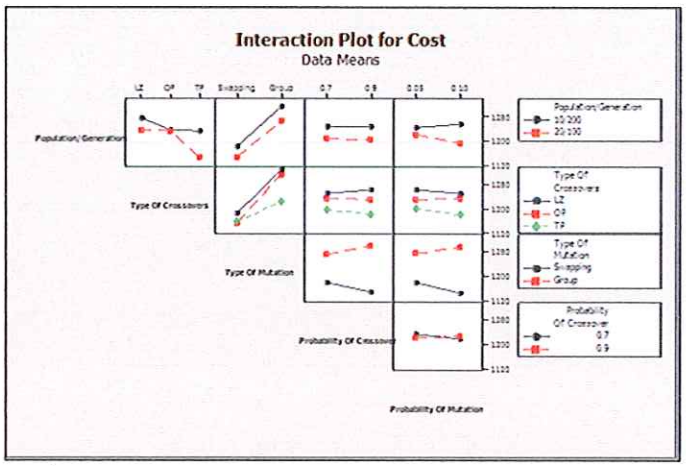
ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดเล็ก 2

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Type of Mutation* Probability of Mutation	1	47,378	47,378	47,378	4.84	0.03
Error	192	1,880,982	1,880,982	9,797		
Total	239	3,639,980				

จากตารางที่ 4.11 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดเล็ก พบว่า พารามิเตอร์ Population/Generation, Type of Crossovers และ Type of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของ Population/Generation, Type of Crossovers และ Type of Mutation ที่มีค่าแตกต่างกัน มีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 2 ปัจจัยพบว่า Population/Generation กับ Type of Crossovers, Type of Crossovers กับ Type of Mutation, Type of Mutation กับ Probability of Crossover และ Type of Mutation กับ Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.03, 0.01, 0.02 และ 0.03 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95



รูปที่ 4.51 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดเล็ก 2



รูปที่ 4.52 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดเล็ก 2

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า **พารามิเตอร์ในการทดลองนี้** มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่าง**กันมีผลให้คำตอบแตกต่าง**กันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณาจากลัก**ษณะของเส้นกราฟในรูปที่** 4.51 และรูปที่ 4.52 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระทบหลัก**กำหนดให้** Population/ Generation มีค่าเท่ากับ 20/100, Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ TP และ**กำหนดให้** Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Swapping ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย**ระหว่าง** Type of Mutation กับ Probability of Crossover และ Probability of Mutation **โดยกำหนดให้** Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.90 และกำหนดให้ Probability of Mutation **มีค่าเท่ากับ** 0.10

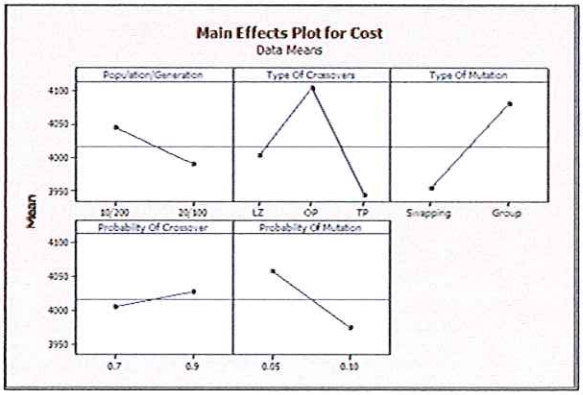
ตารางที่ 4.12 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดกลาง 1

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation	1	187,649	187,649	187,649	6.22	0.01
Type of Crossovers	2	1,045,380	1,045,380	522,690	17.33	0.00
Type of Mutation	1	937,156	937,156	937,156	31.08	0.00
Probability of Crossover	1	32,909	32,909	32,909	1.09	0.30
Probability of Mutation	1	434,340	434,340	434,340	14.40	0.00
Population/Generation* Type of Crossovers	2	199,184	199,184	99,592	3.30	0.04
Population/Generation* Probability of Mutation	1	168,500	168,500	168,500	5.59	0.02
Type of Crossovers* Probability of Crossover	2	192,244	192,244	96,122	3.19	0.04

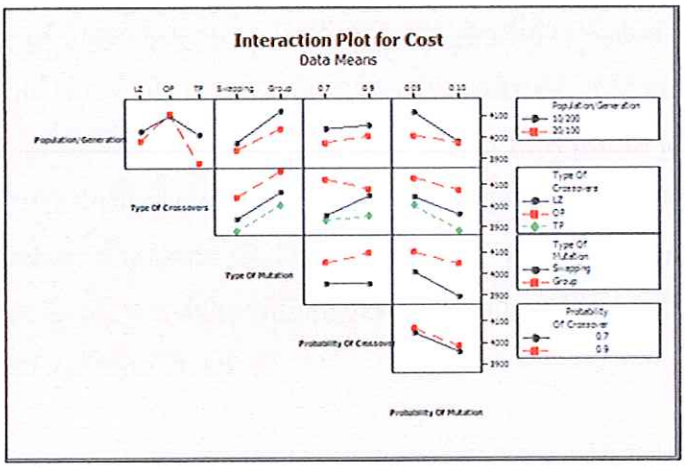
ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดกลาง 1

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation* Probability of Crossover* Probability of Mutation	1	137,599	137,599	137,599	4.56	0.03
Type of Crossovers* Probability of Crossover* Probability of Mutation	2	225,148	225,148	112,574	3.73	0.03
Error	192	5,789,661	5,789,661	30,154		
Total	239	10,301,883				

จากตารางที่ 4.12 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ **โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดกลาง 1 พบว่า** พารามิเตอร์ Population/Generation, Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.01, 0.00 และ 0.00 **ตาม**ลำดับ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของ Population/Generation, Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation **ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ** 95 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Type of Crossovers, Population/Generation กับ Probability of Mutation **และ** Type of Crossovers กับ Probability of Crossover มีค่า P-value เท่ากับ 0.04, 0.02 **และ** 0.04 **ตามลำดับ** ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำ**ตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ** 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Probability of Crossover, Probability of Mutation **และ** Type of Crossovers กับ Probability of Crossover, Probability of Mutation มีค่า P-value **เท่ากับ** 0.03 **และ** 0.03 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่า**แตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ** 95



รูปที่ 4.53 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดกลาง



รูปที่ 4.54 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดกลาง 1

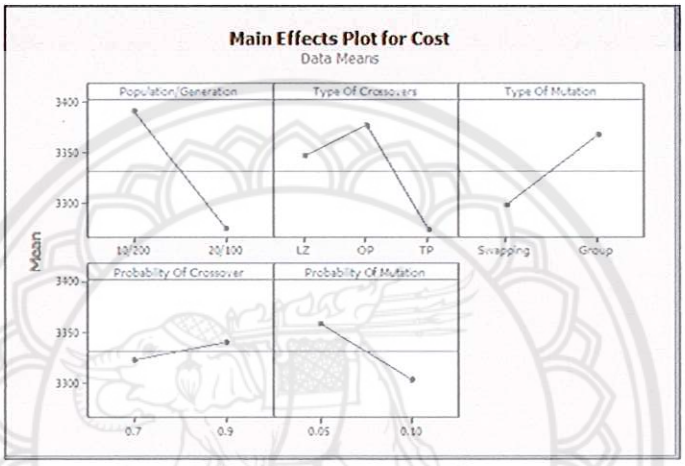
จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า พารามิเตอร์ในการทดลองนี้ มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณาจากลักษณะของเส้นกราฟใน รูปที่ 4.53 และรูปที่ 4.54 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระทบหลักกำหนดให้ Population/ Generation มีค่าเท่ากับ 20/100, Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ TP, Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Swapping และกำหนดให้ Probability of Mutation มีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ระหว่าง Type of Crossovers กับ Probability of Crossover โดยกำหนดให้ Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.70

ตารางที่ 4.13 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดกลาง 2

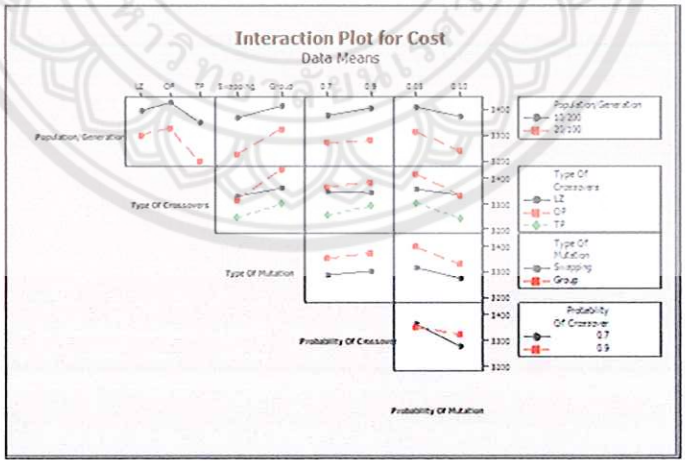
Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation	1	808,825	808,825	808,825	28.42	0.00
Type of Crossovers	2	451,465	451,465	225,733	7.93	0.00
Type of Mutation	1	292,820	292,820	292,820	10.29	0.00
Probability of Crossover	1	17,549	17,549	17,549	0.62	0.43
Probability of Mutation	1	188,223	188,223	188,223	6.61	0.01
Population/Generation*	2	222,941	222,941	111,470	3.92	0.02
Type of Crossovers*						
Probability of Crossover						
Error	192	5,464,278	5,464,278	28,460		
Total	239	8,222,426				

จากตารางที่ 4.13 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดกลาง 2 พบว่า พารามิเตอร์ Probability of Mutation, Population/

Generation, Type of Crossovers และ Type of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.00, 0.00 และ 0.01 ตามลำดับ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของ Probability of Mutation, Population/ Generation, Type of Crossovers และ Type of Mutation ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Type of Crossovers และ Probability of Crossover มีค่า P-value เท่ากับ 0.02 ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95



รูปที่ 4.55 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาขนาดกลาง 2



รูปที่ 4.56 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดกลาง 2

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า พารามิเตอร์ในการทดลองนี้ มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณาจากลักษณะของเส้นกราฟในรูปที่ 4.55 และรูปที่ 4.56 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระทบหลักกำหนดให้

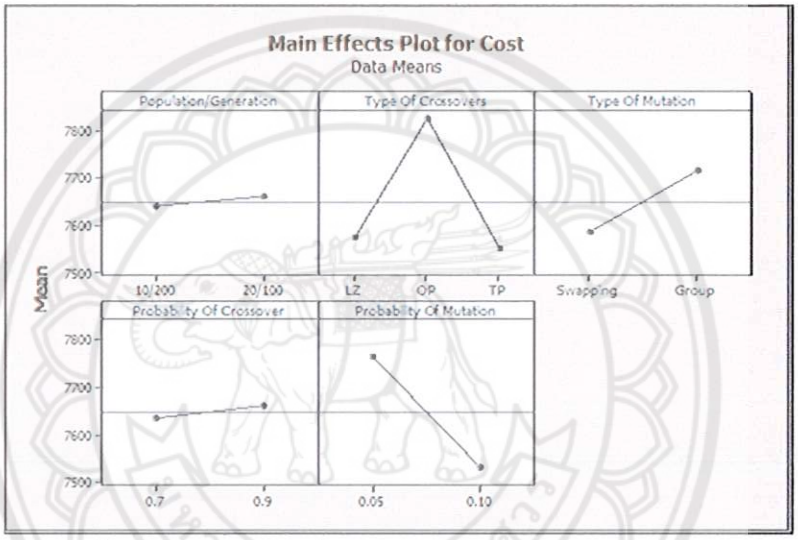
Population/ Generation มีค่าเท่ากับ 20/100, Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ TP, Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Swapping และกำหนดให้ Probability of Mutation มีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง Type of Crossovers กับ Population/Generation และ Probability of Crossover โดยกำหนดให้ Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.70

ตารางที่ 4.14 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดใหญ่ 1

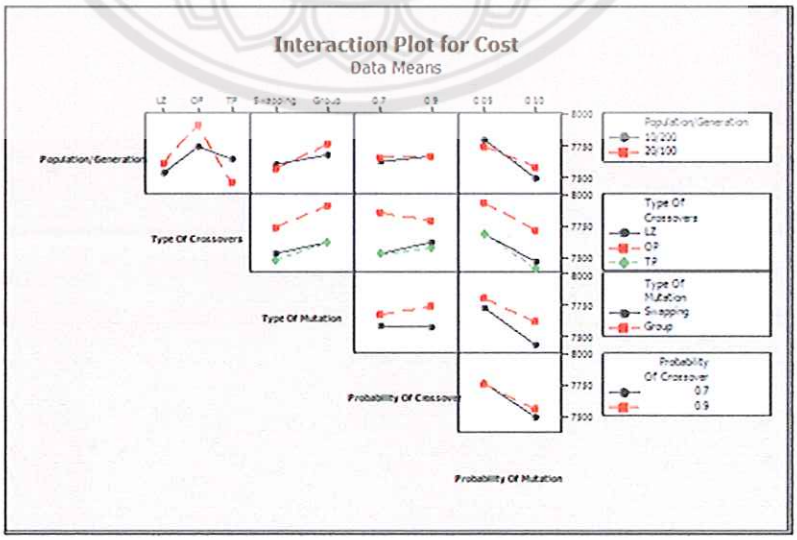
Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation	1	29,065	29,065	29,065	0.52	0.47
Type Of Crossovers	2	3,763,595	3,763,595	1,881,798	33.52	0.00
Type Of Mutation	1	1,037,634	1,037,634	1,037,634	18.48	0.00
Probability Of Crossover	1	38,450	38,450	38,450	0.68	0.41
Probability Of Mutation	1	3,375,326	3,375,326	3,375,326	60.10	0.00
Population/Generation* Type Of Crossovers	2	1,442,706	1,442,706	721,353	12.85	0.00
Population/Generation* Probability Of Mutation	1	328,579	328,579	328,579	5.85	0.02
Type Of Crossovers* Probability Of Crossover* Probability Of Mutation	2	446,781	446,781	223,391	3.98	0.02
Type Of Mutation* Probability Of Crossover* Probability Of Mutation	1	398,566	398,566	398,566	7.10	0.01
Error	192	10,779,009	10,779,009	56,141		
Total	239	23,408,749				

จากตารางที่ 4.14 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดกลาง พบว่า พารามิเตอร์ Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ดังนั้นค่าพารามิเตอร์ของ Type of Crossovers, Type of Mutation และ Probability of Mutation ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาผลกระทบ

ร่วม 2 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Type of Crossovers และ Population/ Generation กับ Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.00 และ 0.02 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 และเมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่า Type of Crossovers กับ Probability of Crossover, Probability of Mutation และ Type of Mutation กับ Probability of Crossover, Probability of Mutation มีค่า P-value เท่ากับ 0.02 และ 0.01 ตามลำดับ ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน และมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95



รูปที่ 4.57 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาใหญ่ 1



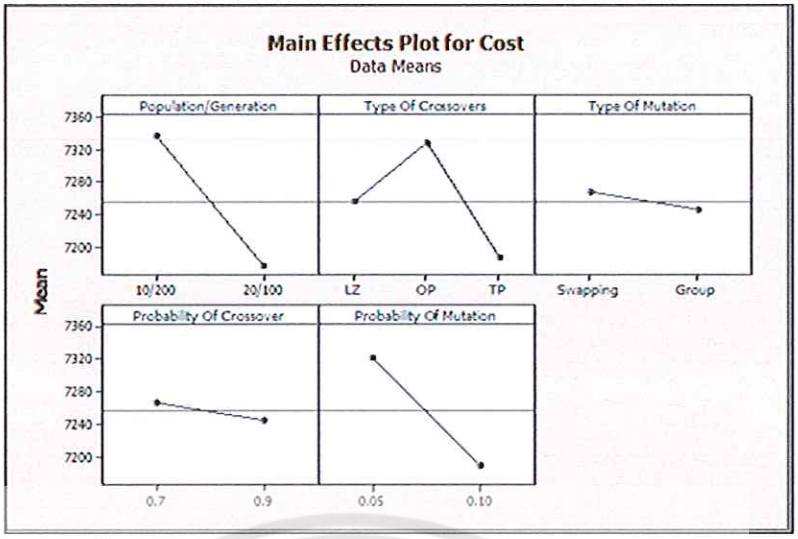
รูปที่ 4.58 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า พารามิเตอร์ในการทดลองนี้ มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณาจากลักษณะของเส้นกราฟใน รูปที่ 4.57 และ รูปที่ 4.58 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระทบหลักกำหนดให้ Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ LZ, Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Swapping และกำหนดให้ Probability of Mutation มีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ระหว่าง Type of Crossovers กับ Population/Generation โดยกำหนดให้ Population/Generation มีค่าเท่ากับ 20/100 และสามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง Type of Mutation กับ Probability of Mutation และ Probability of Crossover โดยกำหนดให้ Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.70

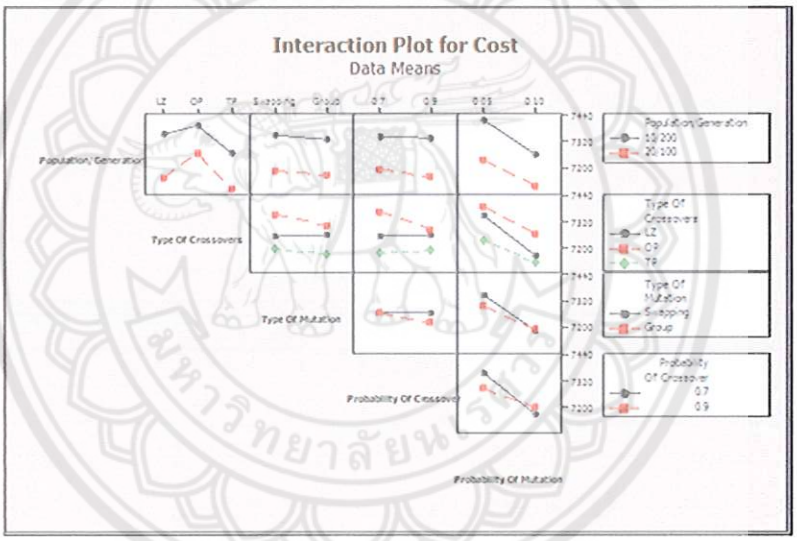
ตารางที่ 4.15 แสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาขนาดใหญ่ 2

Source	DF	Seq-SS	Adj-SS	Adj-MS	F	P
Population/Generation	1	1,583,776	1,583,776	1,583,776	27.34	0.00
Type Of Crossovers	2	816,959	816,959	408,479	7.05	0.00
Type Of Mutation	1	27,742	27,742	27,742	0.48	0.49
Probability Of Crossover	1	30,910	30,910	30,910	0.53	0.47
Probability Of Mutation	1	1,100,709	1,100,709	1,100,709	19.00	0.00
Population/Generation* Type Of Mutation* Probability Of Crossover	1	241,296	241,296	241,296	4.17	0.04
Error	192	11,123,143	11,123,143	57933		
Total	239	16,957,815				

จากตารางที่ 4.15 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติในปัญหาขนาดใหญ่ 2 พบว่า พารามิเตอร์ Probability of Mutation, Population/Generation และ Type of Crossovers มีค่า P-value เท่ากับ 0.00, 0.00 และ 0.00 ตามลำดับ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ของ Probability of Mutation, Population/Generation และ Type of Crossovers ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย พบว่า Population/Generation กับ Type of Mutation และ Probability of Crossover มีค่า P-value เท่ากับ 0.04 ดังนั้น พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกันและมีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95



รูปที่ 4.59 แสดงปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าคำตอบปัญหาใหญ่ 2



รูปที่ 4.60 แสดงผลกระทบร่วม 2 ปัจจัย ในปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากการพิจารณาผลการวิเคราะห์ โดยใช้หลักการทางสถิติ พบว่า พารามิเตอร์ในการทดลองนี้ มีผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วมกัน ส่งผลให้ค่าพารามิเตอร์ที่มีค่าแตกต่างกันมีผลให้คำตอบแตกต่างกัน ที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สามารถกำหนด โดยพิจารณาจากลักษณะของเส้นกราฟแสดงดังรูปที่ 4.59 และแสดงดังรูปที่ 4.60 จากการพิจารณาเส้นกราฟของผลกระทบหลัก กำหนดให้ Population/Generation มีค่าเท่ากับ 20/100, Type of Crossovers มีค่าเท่ากับ TP และ Probability of Mutation มีค่าเท่ากับ 0.10 ซึ่งทำให้สามารถวิเคราะห์ผลกระทบร่วม 3 ปัจจัย ระหว่าง Population/Generation กับ Type of Mutation และ Probability of Crossover โดยกำหนดให้ Type of Mutation มีค่าเท่ากับ Group และกำหนดให้ Probability of Crossover มีค่าเท่ากับ 0.90

จากการวิเคราะห์การทดลอง โดยใช้หลักการทางสถิติที่ได้กล่าวมาข้างต้น ผู้ดำเนินโครงงานสามารถนำเสนอการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลอง ดังตารางที่ 4.16

ตารางที่ 4.16 แสดงข้อมูลพารามิเตอร์ที่แนะนำ

Problem	Population/ Generation	Type of Crossovers	Type of Mutation	Probability of Crossover	Probability of Mutation
Small 1	20/100	Crossover Two Point*	Swapping of Mutation*	0.90	0.10*
Small 2	20/100*	Crossover Two Point*	Swapping of Mutation*	0.90	0.10
Medium 1	20/100*	Crossover Two Point*	Swapping of Mutation*	0.70	0.10*
Medium 2	20/100*	Crossover Two Point*	Swapping of Mutation*	0.70	0.10*
Large 1	20/100	Lock Zero Crossover*	Swapping of Mutation*	0.70	0.10*
Large 2	20/100*	Crossover Two Point*	Group of Mutation	0.90	0.10*

หมายเหตุ: * มีผลให้คำตอบแตกต่างเมื่อค่าพารามิเตอร์แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95

จากการวิเคราะห์ผลการทดลองเบื้องต้น ไม่สามารถนำเสนอพารามิเตอร์ที่เหมาะสมได้ทุกการทดลอง เนื่องจาก ผลการวิเคราะห์โดยใช้ค่า P-value พบว่า Type Of Crossovers เท่านั้นที่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงคำตอบทุกการทดลอง และมีบางพารามิเตอร์ไม่มีผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบของทุกปัญหา เนื่องจาก รูปแบบของปัญหาที่แตกต่างกันไป ดังนั้น ผู้ดำเนินโครงงานจึงนำเสนอให้เห็นถึงค่าพารามิเตอร์ที่แนะนำในโครงงานนี้ได้ดังตารางข้างต้น

สาเหตุของค่า R^2 ต่ำ เนื่องจาก อาจมีพารามิเตอร์อื่นที่มีผลต่อค่าคำตอบนอกเหนือจากที่ได้ศึกษาจากโครงงานนี้ที่ส่งผลต่อค่าคำตอบ และเหตุผลที่บางพารามิเตอร์ไม่ส่งผลอาจเกิดจากช่วงห่างของค่าพารามิเตอร์ในบางค่าอาจใกล้กันเกินไป เช่น จำนวนประชากร/จำนวนรุ่น ความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์ และความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ จึงทำให้ไม่สามารถแสดงผลกระทบต่อค่าคำตอบของปัญหาในบางปัญหาได้ไม่ชัดเจน ถ้าใช้ช่วงห่างของค่าพารามิเตอร์ที่มีช่วงห่างกันมากๆ อาจจะส่งผลกระทบต่อค่าของคำตอบได้อย่างชัดเจนมากขึ้น วิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาของบาง

กระบวนการอาจมีความใกล้เคียงกัน เช่น วิธีการกลายพันธุ์ จึงทำให้ไม่สามารถแสดงผลผลกระทบต่อค่าคำตอบในบางปัญหาได้ไม่ชัดเจน

4.5.5 สรุปการเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโครงงานนี้

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมนี้ จะสามารถสรุปได้ค่าเฉลี่ยของผลการทดลองของแต่ละปัญหาที่ต่ำที่สุด แสดงดังตารางที่ 4.17

ตารางที่ 4.17 แสดงค่าเฉลี่ยที่ต่ำที่สุดของผลการทดลอง

ขนาดของปัญหา	Average	Crossover	Mutation	Pcrossover	Pmutation	Pop/Gen
เล็ก 1	1,742.04	TP	Swapping	0.90	0.10	20/100
เล็ก 2	1,064.95	OP	Swapping	0.90	0.10	20/100
กลาง 1	3,692.60	TP	Swapping	0.70	0.10	20/100
กลาง 2	3,083.19	TP	Swapping	0.70	0.10	20/100
ใหญ่ 1	7,248.76	LZ	Group	0.70	0.10	10/200
ใหญ่ 2	6,979.70	TP	Swapping	0.70	0.10	20/100

จากตารางที่ 4.16 และตารางที่ 4.17 จะเห็นว่าค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดเป็นไปในทางเดียวกัน โดยค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 0.70 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 0.10 และจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 20/100 จากการให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด 3 ใน 6 ของปัญหา

จากการกำหนดค่าพารามิเตอร์จะเห็นได้ว่า ในโครงงานนี้ กำหนดค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากรน้อยกว่าจำนวนรุ่น ซึ่งสามารถกำหนดค่าพารามิเตอร์ของจำนวนประชากรมากกว่าจำนวนรุ่นก็ได้ ที่ให้จำนวนคำตอบที่ต้องการเท่ากัน

4.6 การเปรียบเทียบประสิทธิภาพคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มีค่าต่ำสุดเป็นตัวเปรียบเทียบค่าคำตอบ โดยวิธีการที่จะนำมาใช้ในการปรับปรุง และหาค่าคำตอบมีมากมายหลายแบบ ในส่วนของโครงงานนี้ จะนำเอาการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้

วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวภัค โฆษิตสิน นางสาวอมรรัตน์ จันทร์สง่า และนางสาวปวีณา สุขเจริญ (2557) การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ นายทศพร จตุรภุชาภรณ์ และนางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร (2557) การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน และนางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์ (2557) และการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวศิริวิมล แสนกงพลี และนางสาวสาวิตรี แตงเรือง (2557) มาเปรียบเทียบประสิทธิภาพกับ การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการทดลอง ภายใต้โจทย์ข้อเดียวกัน ขนาดของปัญหาเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.18

ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ยระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ขนาดของปัญหา	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ย (บาท)				
	วิธีการเชิงพันธุกรรม	วิธีการอาณานิคมมด	วิธีกลุ่มอนุภาค	วิธีอบอ่อนจำลอง	วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ
ขนาดเล็ก 1	1,742.04	1,593.03	1,682.56	1,721.29	1,756.03
ขนาดเล็ก 2	1,064.95	1,079.00	1,120.78	1,078.76	1,114.24
ขนาดกลาง 1	3,692.60	3,279.61	3,907.88	3,352.25	3,640.44
ขนาดกลาง 2	3,083.19	2,767.96	3,120.13	2,924.28	3,092.21
ขนาดใหญ่ 1	7,248.76	6,149.61	7,633.99	6,231.90	6,918.14
ขนาดใหญ่ 2	6,979.70	5,447.84	7,237.98	6,052.76	6,846.78

จากตารางที่ 4.18 จะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายแบบวิธีอาณานิคมมดให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นวิธีอบอ่อนจำลอง วิธีค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีกลุ่มอนุภาค ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้ค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 4 จาก 5 วิธี โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ย

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุดระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

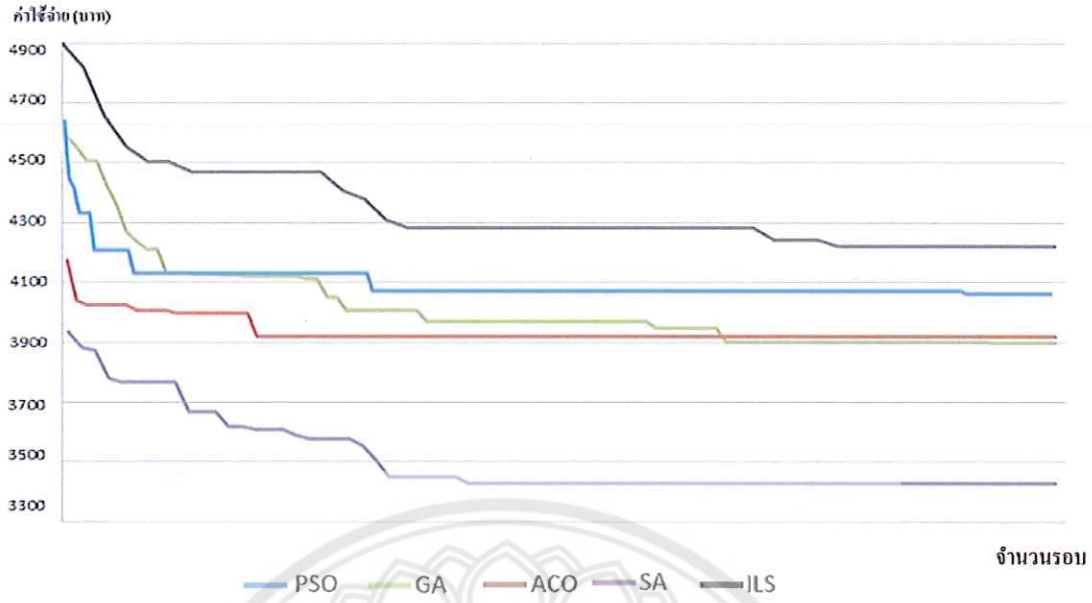
ขนาดของปัญหา	ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด (บาท)				
	วิธีการเชิงพันธุกรรม	วิธีการอาณานิคมมด	วิธีกลุ่มอนุภาค	วิธีอบอ่อนจำลอง	วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ
ขนาดเล็ก 1	1,598.38	1,132.50	1,588.06	1,634.06	1,649.94
ขนาดเล็ก 2	1,027.00	1,047.00	1,042.75	1,017.13	1,059.25
ขนาดกลาง 1	3,502.31	3,055.50	3,683.88	3,176.00	3,308.56
ขนาดกลาง 2	2,804.56	2,546.63	2,985.69	2,826.25	2,733.13
ขนาดใหญ่ 1	6,697.56	5,871.81	7,468.25	6,081.50	6,669.26
ขนาดใหญ่ 2	6,650.88	5,208.44	6,630.44	5,831.13	6,418.56

จากตารางที่ 4.19 จะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายแบบวิธีอาณานิคมมดให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด รองลงมาเป็นวิธีอบอ่อนจำลอง วิธีค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีกลุ่มอนุภาค ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่าวิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้ค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 4 จาก 5 วิธี โดยพิจารณาจากค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด

จากผลการเปรียบเทียบสำหรับโครงงานนี้ สามารถสรุปได้ว่า โปรแกรมของวิธีการอาณานิคมมดจะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีอื่นที่ทำการเปรียบเทียบ ทั้งการพิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าคำตอบ และการพิจารณาค่าต่ำสุดของค่าคำตอบ และผลการเปรียบเทียบของวิธีการเชิงพันธุกรรมกับวิธีอื่นๆ พบว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าโดยเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าที่ต่ำที่สุด อยู่ในลำดับที่ 4 จาก 5 เนื่องมาจาก กระบวนในการหาคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมไม่ได้ใช้ประโยชน์จากโจทย์ปัญหา อาศัยหลักการสุ่มเพื่อปรับปรุงความสามารถในการค้นหาคำตอบที่ดีขึ้น

4.6.1 การเปรียบเทียบการลู่เข้าของค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า

การเปรียบเทียบการลู่เข้าของค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้านี้ ได้จากการหาค่าคำตอบจากโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 1 โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ที่ให้ค่าคำตอบที่ต่ำสุดของแต่ละวิธีการแสดงดังรูปที่ 4.61



รูปที่ 4.61 กราฟแสดงการเปรียบเทียบการลู่เข้าของค่าคำตอบ

จากรูปที่ 4.61 จะแสดงความเร็วในการลู่เข้าหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของแต่ละวิธี ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการประมวลผล 2,000 คำตอบ ใน 1 Period พบว่า วิธีที่ลู่เข้าเร็วที่สุดเป็นอันดับที่ 1 คือ วิธีอาณานิคมมด อันดับที่ 2 คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง อันดับที่ 3 คือ วิธีค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ อันดับ 4 คือ วิธีกลุ่มอนุภาค และอันดับสุดท้าย คือ วิธีการเชิงพันธุกรรม โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต คือ Windows 8.1 Pro Intel (R) Core (TM) i7-4702MQ CPU @ 2.20GHz RAM 4.00 GB

4.7 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต เพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้มีค่าต่ำสุดเป็นตัวเปรียบเทียบค่าคำตอบ และที่สำคัญอีกประการ คือ เวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบ ในส่วนของโครงงานนี้ จะนำเอาการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวภัค โฆษิตสิน นางสาวอมรรัตน์ จันทร์สง่า และ นางสาวปวีณา สุขเจริญ (2557) การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ นายทศพร จตุรภุชาภรณ์ และนางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร (2557) การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน และนางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์ (2557) และการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ซึ่งเป็น

โครงงานของนางสาวศิริวิมล แสนกงพลี และนางสาวสาวิตรี แตงเรือง (2557) มาเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบกับ การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการทดลอง ภายใต้โจทย์ข้อเดียวกัน ขนาดของปัญหาเดียวกัน ได้ผลดังตารางที่ 4.20

ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าระหว่างวิธีการเชิงพันธุกรรมกับเวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าจากวิธีอาณานิคมมด วิธีกลุ่มอนุภาค วิธีอบอ่อนจำลอง และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ขนาดของปัญหา	เวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า (วินาที)					
	วิธีการเชิงพันธุกรรม	วิธีการอาณานิคมมด		วิธีกลุ่มอนุภาค	วิธีอบอ่อนจำลอง	วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ
		AS	ACS			
ขนาดเล็ก 1	40.70	23.76	23.19	37.65	21.83	16.88
ขนาดเล็ก 2	41.20	30.64	22.18	38.67	16.07	17.12
ขนาดกลาง 1	72.35	46.65	52.44	91.65	28.76	30.00
ขนาดกลาง 2	74.44	38.50	46.66	92.37	29.41	30.57
ขนาดใหญ่ 1	175.37	124.02	82.32	175.23	56.64	74.02
ขนาดใหญ่ 2	175.07	75.40	70.66	176.17	61.98	57.23

จากตารางที่ 4.20 จะเห็นได้ว่า ผลที่ได้จากการเปรียบเทียบเวลาในการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าแบบวิธีค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำให้เวลาที่ต่ำสุด รองลงมาเป็นวิธีอบอ่อนจำลอง วิธีอาณานิคมมด วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีกลุ่มอนุภาค ตามลำดับ ซึ่งจะเห็นได้ว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมจะให้ค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 4 จาก 5 วิธี เนื่องจาก กระบวนการในการหาค่าคำตอบของวิธีการเชิงพันธุกรรมมีความซับซ้อน จึงส่งผลให้วิธีการเชิงพันธุกรรมใช้เวลาในการหาค่าคำตอบเยอะ จากการพิจารณาหาค่าคำตอบจากค่าพารามิเตอร์ที่ดีให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของแต่ละวิธีการ โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต คือ Windows 8.1 Pro Intel (R) Core (TM) i7-4702MQ CPU @ 2.20GHz RAM 4.00 GB

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

ในบทนี้จะกล่าวถึงการสรุปผลของการดำเนินโครงงาน ปัญหาที่พบในระหว่างการดำเนินโครงงานและแนวทางในการแก้ปัญหา

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงานการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรมสามารถสรุปผลได้ ดังนี้

5.1.1 ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบ และสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยมีจุดประสงค์ คือ การหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการเดินทางที่จะทำให้ประหยัดเวลา และลดค่าใช้จ่ายในการเดินทางให้น้อยลง ซึ่งผู้ดำเนินโครงงานได้ออกแบบวิธีการหาค่าคำตอบเพื่อใช้สร้างโปรแกรมการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต เพื่อทดสอบหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการทดลองนี้ โดยที่ค่าพารามิเตอร์ที่นำมาทดสอบ ดังนี้

5.1.1.1 วิธีการสลับสายพันธุ์มี 3 แบบ คือ การสลับสายพันธุ์แบบ Lock Zero Crossover Operator การสลับสายพันธุ์แบบ One Point Crossover Operator และการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator

5.1.1.2 วิธีการกลายพันธุ์มี 2 แบบ คือ การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator และการกลายพันธุ์แบบ Group of Mutation Operator

5.1.1.3 จำนวนประชากร/จำนวนรุ่นมี 2 ค่า คือ 10/200 และ 20/100

5.1.1.4 ค่าความน่าจะเป็นในการสลับสายพันธุ์มี 2 ค่า คือ ร้อยละ 90 และร้อยละ 70

5.1.1.5 ค่าความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์มี 2 ค่า คือ ร้อยละ 5 และร้อยละ 10

จากนั้นผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการสร้างโปรแกรม เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้ VBA บน Microsoft Excel โดยโปรแกรมที่ได้จะเป็นโปรแกรมที่มีการหาค่าใช้จ่ายในการเดินทางสำหรับยานพาหนะที่ไปยังเมืองต่างๆ ให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

จากการที่ได้มีการทดลองใช้โปรแกรมการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต สรุปได้ว่า ในการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต จากโจทย์ที่มีการกำหนดขึ้นมา จะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ วิธีการสลับสายพันธุ์แบบ Two Point Crossover Operator การกลายพันธุ์แบบ Swapping Mutation Operator ค่าความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธุ์ มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 70 ค่าความน่าจะเป็นของการกลายพันธุ์ มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 10 และจำนวนประชากร/จำนวนรุ่น มีค่าที่เหมาะสมกับการทดลองนี้ คือ 20/100 จากการให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด 3 ใน 6 ของปัญหา

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างการดำเนินโครงงาน

5.2.1 ขั้นตอนในการออกแบบวิธีการทางพันธุกรรม ยังมีความรู้เกี่ยวกับวิธีการทางพันธุกรรมน้อยมาก และวิธีการทางพันธุกรรมมีความซับซ้อน ทำให้ใช้เวลาในการดำเนินงานในส่วนนี้มาก

5.2.2 ขั้นตอนการสร้างโปรแกรมโดยใช้ VBA ใช้เวลาในการเขียนโปรแกรมมาก เนื่องจาก ไม่มีความรู้พื้นฐานของ VBA มาก่อน จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลอง

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

ขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา และสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากทางอินเทอร์เน็ต

5.4 ข้อเสนอแนะ

เนื่องจากการเปรียบเทียบโปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการเชิงพันธุกรรมกับวิธีอื่นๆ พบว่า โปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการเชิงพันธุกรรม ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดอยู่ในลำดับที่ 4 จาก 5 วิธี ดังนั้น จึงมีข้อเสนอแนะแนวทางในการที่จะหาค่าคำตอบที่ดีขึ้นดังนี้

5.4.1 ใช้วิธีการปรับปรุงคำตอบแบบอื่นที่นอกเหนือจากโครงงานนี้

5.4.2 เพิ่มระดับปัจจัย ที่มีผลต่อค่าคำตอบ

5.4.3 ปรับปรุงคำตอบโดยใช้วิธีสลับสายพันธุ์ และวิธีกลายพันธุ์ ที่ใช้ประโยชน์จากระยะทางระหว่างลูกค้าเข้ามาพิจารณาร่วมด้วยบ้าง เนื่องจาก กระบวนการของวิธีการอาณานิคมมดใช้แล้วทำให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดจาก 5 วิธีการในการหาค่าคำตอบ ดังนั้น จึงได้ประโยชน์จากแนวคิดนี้

เอกสารอ้างอิง

กอบเจตน์ สิงห์สิกุล และคณะ. **การแก้ปัญหาสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม.**ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ชาญณรงค์ สายแก้ว. (2555). **สถิติและการออกแบบการทดลองเชิงวิศวกรรม.** ขอนแก่น : หน่วยสารบรรณ งานบริการและธุรการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ณัฐกฤตา ศักดิ์เรืองฤทธิ์. (2550). **ทฤษฎีขั้นตอนเชิงพันธุกรรมและเอกสารที่เกี่ยวข้อง.** สืบค้นเมื่อ 3 กันยายน 2557, จาก http://archive.lib.cmu.ac.th/full/T/2550/comp0950ns_ch2.pdf.

นิลวรรณ ชุ่มฤทธิ์. (2554). **สถิติวิศวกรรม.** กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น

ประไพศรี สุทัศน์ ณ อยุธยา และพงศ์ชนัน เหลืองไพบูลย์. (2551). **การออกแบบและวิเคราะห์การทดลอง.**กรุงเทพฯ : ท็อป.

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

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **วิธีการเมตาฮิวริสติกส์เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์.** กรุงเทพฯ : สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย - ญี่ปุ่น).

สมชาย ปฐมศิริ. (2552). **ความรู้เบื้องต้นเกี่ยวกับการขนส่ง.** กรุงเทพฯ : สำนักงานคณะกรรมการอุดมศึกษา.

สลิลทิพย์ ทิพยไกรศร. (2557). **อนาคตระบบขนส่งไทย "ฝันที่เป็นจริงหรือความหวังอันเลือนลอย".** สืบค้นเมื่อ 27 สิงหาคม 2557, จาก http://www.bu.ac.th/knowledgecenter/executive_journal/july_sep_11/pdf/aw14.pdf.

Charles Darwin. (1859). **The Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life.**

G. Blum and A. Roli. (2003) **Metaheuristics in combinatorial optimization : Overview and conceptual comparison.** ACM Computing Surueys, 35(3), 268-308.

Hunter, J.S. (1985). **Statistical design applied to product design.** Journal of Quality Technology, 17(4), 210-221.

Imai, A., Nishimura, E., Hattori, M. and Papadimitriou, S. (2006). **Berth allocation at indented berths for mega-containerships.** European Journal of Operational Research, 179(2), 579-593.

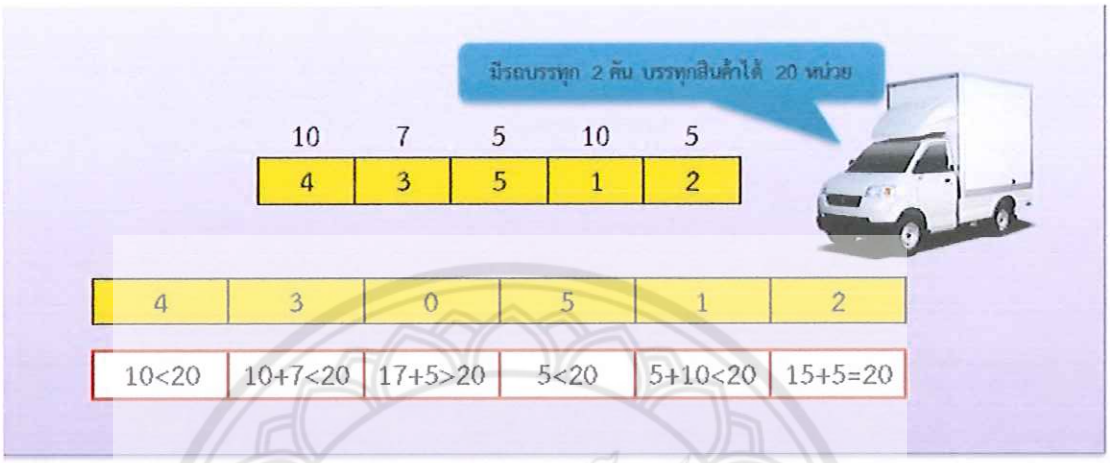
เอกสารอ้างอิง (ต่อ)

John Holland. (1975). **Adaptation in Natural and Artificial Systems.** University of Michigan.

ภาคผนวก ก
วิธีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้น

ก. วิธีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้น

มีการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ โดยที่จะนำค่ายีนที่เป็นลำดับเลขจำนวนลูกค้ามาสุ่มเรียงลำดับการขนส่ง และนำค่ายีนที่ได้ไปใส่ลงในโครโมโซมตามลำดับ และเช็คค่าความจุไปด้วย เมื่อเต็มความจุแล้วจึงใส่ (0) และเริ่มรถคันใหม่ในโครโมโซมเดียวกัน ดังรูปที่ ก.1



รูปที่ ก.1 แสดงการสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คค่าความจุรถ

จากรูปที่ ก.1 การสร้างโครโมโซมแทนคำตอบเริ่มต้นแบบเช็คความจุรถ ของปัญหาที่มีจำนวนลูกค้า 5 ราย ดังนี้ 1, 2, 3, 4, และ 5 มีความต้องการสินค้า คือ 10, 5, 7, 10 และ 5 ตามลำดับ และรถบรรทุก 2 คัน บรรทุกสินค้าได้ 20 หน่วย

ภาคผนวก ข

Source Code

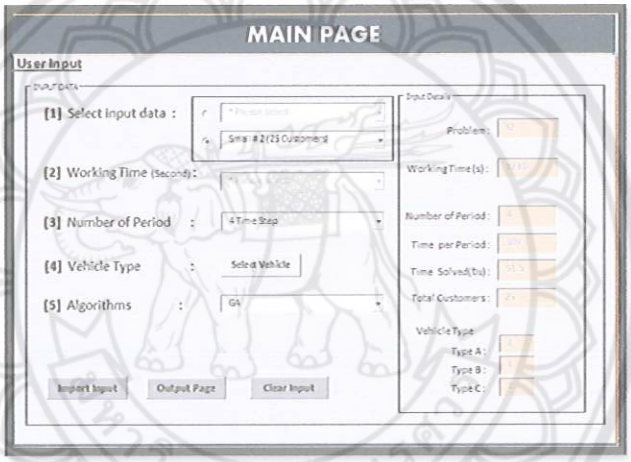
ของโปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

ข. Source Code ของโปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม

เพื่อสะดวกแก่ความเข้าใจ จะขอแบ่งการแสดงคำสั่งหรือ Source Code ตามลักษณะหน้าต่างของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งได้ดังนี้

ข.1 หน้าแรก (Main Page)

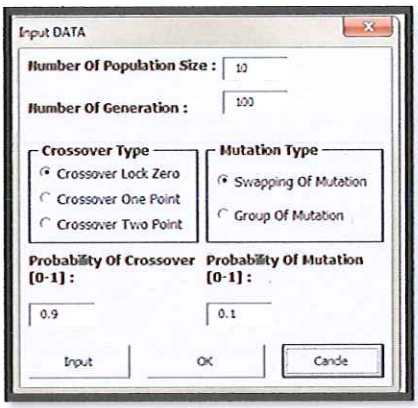
เมื่อเปิดโปรแกรมจะเข้าสู่หน้าแรกที่เป็นหน้ากำหนดค่าเริ่มต้นซึ่งจะเป็นการกำหนดโจทย์ปัญหา จำนวนลูกค้า จำนวนรถบรรทุก จำนวนช่วงเวลาในการรับลูกค้า และวิธีการที่ใช้ในการแก้โจทย์ปัญหา นอกจากนี้เมื่อเลือกวิธีการในการแก้โจทย์ปัญหาแล้วหน้าต่างนี้ยังนำไปสู่หน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้วย



รูปที่ ข.1 แสดงหน้า Main Page

ข.2 หน้าต่างการกำหนดค่าพารามิเตอร์

ในส่วนนี้จะเป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับวิธีการ GA โดยพารามิเตอร์ที่ต้องใส่ประกอบไปด้วย จำนวนลูกค้า จำนวนรุ่นในการวนรอบซ้ำ วิธีการสลับสายพันธ์ วิธีการกลายพันธ์ ความน่าจะเป็นของการสลับสายพันธ์ และความหน้าจะเป็นของการกลายพันธ์ เมื่อกำหนดค่าพารามิเตอร์ครบทุกค่าแล้วจะมีปุ่มนำเข้าพารามิเตอร์โดยคลิกที่ปุ่ม Input



รูปที่ ข.2 แสดงหน้าต่างค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดให้กับวิธีการ GA

```
Private Sub GA_Input_Click()
    Dim GA_NumChromReport As Integer
    Dim GA_NumGenReport As Integer
    Dim GA_TypCrossReport As String
    Dim GA_TypMutReport As String
    Dim GA_ProbCrossReport As Double
    Dim GA_ProbMutReport As Double

If GA_PopData.Value = "" Then
        MsgBox ("Please enter Number Of Population Size"), vbOKOnly
    ElseIf GA_GenData.Value = "" Then
        MsgBox ("Please enter Number Of Generation"), vbOKOnly
    ElseIf GA_ProbCrossData = "" Then
        MsgBox ("Please enter Probability Of Crossover [0-1]")
    ElseIf GA_ProbMutaData = "" Then
        MsgBox ("Please enter Probability Of Mutayion [0-1]")
    ElseIf GA_CrossLock = False And GA_CrossOne = False And GA_CrossTwo = False Then
        MsgBox ("Please Selec Crossover Type")
    ElseIf GA_MutaSwap = False And GA_MutaGroup = False Then
        MsgBox ("Please Selec Mutation Type")
End If

    If GA_CrossLock = True And GA_CrossOne = False And GA_CrossTwo = False Then
        Range("B8") = "Crossover Lock Zero"
    ElseIf GA_CrossLock = False And GA_CrossOne = True And GA_CrossTwo = False Then
        Range("B8") = "Crossover One Point"
    ElseIf GA_CrossLock = False And GA_CrossOne = False And GA_CrossTwo = True Then
        Range("B8") = "Crossover Two Point"
    End If
```

รูปที่ ข.3 แสดงคำสั่งนำเข้าค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีการ GA

```
If GA_MutaSwap = True And GA_MutaGroup = False Then
   Range("B11") = "Swapping Of Mutation"
ElseIf GA_MutaSwap = False And GA_MutaGroup = True Then
   Range("B11") = "Group Of Mutation"
End If

If Not IsNumeric(GA_PopData.Value) Then
   MsgBox "Please Enter Number In Number Of Population Size"
   Exit Sub
End If
If GA_PopData.Value Mod 2 = 0 Then
   Range("D3") = GA_PopData.Value
ElseIf GA_PopData.Value Mod 2 <> 0 Then
      MsgBox "Please Enter Even Number In Number Of Population Size"
   Exit Sub
End If

If Not IsNumeric(GA_GenData.Value) Then
   MsgBox "Please Enter Number In Number Of Generation"
   Exit Sub
End If
   Range("D5") = GA_GenData.Value

If Not IsNumeric(GA_ProbCrossData.Value) Then
   MsgBox "Please Enter Number In Probability Of Crossover"
   Exit Sub
Else
      If GA_ProbCrossData.Value < 0 Or GA_ProbCrossData.Value > 1 Then
         MsgBox "Please Enter Number Between 0 to 1 In Probability Of Crossover"
         Exit Sub
      End If
End If
   Range("D13") = GA_ProbCrossData.Value

If Not IsNumeric(GA_ProbMutaData.Value) Then
   MsgBox "Please Enter Number In Probability Of Mutation"
   Exit Sub
Else
      If GA_ProbMutaData.Value < 0 Or GA_ProbMutaData.Value > 1 Then
         MsgBox "Please Enter Number Between 0 to 1 In Probability Of Mutation"
         Exit Sub
      End If
End If
   Range("D15") = GA_ProbMutaData.Value
```

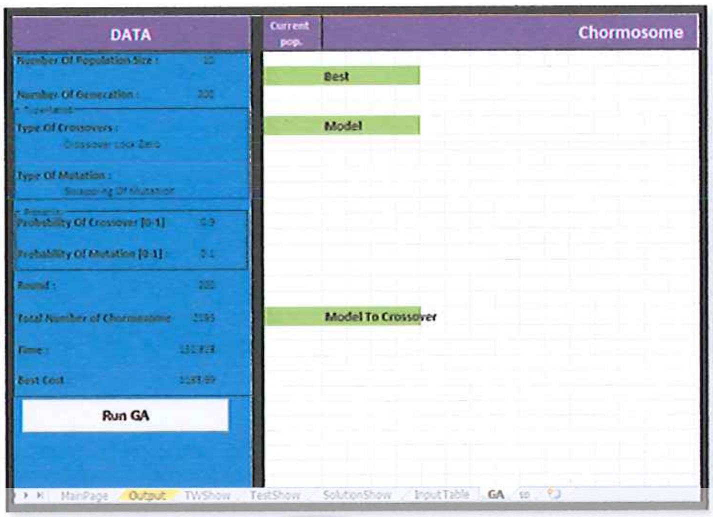
รูปที่ ข.3 (ต่อ) แสดงคำสั่งนำเข้าค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีการ GA

```
    GA_NumChromReport = GA_PopData.Value
    GA_NumGenReport = GA_GenData.Value
    GA_ProbCrossReport = GA_ProbCrossData.Value
    GA_ProbMutReport = GA_ProbMutaData.Value

    If GA_CrossLock.Value = True Then
        GA_TypCrossReport = "Crossover Lock Zero"
    ElseIf GA_CrossOne.Value = True Then
        GA_TypCrossReport = "Crossover One Point"
    ElseIf GA_CrossTwo.Value = True Then
        GA_TypCrossReport = "Crossover Two Point"
    End If

    If GA_MutaSwap.Value = True Then
        GA_TypMutReport = "Swapping Of Mutation"
    ElseIf GA_MutaGroup.Value = True Then
        GA_TypMutReport = "Group Of Mutation"
    End If

    MsgBox "Complete input DATA" & vbCrLf _
                & "  Number Of Population Size  : " & GA_NumChromReport & vbCrLf _
                & "  Number Of Generation          : " & GA_NumGenReport & vbCrLf _
                & "  Type Of Crossovers    : " & GA_TypCrossReport & vbCrLf _
                & "  Type Of Mutation      : " & GA_TypMutReport & vbCrLf _
                & "  Probability Of Crossover [0-1]  : " & "0" & GA_ProbCrossReport & vbCrLf _
                & "  Probability Of Mutation [0-1]   : " & "0" & GA_ProbMutReport

    Unload Me
End Sub

Private Sub GA_OK_Click()
    Unload Me
End Sub
```

รูปที่ ข.3 (ต่อ) แสดงคำสั่งนำเข้าค่าพารามิเตอร์สำหรับวิธีการ GA

ข.3 หน้าต่างแสดงผลการคำนวณจากวิธีการ GA

ในส่วนนี้จะแสดงวิธีการในการหาคำตอบของวิธีการ GA ซึ่งแถบเมนูทางขวาจะแสดงรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์ที่ได้กำหนดไว้จากหน้าต่างก่อนหน้านี้ เมื่อคลิกปุ่ม Run GA โปรแกรมจะดำเนินการหาคำตอบตามคำสั่งที่ได้เขียนไว้ และเมื่อต้องการทราบคำตอบที่ดีสุดสามารถเข้าไปที่แผ่นงานชื่อ Output



รูปที่ ข.4 แสดงแผ่นงานลำดับขั้นตอนในการหาคำตอบสำหรับวิธีการ GA

```
Private Sub GA_run_Click()
   GA_Progress.Show
      Dim StartTime As Variant
      Dim FinishTime As Variant
      Application.ScreenUpdating = False
      Application.Calculation = xlCalculationManual
         Randomize (1111)
         StartTime = Timer
         Call Event_Manager
         FinishTime = Timer - StartTime
      Application.ScreenUpdating = True
      Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
      Unload GA_Progress
      MsgBox "Finish" & vbCrLf & "Yes!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!!" & vbCrLf & "Total Time " & FinishTime
      Worksheets("GA").Range("D21").Value = FinishTime
End Sub
```

รูปที่ ข.5 แสดงคำสั่งในการเรียกใช้วิธีการหาคำตอบสำหรับวิธีการ GA

```
Public Sub Event_Manager()
Dim Working_Time As Single
Dim TimePerPeriod As Single
Dim TimeSolved As Single
Dim TimeStep As Single
Dim Period As Integer
Dim i As Integer

Dim StartTime As Single
Dim EndTime As Single
Dim RunTime As Single

StartTime = Timer
      Call KeepInputData
      Call KeepDistanceTable
      Call KeepTravelTime
      Call KeepNumOfVehicle

        Working_Time = Worksheets("MainPage").WorkingTime.Value
       TimePerPeriod = Worksheets("MainPage").TimePerPeriod.Value
       TimeSolved = Worksheets("MainPage").SolvedTime.Value

'########################## Event Manager Procedure ##################
TimeStep = 0
Period = 0

 Do Until Period = Worksheets("MainPage").NumOfPeriod.Value
      Period = Period + 1
          If TimeStep = 0 Then
              Call RandomGenInitialSolution
              Call RepairCapacity
              Call RepairTimeWindows
          Else
              Call SetNewProblem
              Call RepairCapacity
              Call RepairTimeWindows
           End If

          Call GA_1

            If TimeStep = 0 Then
                TimeStep = TimeStep + TimePerPeriod + TimeSolved
                Worksheets("Output").NowTimeShow.Value = TimeStep
           Else
                TimeStep = TimeStep + TimePerPeriod
                Worksheets("Output").NowTimeShow.Value = TimeStep
           End If
```

รูปที่ ข.6 แสดงคำสั่งในการเรียกใช้ GA_1 สำหรับวิธีการ GA

```
                If TimeStep > Working_Time Then
                    TimeStep = TimeStep - TimeSolved
                    Worksheets("Output").NowTimeShow.Value = TimeStep
                End If

        Call LastCommitCustomerCheck
            For i = 1 To (VehicleC + VehicleB + VehicleA)
                Worksheets("TWShow").cells(2 + i, 12).Value = TimeStep
            Next i
Loop

    Call UnservicedCustomer
    Call FinalSolution

EndTime = Timer
RunTime = EndTime - StartTime
Worksheets("Output").Showtime.Value = RunTime

End Sub
```

รูปที่ ข.6 (ต่อ) แสดงคำสั่งในการเรียกใช้ GA_1 สำหรับวิธีการ GA

4.คำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Option Explicit
    Dim a As Integer
    Dim h As Integer
    Dim i As Integer
    Dim j As Integer
    Dim k As Integer
    Dim GA_CurSol() As Integer
    Dim GA_NumChrom As Integer
    Dim GA_RndPos As Integer
    Dim GA_Temp As Integer
    Dim GA_CurSolObj() As Double
    Dim GA_CrossProb As Double
    Dim GA_MutProb As Double
    Dim GA_XCount As Integer
    Dim GA_XPositionCount As Integer
    Dim GA_XtoChrom() As Integer
    Dim GA_YCount As Integer
    Dim GA_YPositionCount As Integer
    Dim GA_YtoChrom() As Integer
    Dim GA_RndNum As Double
    Dim GA_NewXChrom() As Integer
    Dim GA_NewYChrom() As Integer
    Dim GA_TotleVehicle As Integer
    Dim GA_CountZero As Integer
    Dim GA_CountNum As Integer
    Dim GA_PositionZero As Integer
```

รูปที่ ข.7 แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    Dim GA_TotalPositionZero() As Integer
    Dim GA_TotalPosition() As Integer
    Dim GA_PositionTP() As Integer
    Dim GA_PositionSM() As Integer
    Dim GA_PositionGM() As Integer
    Dim Yes As Integer
    Dim GA_TotalChrom() As Integer
    Dim GA_TotalObj() As Double
    Dim GA_Total As Double
    Dim GA_ChromProb() As Double
    Dim GA_CumProb As Double
    Dim GA_Random As Double
    Dim GA_NewGen() As Integer
    Dim GA_MinObj As
    Dim GA_MinSol() As Integer
    Dim GA_NumGen As Integer
    Dim GA_CountRound As Integer
    Dim GA_NumMutation As Integer
    Dim GA_FinalNumChrom As Integer
    Dim GA_ObjSort() As Double
    Dim GA_Chromsort() As Integer
    Dim GA_TempSort As Double

Public Sub GA_1()
    Worksheets("GA").Range("G3:XZ2000").Clear

    GA_NumChrom = Worksheets("GA").Range("D3").Value
    GA_CrossProb = Worksheets("GA").Range("D13").Value
    GA_MutProb = Worksheets("GA").Range("D15").Value
    GA_NumGen = Worksheets("GA").Range("D5").Value

    GA_XCount = 0
    GA_FinalNumChrom = 0
    GA_CountRound = 0
    GA_NumMutation = 0

    ReDim GA_CurSolObj(0 To GA_NumChrom - 1)
    ReDim GA_CurSol(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))
    ReDim GA_XtoChrom(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))
    ReDim GA_NewXChrom(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))

Worksheets("GA").Range("G1").Offset(2, 1) = "Best"
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(2, 1).Font.Bold = True
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(2, 1).Font.ColorIndex = 1
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(2, 1).Font.Size = 14
    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, 0), Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, UBound(NowSol) + 1)).Offset
(3, 0).Interior.Color = RGB(146, 208, 80)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(5, 1) = "Model"
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(5, 1).Font.Bold = True
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(5, 1).Font.ColorIndex = 1
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(5, 1).Font.Size = 14
    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, 0), Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, UBound(NowSol) +
1)).Offset(6, 0). Interior.Color = RGB(146, 208, 80)

    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(GA_NumChrom + 7, 1) = "Model To Crossover"
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(GA_NumChrom + 7, 1).Font.Bold = True
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(GA_NumChrom + 7, 1).Font.ColorIndex = 1
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset(GA_NumChrom + 7, 1).Font.Size = 14
    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, 0), Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, UBound(NowSol) + 1)).Offset
(GA_NumChrom + 8, 0).Interior.Color = RGB(146, 208, 80)

    Dim AllZero As Boolean
    AllZero = True
    For i = 0 To UBound(NowSol)
        If NowSol(i) <> 0 Then
            AllZero = False
            Exit For
        End If
    Next i

    If AllZero Then Exit Sub

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            GA_CurSol(i, j) = NowSol(j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset(i, j) = GA_CurSol(i, j)
        Next j
    Next i

    For i = 1 To GA_NumChrom - 1
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            GA_RndPos = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd() + 1)
                GA_Temp = GA_CurSol(i, j)
                GA_CurSol(i, j) = GA_CurSol(i, GA_RndPos)
                GA_CurSol(i, GA_RndPos) = GA_Temp
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset(i, j) = GA_CurSol(i, j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset(i, GA_RndPos) = GA_CurSol(i, GA_RndPos)
        Next j
    Next i

For a = 0 To GA_NumGen - 1
 GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 0 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
        Worksheets("GA").Range("E3:E2000").ClearContents
        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G7").Offset((2 * GA_NumChrom) + 3, 0), Sheets("GA").Range("GZ2000")).Clear

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
            NowSol(j) = GA_CurSol(i, j)
        Next j
        Call Evaluate_count_vehicle
          GA_CurSolObj(i) = Objective
          Worksheets("GA").Range("G8").Offset(i, 0) = GA_CurSolObj(i)
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 1 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    Call ChooseCross
    Call ChooseMutation
    Call GA_ChooseCrossoverTyp
    Call GA_ChooseMutationTyp

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 17 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

      Sheets("GA").Range("G5").Offset(0, 0).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
      Range(Sheets("GA").Range("H5"), Sheets("GA").Range("H5").Offset(0, UBound(NowSol))).Interior.Color = RGB(204, 0, 204)

      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G5"), Sheets("GA").Range("H5").Offset(0, UBound(NowSol))).Select
      Call GA_Table

      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset(0,
0)).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("H8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset(0,
UBound(NowSol))).Interior.Color = RGB(255, 255, 102)

      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset(0,
UBound(NowSol))).Select
      Call GA_Table

      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("G8").Offset(0, 0)).Offset
(GA_NumChrom + 2, 0).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("H8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset(0,
UBound(NowSol))).Offset(GA_NumChrom + 2, 0).Interior.Color = RGB(255, 255, 102)

      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset(GA_NumChrom - 1, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset(0,
UBound(NowSol))).Offset(GA_NumChrom + 2, 0).Select
      Call GA_Table

      GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 18 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    If GA_YCount >= 1 Then
      Worksheets("GA").Range("G1").Offset((GA_NumChrom * 2) + 9, 1) = "Model To Mutation"
      Worksheets("GA").Range("G1").Offset((GA_NumChrom * 2) + 9, 1).Font.Bold = True
      Worksheets("GA").Range("G1").Offset((GA_NumChrom * 2) + 9, 1).Font.ColorIndex = 1
      Worksheets("GA").Range("G1").Offset((GA_NumChrom * 2) + 9, 1).Font.Size = 14
      Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, 0), Sheets("GA").Range("G1").Offset(0, UBound(NowSol) +
1)).Offset ((GA_NumChrom * 2) + 10, 0).Interior.Color = RGB(146, 208, 80)
    End If
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    If GA_YCount >= 1 Then
        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 4, 0), Sheets("GA").Range("G8").Offset
((2 * GA_NumChrom) + 4 + GA_YCount - 1, 0)).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("H8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 4, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset
((2 * GA_NumChrom) + 4 + GA_YCount - 1, UBound(NowSol))).Interior.Color = RGB(255, 255, 102)

        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 4, 0), Sheets("GA").Range("H8").Offset
((2 * GA_NumChrom) + 4 + GA_YCount - 1, UBound(NowSol))).Select
        Call GA_Table
    End If


    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 19 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset((2 * GA_NumChrom) + 11 + GA_YCount, 1) = "Pass Process Crossover"
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset((2 * GA_NumChrom) + 11 + GA_YCount, 1).Font.Bold = True
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset((2 * GA_NumChrom) + 11 + GA_YCount, 1).Font.ColorIndex = 1
    Worksheets("GA").Range("G1").Offset((2 * GA_NumChrom) + 11 + GA_YCount, 1).Font.Size = 14
    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 5 + GA_YCount, 0),
Sheets("GA").Range("G8").Offset   ((3 * GA_NumChrom) + 5 + GA_YCount, UBound(NowSol) + 1)).Interior.Color = RGB(146,
208, 80)

    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 6 + GA_YCount, 0),
Sheets("GA").Range("G8").Offset   ((3 * GA_NumChrom) + 5 + GA_YCount, 0)).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("H8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 6 + GA_YCount, 0),
Sheets("GA").Range("H8").Offset   ((3 * GA_NumChrom) + 5 + GA_YCount, UBound(NowSol))).Interior.Color = RGB(102, 255,
255)

    Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((2 * GA_NumChrom) + 6 + GA_YCount, 0),
Sheets("GA").Range("H8").Offset   ((3 * GA_NumChrom) + 5 + GA_YCount, UBound(NowSol))).Select
    Call GA_Table

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 20 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    If GA_YCount > 0 Then
        Worksheets("GA").Range("G1").Offset((3 * GA_NumChrom) + 13 + GA_YCount, 1) = "Pass Process Mutation"
        Worksheets("GA").Range("G1").Offset((3 * GA_NumChrom) + 13 + GA_YCount, 1).Font.Bold = True
        Worksheets("GA").Range("G1").Offset((3 * GA_NumChrom) + 13 + GA_YCount, 1).Font.ColorIndex = 1
        Worksheets("GA").Range("G1").Offset((3 * GA_NumChrom) + 13 + GA_YCount, 1).Font.Size = 14
        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((3 * GA_NumChrom) + 7 + GA_YCount, 0),
Sheets("GA").Range("G8").Offset((3 * GA_NumChrom) + 7 + GA_YCount, UBound(NowSol) + 1)).Interior.Color = RGB(146, 208,
80)

        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((3 * GA_NumChrom) + GA_YCount + 8, 0),
Sheets("GA").Range("G8").Offset((3 * GA_NumChrom) + 7 + (GA_YCount * 2), 0)).Interior.Color = RGB(255, 153, 255)
        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("H8").Offset((3 * GA_NumChrom) + GA_YCount + 8, 0),
Sheets("GA").Range("H8").Offset((3 * GA_NumChrom) + 7 + (GA_YCount * 2), UBound(NowSol))).Interior.Color = RGB(102,
255, 255)

        Sheets("GA").Range(Sheets("GA").Range("G8").Offset((3 * GA_NumChrom) + GA_YCount + 8, 0),
Sheets("GA").Range("H8").Offset((3 * GA_NumChrom) + 7 + (GA_YCount * 2), UBound(NowSol))).Select
        Call GA_Table
    End If
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 21 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    ReDim GA_TotalChrom(0 To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount, 0 To UBound(NowSol))
    ReDim GA_TotalObj(0 To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount)

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            GA_TotalChrom(i, j) = GA_CurSol(i, j)
            GA_TotalChrom(i + GA_NumChrom, j) = GA_NewXChrom(i, j)
        Next j
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 22 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    For i = 0 To GA_YCount - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            GA_TotalChrom(i + (GA_NumChrom * 2), j) = GA_NewYChrom(i, j)
        Next j
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 23 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        GA_TotalObj(i) = GA_CurSolObj(i)

    For i = GA_NumChrom To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            NowSol(j) = GA_TotalChrom(i, j)
        Next j
            Call Evaluate_count_vehicle
                GA_TotalObj(i) = Objective

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 24 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    GA_Total = 0
    For i = 0 To UBound(GA_TotalObj)
        GA_Total = (1 / GA_TotalObj(i)) + GA_Total
    Next i

    ReDim GA_ChromProb(0 To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount)

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 25 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    For i = 0 To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount
        GA_ChromProb(i) = (1 / GA_TotalObj(i)) / GA_Total

ReDim GA_ObjSort(0 To UBound(GA_TotalObj))
ReDim GA_Chromsort(0 To UBound(GA_TotalChrom), 0 To UBound(NowSol))

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 26 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
For i = 0 To UBound(GA_TotalObj)
    For j = 0 To UBound(NowSol)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        GA_ObjSort(i) = GA_TotalObj(i)
        GA_Chromsort(i, j) = GA_TotalChrom(i, j)
    Next j
Next i

For i = 0 To UBound(GA_TotalObj) - 1
    For j = i + 1 To UBound(GA_TotalObj)
        If GA_ObjSort(i) > GA_ObjSort(j) Then
            GA_TempSort = GA_ObjSort(j)
            GA_ObjSort(j) = GA_ObjSort(i)
            GA_ObjSort(i) = GA_TempSort

                For k = 0 To UBound(NowSol)
                    GA_TempSort = GA_Chromsort(j, k)
                    GA_Chromsort(j, k) = GA_Chromsort(i, k)
                    GA_Chromsort(i, k) = GA_TempSort

                Next k
            End If
    Next j
Next i

  GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 27 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

   ReDim GA_NewGen(0 To GA_NumChrom - 1, 0 To UBound(NowSol))

   For i = 0 To 2
      For j = 0 To UBound(NowSol)
          GA_NewGen(i, j) = GA_Chromsort(i, j)
          Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 7) + 14 + (GA_YCount * 4) + i, j) = GA_NewGen(i, j)
      Next j
   Next i

   GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 28 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
   For i = 3 To GA_NumChrom - 1
      GA_CumProb = 0
      GA_Random = Rnd()
         For j = 0 To (GA_NumChrom - 1) + GA_NumChrom + GA_YCount + 1
            If GA_Random < GA_CumProb Then
                  For k = 0 To UBound(NowSol)
                     GA_NewGen(i, k) = GA_TotalChrom(j - 1, k)
'                     Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 7) + 14 + (GA_YCount * 4) + i, k) =
GA_NewGen(i, k)
                  Next k
                  Exit For
            End If
               GA_CumProb = GA_CumProb + GA_ChromProb(j)
         Next j
   Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 29 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

      For i = 0 To GA_NumChrom - 1
         For k = 0 To UBound(NowSol)
            GA_CurSol(i, k) = GA_NewGen(i, k)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset(i, k) = GA_CurSol(i, k)
         Next k
      Next i

   GA_NumMutation = GA_YCount + GA_NumMutation

   GA_CountRound = GA_CountRound + 1
   Worksheets("GA").Range("D17").Value = GA_CountRound
   GA_Progress.lblComplNum.Caption = GA_CountRound & "/" & GA_NumGen
   GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 30 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
Next a

   For i = 0 To GA_NumChrom - 1
      For j = 0 To UBound(NowSol)
         NowSol(j) = GA_CurSol(i, j)
      Next j
         Call Evaluate_count_vehicle
            GA_CurSolObj(i) = Objective
            Worksheets("GA").Range("G8").Offset(i, 0) = GA_CurSolObj(i)
   Next i

   ReDim GA_MinSol(0 To UBound(NowSol))

      GA_MinObj = 1000000
            For i = 0 To UBound(GA_CurSolObj)
                  If GA_CurSolObj(i) < GA_MinObj Then
                        GA_MinObj = GA_CurSolObj(i)
                              For j = 0 To UBound(NowSol)
                                    GA_MinSol(j) = GA_CurSol(i, j)
                              Next j
                  End If
            Next i
                  Worksheets("GA").Range("G5") = GA_MinObj

   For i = 0 To UBound(NowSol)
     Worksheets("GA").Range("H5").Offset(0, i) = GA_MinSol(i)
   Next i

   GA_FinalNumChrom = (((GA_NumChrom * 2) + (GA_NumChrom * (GA_NumGen - 1))) + GA_NumMutation
    Worksheets("GA").Range("D19") = GA_FinalNumChrom

   For i = 0 To UBound(NowSol)
     NowSol(i) = GA_MinSol(i)
   Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    Call Evaluate_count_vehicle
End Sub

Public Sub ChooseCross()
GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 2 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    GA_XPositionCount = 0
    For i = 0 To GA_NumChrom - 1

        GA_RndNum = Rnd()
        If GA_RndNum <= GA_CrossProb Then
            For j = 0 To UBound(NowSol)
                GA_XtoChrom(i, j) = GA_CurSol(GA_XPositionCount, j)
                    Worksheets("GA").Range("H8").Offset(GA_NumChrom + 2 + i, j) = GA_XtoChrom(i, j)
            Next j
        Else
            i = i - 1
        End If
        GA_XPositionCount = GA_XPositionCount + 1
        If GA_XPositionCount > GA_NumChrom - 1 Then
            GA_XPositionCount = 0
        End If

    Next i
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 3 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

End Sub

Public Sub ChooseMutation()
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 4 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    ReDim GA_YtoChrom(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))

    GA_YCount = 0
    GA_YPositionCount = 0

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        GA_YPositionCount = GA_YPositionCount + 1
        GA_RndNum = Rnd()
        If GA_RndNum <= GA_MutProb Then
            GA_YCount = GA_YCount + 1
                For j = 0 To UBound(NowSol)
                    GA_YtoChrom(GA_YCount - 1, j) = GA_CurSol(GA_YPositionCount - 1, j)
                    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 4 + GA_YCount - 1, j) = GA_YtoChrom(GA_YCount
- 1, j)
                Next j
        End If
    Next i
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 5 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
End Sub
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Public Sub GA_CrossLZ()
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 6 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    ReDim GA_TotalPositionZero(0 To (GA_NumChrom - 1))

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            GA_NewXChrom(i, j) = -1
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
        Next j
    Next i

  GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 7 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        GA_NewXChrom(i, 0) = 0
        GA_NewXChrom(i, UBound(NowSol)) = 0
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, 0) = GA_NewXChrom(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol)) = GA_NewXChrom(i,
UBound(NowSol))
    Next i
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 8 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            If GA_XtoChrom(i, j) = 0 Then
                GA_NewXChrom(i, j) = 0
                GA_NewXChrom(i + 1, j) = 0
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, j) = GA_NewXChrom(i + 1, j)
            End If
        Next j
    Next i
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 9 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
        GA_TotleVehicle = VehicleA + VehicleB + VehicleC - 1
    For i = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
        GA_RndPos = Int((GA_TotleVehicle - 1 + 1) * Rnd() + 1)
        GA_CountZero = 0
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            If GA_XtoChrom(i, j) = 0 Then
                GA_CountZero = GA_CountZero + 1
            End If
            If GA_CountZero = GA_RndPos Then
                GA_PositionZero = j
                    GA_TotalPositionZero(i) = GA_PositionZero
                    GA_TotalPositionZero(i + 1) = GA_PositionZero
    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_TotalPositionZero(i)
    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, UBound(NowSol) + 3) =
GA_TotalPositionZero(i + 1)
                Exit For
            End If
        Next j
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For j = GA_PositionZero + 1 To UBound(NowSol)
            GA_NewXChrom(i, j) = GA_XtoChrom(i, j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
        Next j

        For j = 0 To GA_PositionZero - 1
            GA_NewXChrom(i + 1, j) = GA_XtoChrom(i, j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, j) = GA_NewXChrom(i + 1, j)
        Next j
    Next i
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 10 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For k = 1 To GA_NumChrom - 1 Step 2
        For h = 0 To GA_TotalPositionZero(k)
            If GA_NewXChrom(k - 1, h) = (-1) Then
                For i = 0 To UBound(NowSol)
                    If GA_XtoChrom(k, i) <> 0 Then
                        Yes = 1
                        For j = 0 To UBound(NowSol)
                            If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k - 1, j) Then
                                Yes = 0
                                Exit For
                            End If
                        Next j
                        If Yes = 1 Then
                            GA_NewXChrom(k - 1, h) = GA_XtoChrom(k, i)
                            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k - 1, h) =
GA_NewXChrom(k - 1, h)
                            Exit For
                        End If
                    End If
                Next i
            End If
        Next h
    Next k
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 11 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For k = 1 To GA_NumChrom - 1 Step 2
        For h = GA_TotalPositionZero(k) To UBound(NowSol)
            If GA_NewXChrom(k, h) = (-1) Then
                For i = 0 To UBound(NowSol)
                    If GA_XtoChrom(k, i) <> 0 Then
                        Yes = 1
                        For j = 0 To UBound(NowSol)
                            If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k, j) Then
                                Yes = 0
                                Exit For
                            End If
                        Next j
                        If Yes = 1 Then
                            GA_NewXChrom(k, h) = GA_XtoChrom(k, i)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
                    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k, h) = GA_NewXChrom(k,
h)
                    Exit For
                    End If
                End If
            Next i
        End If
        Next h
    Next k
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 12 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
End Sub

Public Sub GA_CrossOP()
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 6 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    Dim CountZeroYes As Integer
    Dim CountZeroNow As Integer
    ReDim GA_TotalPosition(0 To GA_NumChrom - 1)

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        GA_NewXChrom(i, 0) = 0
        GA_NewXChrom(i, UBound(NowSol)) = 0
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, 0) = GA_NewXChrom(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol)) = GA_NewXChrom(i,
UBound(NowSol))
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 7 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            GA_NewXChrom(i, j) = -1
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
        Next j
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 8 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) - 1) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            GA_TotalPosition(i) = GA_RndPos
            GA_TotalPosition(i + 1) = GA_RndPos
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_TotalPosition(i)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, UBound(NowSol) + 3) =
GA_TotalPosition(i + 1)

            For k = 0 To GA_RndPos
                GA_NewXChrom(i, k) = GA_XtoChrom(i, k)
                GA_NewXChrom(i + 1, k) = GA_XtoChrom(i + 1, k)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, k) = GA_NewXChrom(i, k)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, k) = GA_NewXChrom(i + 1, k)
            Next k
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        For h = 1 To GA_RndPos
            If GA_NewXChrom(i, h) = 0 Then
                GA_NewXChrom(i, h) = -1
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, h) = GA_NewXChrom(i, h)
            End If
            If GA_NewXChrom(i + 1, h) = 0 Then
                GA_NewXChrom(i + 1, h) = -1
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, h) = GA_NewXChrom(i +
1, h)
            End If
        Next h
    Next i

GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 9 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For k = 1 To GA_NumChrom - 1 Step 2
        CountZeroNow = 0
        CountZeroYes = 0

      For h = 1 To UBound(NowSol) - 1
        If GA_NewXChrom(k - 1, h) = (-1) Then
            CountZeroNow = 0

                For i = 1 To UBound(NowSol) - 1
                    If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then CountZeroNow = CountZeroNow + 1
                        If GA_XtoChrom(k, i) > -1 Then
                            Yes = 1

                            For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
                                If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then
                                    Yes = 0
                                    If CountZeroNow > CountZeroYes Then
                                        CountZeroYes = CountZeroYes + 1
                                        Yes = 1
                                        Exit For
                                    End If
                                Else
                                    If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k - 1, j) Then
                                        Yes = 0
                                        Exit For
                                    End If
                                End If
                            Next j
                        If Yes = 1 Then
                            GA_NewXChrom(k - 1, h) = GA_XtoChrom(k, i)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k - 1, h) =
GA_NewXChrom(k - 1, h)
                            Exit For
                        End If
                    End If
                Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
            End If
        Next h
    Next k

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 10 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For k = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
        CountZeroNow = 0
        CountZeroYes = 0

        For h = 1 To UBound(NowSol) - 1
            If GA_NewXChrom(k + 1, h) = (-1) Then
                CountZeroNow = 0

                For i = 1 To UBound(NowSol) - 1
                    If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then CountZeroNow = CountZeroNow + 1
                    If GA_XtoChrom(k, i) > -1 Then
                        Yes = 1

                        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
                            If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then
                                Yes = 0
                                If CountZeroNow > CountZeroYes Then
                                    CountZeroYes = CountZeroYes + 1
                                    Yes = 1
                                    Exit For
                                End If
                            Else
                                If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k + 1, j) Then
                                    Yes = 0
                                    Exit For
                                End If
                            End If
                        Next j

                        If Yes = 1 Then
                            GA_NewXChrom(k + 1, h) = GA_XtoChrom(k, i)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k + 1, h) =
GA_NewXChrom(k + 1, h)
                            Exit For
                        End If
                    End If
                Next i
            End If
        Next h
    Next k

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 11 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 12 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

End Sub
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
Public Sub GA_CrossTP()
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 6 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
    Dim CountZeroYes As Integer
    Dim CountZeroNow As Integer
    Dim GA_RndPos1 As Integer
    Dim GA_RndPos2 As Integer

    ReDim GA_PositionTP(0 To GA_NumChrom, 0 To 1)

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        GA_NewXChrom(i, 0) = 0
        GA_NewXChrom(i, UBound(NowSol)) = 0
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, 0) = GA_NewXChrom(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol)) = GA_NewXChrom(i,
UBound(NowSol))
    Next i

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            GA_NewXChrom(i, j) = -1
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
        Next j
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 7 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
                GA_RndPos1 = Int(((UBound(NowSol) - 1) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            Do
                GA_RndPos2 = Int(((UBound(NowSol) - 1) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            Loop Until GA_RndPos2 <> GA_RndPos1
                GA_PositionTP(i, 0) = GA_RndPos1
                GA_PositionTP(i + 1, 0) = GA_RndPos1
                GA_PositionTP(i, 1) = GA_RndPos2
                GA_PositionTP(i + 1, 1) = GA_RndPos2
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionTP(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionTP(i + 1, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, 1 + UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionTP(i, 1)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, 1 + UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionTP(i + 1, 1)
    Next i

GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 8 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_NumChrom - 1
        For j = 0 To 1
            If GA_PositionTP(i, j) = GA_PositionTP(i, j + 1) Then
                Exit For
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        Else
        If GA_PositionTP(i, j) < GA_PositionTP(i, j + 1) Then

            Exit For
        Else
            If GA_PositionTP(i, j) > GA_PositionTP(i, j + 1) Then
                GA_Temp = GA_PositionTP(i, j)
                GA_PositionTP(i, j) = GA_PositionTP(i, j + 1)
                GA_PositionTP(i, j + 1) = GA_Temp
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j + UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionTP(i, j)
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j + 1 + UBound(NowSol) +
3) = GA_PositionTP(i, j + 1)
                Exit For
            End If
        End If
        End If
      Next j
   Next i

GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 9 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

   For i = 0 To GA_NumChrom - 1 Step 2
      For j = GA_PositionTP(i, 0) To GA_PositionTP(i, 1)
        GA_NewXChrom(i, j) = GA_XtoChrom(i, j)
        GA_NewXChrom(i + 1, j) = GA_XtoChrom(i + 1, j)
         Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, j) = GA_NewXChrom(i, j)
         Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, j) = GA_NewXChrom(i + 1, j)
      Next j

        For h = GA_PositionTP(i, 0) To GA_PositionTP(i, 1)
          If GA_NewXChrom(i, h) = 0 Then
            GA_NewXChrom(i, h) = -1
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i, h) = GA_NewXChrom(i, h)
          End If
          If GA_NewXChrom(i + 1, h) = 0 Then
            GA_NewXChrom(i + 1, h) = -1
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + i + 1, h) = GA_NewXChrom(i +
1, h)
          End If
        Next h
   Next i

   GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 10 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

   For k = 1 To GA_NumChrom - 1 Step 2
        CountZeroNow = 0
        CountZeroYes = 0

      For h = 1 To UBound(NowSol) - 1
          If GA_NewXChrom(k - 1, h) = (-1) Then
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
CountZeroNow = 0
                    For i = 1 To UBound(NowSol) - 1
                      If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then CountZeroNow = CountZeroNow + 1
                        If GA_XtoChrom(k, i) > -1 Then
                          Yes = 1

                          For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
                              If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then
                                Yes = 0
                                If CountZeroNow > CountZeroYes Then
                                  CountZeroYes = CountZeroYes + 1
                                  Yes = 1
                                  Exit For
                                End If
                              Else
                                If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k - 1, j) Then
                                  Yes = 0
                                  Exit For
                                End If
                              End If
                          Next j

                        If Yes = 1 Then
                          GA_NewXChrom(k - 1, h) = GA_XtoChrom(k, i)
                    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k - 1, h) =
GA_NewXChrom(k - 1, h)
                          Exit For
                        End If
                      End If
                    Next i
            End If
      Next h
   Next k

   GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 11 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
For k = 0 To GA_NumChrom - 2 Step 2
        CountZeroNow = 0
        CountZeroYes = 0

      For h = 1 To UBound(NowSol) - 1
          If GA_NewXChrom(k + 1, h) = (-1) Then
            CountZeroNow = 0

              For i = 1 To UBound(NowSol) - 1
                  If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then CountZeroNow = CountZeroNow + 1
                    If GA_XtoChrom(k, i) > -1 Then
                      Yes = 1

                      For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
                          If GA_XtoChrom(k, i) = 0 Then
                            Yes = 0
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
                                    If CountZeroNow > CountZeroYes Then
                                        CountZeroYes = CountZeroYes + 1
                                        Yes = 1
                                        Exit For
                                    End If
                                Else
                                    If GA_XtoChrom(k, i) = GA_NewXChrom(k + 1, j) Then
                                        Yes = 0
                                        Exit For
                                    End If
                                End If
                            Next j

                            If Yes = 1 Then
                                GA_NewXChrom(k + 1, h) = GA_XtoChrom(k, i)
                    Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 2) + 6 + GA_YCount + k + 1, h) =
GA_NewXChrom(k + 1, h)
                                Exit For
                            End If
                        End If
                    Next i
                End If
            Next h
        Next k
        GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 12 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

End Sub

Public Sub GA_MutationSM()

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 13 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
ReDim GA_NewYChrom(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))
'ReDim GA_PositionSM(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To 7)

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_NewYChrom(i, 0) = 0
        GA_NewYChrom(i, UBound(NowSol)) = 0
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, 0) = GA_NewYChrom(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol)) = GA_NewYChrom
(i, UBound(NowSol))
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 14 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            GA_NewYChrom(i, j) = GA_YtoChrom(i, j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j) = GA_NewYChrom(i, j)
        Next j
    Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 15 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
If UBound(NowSol) <= 20 Then
        ReDim GA_PositionSM(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To 3)
       For i = 0 To GA_YCount - 1
        For j = 0 To 3
            GA_RndPos = Int(((UBound(NowSol) - 1) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            GA_PositionSM(i, j) = GA_RndPos
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionSM(i, j)
        Next j
    Next i

    For i = 0 To GA_YCount - 1
            If GA_PositionSM(i, 0) <> GA_PositionSM(i, 1) Then
                GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0))
                GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1))
                GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1)) = GA_Temp
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0))
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1))
            Else
               If GA_PositionSM(i, 0) = GA_PositionSM(i, 1) Then Yes = 1
            End If
    Next i

For i = 0 To GA_YCount - 1
            If GA_PositionSM(i, 2) <> GA_PositionSM(i, 3) Then
                GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2))
                GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3))
                GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3)) = GA_Temp
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 2)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2))
                Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 3)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3))
            Else
               If GA_PositionSM(i, 2) = GA_PositionSM(i, 3) Then Yes = 1
            End If
    Next i

ElseIf UBound(NowSol) > 20 Then
        ReDim GA_PositionSM(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To 7)
    For i = 0 To GA_YCount - 1
        For j = 0 To 7
            GA_RndPos = Int(((UBound(NowSol) - 1) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            GA_PositionSM(i, j) = GA_RndPos
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionSM(i, j)
        Next j
    Next i
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
For i = 0 To GA_YCount - 1
        If GA_PositionSM(i, 0) <> GA_PositionSM(i, 1) Then
            GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1)) = GA_Temp
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 0))
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 1))
        Else
          If GA_PositionSM(i, 0) = GA_PositionSM(i, 1) Then Yes = 1
        End If
    Next i
    For i = 0 To GA_YCount - 1
        If GA_PositionSM(i, 2) <> GA_PositionSM(i, 3) Then
            GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3)) = GA_Temp
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 2)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 2))
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 3)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 3))
        Else
          If GA_PositionSM(i, 2) = GA_PositionSM(i, 3) Then Yes = 1
        End If
    Next i

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        If GA_PositionSM(i, 4) <> GA_PositionSM(i, 5) Then
            GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 4))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 4)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 5))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 5)) = GA_Temp
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 4)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 4))
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 5)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 5))
        Else
          If GA_PositionSM(i, 4) = GA_PositionSM(i, 5) Then Yes = 1
        End If
    Next i

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        If GA_PositionSM(i, 6) <> GA_PositionSM(i, 7) Then
            GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 6))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 6)) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 7))
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 7)) = GA_Temp
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 6)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 6))
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, GA_PositionSM(i, 7)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionSM(i, 7))
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        Else
            If GA_PositionSM(i, 6) = GA_PositionSM(i, 7) Then Yes = 1
        End If
    Next i
End If
    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 16 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
End Sub

Public Sub GA_MutationGM()

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 13 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
ReDim GA_NewYChrom(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To UBound(NowSol))
ReDim GA_PositionGM(0 To (GA_NumChrom - 1), 0 To 1)

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_NewYChrom(i, 0) = 0
        GA_NewYChrom(i, UBound(NowSol)) = 0
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, 0) = GA_NewYChrom(i, 0)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol)) = GA_NewYChrom(i,
UBound(NowSol))
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 14 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
        For i = 0 To GA_YCount - 1
        For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
            GA_NewYChrom(i, j) = GA_YtoChrom(i, j)
            Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j) = GA_NewYChrom(i, j)
        Next j
    Next i

    GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 15 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$

If UBound(NowSol) < 6 Then
    For i = 0 To GA_YCount - 1
            GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) / 2)) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
            GA_PositionGM(i, 0) = GA_RndPos
           Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionGM(i, 0)
    Next i
    For i = 0 To GA_YCount - 1
            GA_RndPos = Int(((UBound(NowSol) - 1) - (((UBound(NowSol) / 2) + 1)) + 1) * Rnd() + (((UBound(NowSol) / 2) + 1)))
            GA_PositionGM(i, 1) = GA_RndPos
           Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 4) =
GA_PositionGM(i, 1)
    Next i

For i = 0 To GA_YCount - 1
        j = 0
            GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
            GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j) = GA_Temp
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
    Next i

ElseIf UBound(NowSol) >= 6 And UBound(NowSol) <= 9 Then
    For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) / 2) - 2) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
        GA_PositionGM(i, 0) = GA_RndPos
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionGM(i, 0)
    Next i

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) - 2) - (((UBound(NowSol) / 2) + 1)) + 1) * Rnd() + (((UBound(NowSol) / 2) + 1)))
        GA_PositionGM(i, 1) = GA_RndPos
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 4) =
GA_PositionGM(i, 1)
    Next i

    For i = 0 To GA_YCount - 1
      For j = 0 To 1
        GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j) = GA_Temp
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
      Next j
    Next i

ElseIf UBound(NowSol) > 9 And UBound(NowSol) <= 50 Then

    For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) / 2) - 4) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
        GA_PositionGM(i, 0) = GA_RndPos
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionGM(i, 0)
    Next i

   For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) - 4) - (((UBound(NowSol) / 2) + 1)) + 1) * Rnd() + (((UBound(NowSol) / 2) + 1)))
GA_PositionGM(i, 1) = GA_RndPos
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 4) =
GA_PositionGM(i, 1)
    Next i

     For i = 0 To GA_YCount - 1
       For j = 0 To 3
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)GA_NewYChrom(i,
GA_PositionGM(i, 1) + j) = GA_Temp
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
      Next j
   Next i

ElseIf UBound(NowSol) > 50 Then
   For i = 0 To GA_YCount - 1
        GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) / 2) - 10) - 1 + 1) * Rnd() + 1)
        GA_PositionGM(i, 0) = GA_RndPos
       Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 3) =
GA_PositionGM(i, 0)
   Next i

   For i = 0 To GA_YCount - 1
       GA_RndPos = Int((((UBound(NowSol) - 10) - (((UBound(NowSol) / 2) + 1)) + 1) * Rnd() + ((((UBound(NowSol) / 2) + 1)))
        GA_PositionGM(i, 1) = GA_RndPos
       Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, UBound(NowSol) + 4) =
GA_PositionGM(i, 1)
   Next i

   For i = 0 To GA_YCount - 1
      For j = 0 To 9
        GA_Temp = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j) = GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
        GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j) = GA_Temp
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 0)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 0) + j)
        Worksheets("GA").Range("H8").Offset((GA_NumChrom * 3) + 8 + GA_YCount + i, j + GA_PositionGM(i, 1)) =
GA_NewYChrom(i, GA_PositionGM(i, 1) + j)
      Next j
   Next i
End If
   GA_Progress.GA_ProgressBar.Value = 16 '$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$$
End Sub

Public Sub GA_Table()
      Selection.Borders(xlDiagonalDown).LineStyle = xlNone
      Selection.Borders(xlDiagonalUp).LineStyle = xlNone
 With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
      With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
      End With
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .Weight = xlThin
        .ColorIndex = xlAutomatic
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ColorIndex = 0
    .TintAndShade = 0
    .Weight = xlMedium
  End With
End Sub

Public Sub GA_ChooseCrossoverTyp()
  If Range("B8") = "Crossover Lock Zero" Then
    Call GA_CrossLZ
  ElseIf Range("B8") = "Crossover One Point" Then
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

```
        Call GA_CrossOP
    ElseIf Range("B8") = "Crossover Two Point" Then
        Call GA_CrossTP
    End If
End Sub

Public Sub GA_ChooseMutationTyp()
    If Range("B11") = "Swapping Of Mutation" Then
        Call GA_MutationSM
    ElseIf Range("B11") = "Group Of Mutation" Then
        Call GA_MutationGM
    End If
End Sub
```

รูปที่ ข.7 (ต่อ) แสดงคำสั่งเรียกใช้ใน Module

ภาคผนวก ค
โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ค. โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดลอง

ค.1 โจทย์ปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาขนาดเล็กมีจำนวนลูกค้า 25 ราย จำนวนรถบรรทุก 3 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 3 โจทย์ ที่มีเวลาการในเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ ค.1, ตารางที่ ค.2 และแสดงดังตารางที่ ค.3 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.1 แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดเล็ก) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	35	35	0	0	1000	0		0
1	41	49	10	37	229	10		
2	35	17	7	34	181	10		
3	55	45	13	84	172	10		
4	55	20	19	77	191	10	Static	
5	15	30	26	183	306	10		
6	25	30	15	190	313	10		
7	20	50	17	420	559	10		250
8	10	43	9	92	274	10		
9	55	60	16	85	289	10		
10	30	60	16	96	299	10		
11	20	65	12	104	312	10		
12	50	35	19	246	344	10	P1	
13	30	25	23	114	282	10		
14	15	10	20	190	313	10		
15	30	5	8	216	325	10		
16	10	20	19	259	355	10		500
17	5	30	20	292	555	10		
18	20	40	12	294	581	10		
19	15	60	17	392	599	10		
20	45	65	9	502	687	10		
21	45	20	11	336	611	10	P2	
22	45	10	18	540	727	10		
23	55	5	29	588	742	10		
24	65	35	12	497	632	10		
25	65	20	6	620	820	10		750

ตารางที่ ค.2 แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดเล็ก) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	1236	0		0
1	45	68	10	112	267	10		
2	45	70	30	275	470	30		
3	42	66	10	65	146	10		
4	42	68	10	527	822	10	Static	
5	42	65	10	15	117	10		
6	40	69	20	611	702	20		
7	40	66	20	170	285	20		310
8	38	68	20	255	394	20		
9	38	70	10	134	505	10		
10	35	66	10	157	410	10		
11	35	69	10	248	515	10		
12	25	85	20	452	640	20	P1	
13	22	75	30	230	432	30		
14	22	85	10	547	620	10		
15	20	80	40	354	459	40		
16	20	85	40	455	538	40		620
17	18	75	20	377	752	20		
18	15	75	20	479	659	20		
19	15	80	10	478	685	10		
20	30	50	10	410	723	10		
21	30	52	20	874	965	20	P2	
22	28	52	20	782	883	20		
23	28	55	10	702	797	10		
24	25	50	10	645	745	10		
25	25	52	40	759	856	40		930

ตารางที่ ค.3 แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดเล็ก) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOOR.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	960	0		0
1	25	85	20	50	250	10		
2	22	75	30	152	272	10		
3	22	85	10	93	491	10		
4	20	80	40	230	664	10	Static	
5	20	85	20	73	193	10		
6	18	75	20	35	285	10		
7	15	75	20	300	420	10		240
8	15	80	10	140	487	10		
9	10	35	20	371	491	10		
10	10	40	30	219	639	10		
11	8	40	40	215	315	10		
12	8	45	20	223	343	10	P1	
13	5	35	10	513	773	10		
14	5	45	10	245	355	10		
15	2	40	20	250	364	10		
16	0	40	20	255	375	10		480
17	0	45	20	400	823	10		
18	44	5	20	489	655	10		
19	42	10	40	410	673	10		
20	42	15	10	537	657	10		
21	40	5	10	455	765	10	P2	
22	40	15	40	490	695	10		
23	38	5	30	555	681	10		
24	38	15	10	643	801	10		
25	35	5	20	700	904	10		720

ค.2 โจทย์ปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาขนาดกลางมีจำนวนลูกค้า 50 ราย จำนวนรถบรรทุก 7 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 3 โจทย์ ที่มีเวลาการในเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ ค.4, ตารางที่ ค.5 และแสดงดังตารางที่ ค.6 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.4 แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	35	35	0	0	1000	0		0
1	41	49	10	58	180	10		
2	35	17	7	29	189	10		
3	55	45	13	180	481	10		
4	55	20	19	92	231	10		
5	15	30	26	101	293	10		
6	25	30	3	162	289	10		
7	20	50	5	217	333	10	Static	
8	10	43	9	228	345	10		
9	55	60	16	120	250	10		
10	30	60	16	260	437	10		
11	20	65	12	114	255	10		
12	50	35	19	174	299	10		
13	30	25	23	450	655	10		
14	15	10	20	420	547	10		
15	30	5	8	320	477	10		
16	10	20	19	110	313	10		250
17	5	30	2	206	325	10		
18	20	40	12	175	350	10		
19	15	60	17	183	306	10		
20	45	65	9	290	577	10		
21	45	20	11	292	673	10		
22	45	10	18	294	501	10		
23	55	5	29	302	455	10	P1	
24	65	35	3	175	300	10		
25	65	20	6	183	306	10		
26	45	30	17	190	313	10		
27	35	40	16	206	325	10		
28	41	37	16	309	485	10		
29	64	42	9	324	571	10		
30	40	60	21	247	383	10		
31	31	52	27	248	355	10		
32	35	69	23	433	650	10		
33	53	52	11	226	345	10		
34	65	55	14	265	454	10		
35	63	65	8	240	367	10		500

ตารางที่ ค.4 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
36	2	60	5	302	605	10		
37	20	20	8	308	599	10		
38	5	5	16	431	710	10		
39	60	12	31	290	597	10		
40	40	25	9	292	673	10		
41	42	7	5	394	601	10		
42	24	12	5	504	681	10		
43	23	3	7	621	739	10	P2	
44	11	14	18	331	630	10		
45	6	38	16	396	581	10		
46	2	48	1	400	697	10		
47	8	56	27	386	765	10		
48	13	52	36	409	694	10		
49	6	68	30	477	664	10		
50	47	47	13	640	797	10		750

ตารางที่ ค.5 แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	1236	0		0
1	45	68	10	122	267	10		
2	45	70	30	135	280	30		
3	42	66	10	65	146	10		
4	42	68	20	100	282	20		
5	42	65	10	35	167	10		
6	40	69	20	161	342	20		
7	40	66	20	170	265	20	Static	
8	38	68	20	225	324	20		
9	38	70	10	234	405	10		
10	35	66	20	317	410	20		
11	35	69	10	408	555	10		
12	25	85	30	562	721	30		
13	22	75	30	40	152	30		
14	22	85	10	397	480	10		
15	20	80	40	324	429	40		
16	20	85	40	325	528	40		310
17	18	75	20	159	340	20		
18	15	75	20	239	353	20		
19	15	80	10	278	345	10		
20	30	50	20	250	407	20		
21	30	52	20	634	765	20		
22	28	52	20	682	883	20		
23	28	55	10	712	817	10	P1	
24	25	50	10	409	644	10		
25	25	52	40	199	404	40		
26	25	55	10	612	741	10		
27	23	52	10	261	456	10		
28	23	55	20	516	623	20		
29	20	50	10	358	455	10		
30	20	55	10	429	524	10		
31	10	35	20	310	537	20		
32	10	40	30	209	400	30		
33	8	40	40	260	458	40		
34	8	45	20	521	706	20		
35	5	35	10	283	444	10		620

ตารางที่ ค.5 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
36	5	45	10	595	776	10		
37	2	40	20	683	798	20		
38	0	40	30	579	692	30		
39	0	45	20	557	674	20		
40	35	30	10	493	714	10		
41	35	32	10	530	725	10		
42	33	32	20	456	637	20		
43	33	35	10	904	1010	10	P2	
44	32	30	20	679	879	20		
45	30	30	10	541	742	10		
46	30	32	20	498	629	20		
47	30	35	10	932	1127	10		
48	28	30	10	732	851	10		
49	28	35	10	836	1106	10		
50	26	32	10	715	880	10		930

ตารางที่ ค.6 แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	960	0		0
1	25	85	20	48	237	10		
2	22	75	30	59	299	10		
3	22	85	10	170	451	10		
4	20	80	40	90	431	10		
5	20	85	20	101	323	10		
6	18	75	20	162	389	10		
7	15	75	20	217	383	10	Static	
8	15	80	10	208	395	10		
9	10	35	20	120	350	10		
10	10	40	30	260	537	10		
11	8	40	40	154	355	10		
12	8	45	20	174	329	10		
13	5	35	10	450	655	10		
14	5	45	10	420	547	10		
15	2	40	20	320	477	10		
16	0	40	20	110	313	10		310
17	0	45	20	206	425	10		
18	44	5	20	175	350	10		
19	42	10	40	183	386	10		
20	42	15	10	290	577	10		
21	40	5	10	242	673	10		
22	40	15	40	294	501	10		
23	38	5	30	202	455	10	P1	
24	38	15	10	175	380	10		
25	35	5	20	183	456	10		
26	95	30	30	190	393	10		
27	95	35	20	206	365	10		
28	92	30	10	309	495	10		
29	90	35	10	324	571	10		
30	88	30	10	247	583	10		
31	88	35	20	248	455	10		
32	87	30	10	433	650	10		
33	85	25	10	226	385	10		
34	85	35	30	265	454	10		
35	67	85	20	240	367	10		620

ตารางที่ ค.6 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดกลาง) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
36	65	85	40	302	776	10		
37	65	82	10	348	798	20		
38	62	80	30	431	692	30		
39	60	80	10	390	674	20		
40	60	85	30	292	714	10		
41	58	75	20	394	725	10		
42	55	80	10	504	637	20		
43	55	85	20	601	1010	10	P2	
44	55	82	10	531	879	20		
45	20	82	10	396	742	10		
46	18	80	10	400	629	20		
47	2	45	10	386	1127	10		
48	42	5	10	409	851	10		
49	42	12	10	457	1106	10		
50	72	35	30	600	880	10		930

ค.3 โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่

ปัญหาขนาดใหญ่มีจำนวนลูกค้า 100 ราย จำนวนรถบรรทุก 15 คัน และได้ออกแบบโจทย์สำหรับการทดลอง 3 โจทย์ ที่มีเวลาการในเปิด และปิดรับสินค้าของลูกค้าแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ ค.7, ตารางที่ ค.8 และแสดงดังตารางที่ ค.9 ตามลำดับ

ตารางที่ ค.7 แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	35	35	0	0	1000	0		0
1	41	49	10	20	221	10		
2	35	17	7	54	184	10		
3	55	45	13	35	193	10		
4	55	20	19	30	175	10		
5	15	30	26	37	157	10		
6	25	30	3	84	244	10		
7	20	50	5	43	162	10		
8	10	43	9	53	193	10		
9	55	60	16	56	180	10		
10	30	60	16	42	184	10		
11	20	65	12	73	193	10		
12	50	35	19	80	280	10		
13	30	25	23	100	280	10		
14	15	10	20	105	275	10		
15	30	5	8	155	295	10	Static	
16	10	20	19	146	266	10		
17	5	30	2	109	269	10		
18	20	40	12	122	372	10		
19	15	60	17	152	332	10		
20	45	65	9	137	297	10		
21	45	20	11	125	395	10		
22	45	10	18	92	231	10		
23	55	5	29	101	293	10		
24	65	35	3	162	329	10		
25	65	20	6	117	333	10		
26	45	30	17	128	345	10		
27	35	40	16	120	550	10		
28	41	37	16	125	315	10		
29	64	42	9	201	481	10		
30	40	60	21	95	435	10		

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
31	31	52	27	129	450	10		250
32	35	69	23	123	354	10		
33	53	52	11	104	399	10		
34	65	55	14	241	435	10		
35	63	65	8	296	575	10		
36	2	60	5	294	612	10		
37	20	20	8	295	475	10		
38	5	5	16	158	370	10		
39	60	12	31	120	299	10		
40	40	25	9	258	398	10		
41	42	7	5	228	398	10		
42	24	12	5	278	434	10		
43	23	3	7	286	500	10		
44	11	14	18	300	420	10	P1	
45	6	38	16	308	499	10		
46	2	48	1	306	489	10		
47	8	56	27	329	501	10		
48	13	52	36	335	542	10		
49	6	68	30	304	521	10		
50	47	47	13	349	677	10		
51	49	58	10	302	720	10		
52	27	43	9	355	499	10		
53	37	31	14	459	812	10		
54	57	29	18	359	635	10		
55	63	23	2	265	587	10		
56	53	12	6	367	487	10		
57	32	12	7	371	721	10		
58	36	26	18	375	642	10		
59	21	24	28	375	528	10		
60	17	34	3	406	595	10		
61	12	24	13	388	508	10		
62	24	58	19	392	512	10		
63	27	69	10	395	577	10		
64	15	77	9	407	732	10		
65	62	77	20	440	605	10		500

ตารางที่ ค.7 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ R2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 1

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
66	49	73	25	471	598	10		
67	67	5	25	487	677	10		
68	56	39	36	489	609	10		
69	37	47	6	507	627	10		
70	37	56	5	519	679	10		
71	57	68	15	509	649	10		
72	47	16	25	457	687	10		
73	44	17	9	507	807	10		
74	46	13	8	557	677	10		
75	49	11	18	547	777	10		
76	49	42	13	562	782	10		
77	53	43	14	556	696	10		
78	61	52	3	574	699	10		
79	57	48	23	599	799	10		
80	56	37	6	611	753	10		
81	55	54	26	612	732	10		
82	15	47	16	621	741	10		
83	14	37	11	624	784	10		
84	11	31	7	645	765	10		
85	16	22	41	653	792	10		
86	4	18	35	557	777	10	P2	
87	28	18	26	673	793	10		
88	26	52	9	681	851	10		
89	26	35	15	664	874	10		
90	31	67	3	713	853	10		
91	15	19	1	703	903	10		
92	22	22	2	709	839	10		
93	18	24	22	702	852	10		
94	26	27	27	724	884	10		
95	25	24	20	682	902	10		
96	22	27	11	614	904	10		
97	25	21	12	734	928	10		
98	19	21	10	720	980	10		
99	20	26	9	714	930	10		
100	18	18	17	772	942	10		750

ตารางที่ ค.8 แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	1236	0		0
1	45	68	10	40	211	10		
2	45	70	30	54	194	10		
3	42	66	10	35	193	10		
4	42	68	10	30	175	10		
5	42	65	10	137	307	10		
6	40	69	20	34	204	10		
7	40	66	20	43	162	10		
8	38	68	20	53	197	10		
9	38	70	10	56	180	10		
10	35	66	10	42	184	10		
11	35	69	10	73	393	10		
12	25	85	20	80	280	10		
13	22	75	30	100	280	10		
14	22	85	10	105	275	10		
15	20	80	40	155	295	10	Static	
16	20	85	40	146	296	10		
17	18	75	20	109	269	10		
18	15	75	20	122	302	10		
19	15	80	10	152	332	10		
20	30	50	10	137	297	10		
21	30	52	20	125	335	10		
22	28	52	20	92	231	10		
23	28	55	10	101	293	10		
24	25	50	10	162	329	10		
25	25	52	40	117	333	10		
26	25	55	10	128	345	10		
27	23	52	10	120	450	10		
28	23	55	20	125	315	10		
29	20	50	10	201	481	10		
30	20	55	10	155	435	10		

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
31	10	35	20	199	450	10		310
32	10	40	30	243	554	10		
33	8	40	40	194	459	10		
34	8	45	20	241	435	10		
35	5	35	10	296	575	10		
36	5	45	10	254	602	10		
37	2	40	20	275	575	10		
38	0	40	30	188	390	10		
39	0	45	20	179	399	10		
40	35	30	10	258	398	10		
41	35	32	10	228	398	10		
42	33	32	20	278	434	10		
43	33	35	10	286	500	10		
44	32	30	10	300	420	10	P1	
45	30	30	10	308	499	10		
46	30	32	30	306	489	10		
47	30	35	10	329	501	10		
48	28	30	10	335	542	10		
49	28	35	10	304	521	10		
50	26	32	10	349	577	10		
51	25	30	10	302	520	10		
52	25	35	10	355	499	10		
53	44	5	20	459	812	10		
54	42	10	40	359	635	10		
55	42	15	10	265	587	10		
56	40	5	30	367	487	10		
57	40	15	40	371	721	10		
58	38	5	30	375	642	10		
59	38	15	10	375	528	10		
60	35	5	20	406	595	10		
61	50	30	10	388	508	10		
62	50	35	20	392	512	10		
63	50	40	50	395	577	10		
64	48	30	10	407	532	10		
65	48	40	10	440	605	10		620

ตารางที่ ค.8 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ C1 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 2

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
66	47	35	10	471	658	10		
67	47	40	10	487	727	10		
68	45	30	10	589	739	10		
69	45	35	10	587	727	10		
70	95	30	30	619	779	10		
71	95	35	20	509	649	10		
72	53	30	10	577	697	10		
73	92	30	10	627	867	10		
74	53	35	50	597	757	10		
75	45	65	20	597	777	10		
76	90	35	10	642	782	10		
77	88	30	10	556	696	10		
78	88	35	20	584	698	10		
79	87	30	10	599	719	10		
80	85	25	10	601	723	10		
81	85	35	30	612	732	10		
82	75	55	20	621	741	10		
83	72	55	10	644	774	10		
84	70	58	20	645	865	10		
85	68	60	30	653	785	10		
86	66	55	10	557	777	10	P2	
87	65	55	20	673	793	10		
88	65	60	30	681	851	10		
89	63	58	10	664	814	10		
90	60	55	10	713	858	10		
91	60	60	10	703	838	10		
92	67	85	20	749	899	10		
93	65	85	40	732	857	10		
94	65	82	10	724	884	10		
95	62	80	30	682	852	10		
96	60	80	10	814	1004	10		
97	60	85	30	734	928	10		
98	58	75	20	810	1080	10		
99	55	80	10	714	900	10		
100	55	85	20	802	1042	10		930

ตารางที่ ค.9 แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
0	40	50	0	0	960	0		0
1	25	85	20	34	221	10		
2	22	75	30	44	196	10		
3	22	85	10	35	193	10		
4	20	80	40	50	275	10		
5	20	85	20	37	197	10		
6	18	75	20	84	274	10		
7	15	75	20	43	196	10		
8	15	80	10	53	213	10		
9	10	35	20	56	220	10		
10	10	40	30	42	194	10		
11	8	40	40	73	233	10		
12	8	45	20	80	280	10		
13	5	35	10	110	286	10		
14	5	45	10	105	275	10		
15	2	40	20	135	295	10	Static	
16	0	40	20	146	299	10		
17	0	45	20	109	279	10		
18	44	5	20	122	372	10		
19	42	10	40	152	332	10		
20	42	15	10	137	297	10		
21	40	5	10	125	395	10		
22	40	15	40	112	281	10		
23	38	5	30	101	293	10		
24	38	15	10	162	329	10		
25	35	5	20	117	333	10		
26	95	30	30	128	345	10		
27	95	35	20	120	550	10		
28	92	30	10	125	315	10		
29	90	35	10	201	481	10		
30	88	30	10	95	435	10		

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
31	88	35	20	129	450	10		240
32	87	30	10	123	354	10		
33	85	25	10	104	399	10		
34	85	35	30	241	435	10		
35	67	85	20	286	575	10		
36	65	85	40	294	612	10		
37	65	82	10	245	475	10		
38	62	80	30	158	370	10		
39	60	80	10	120	299	10		
40	60	85	30	218	398	10		
41	58	75	20	228	398	10		
42	55	80	10	278	434	10		
43	55	85	20	286	500	10		
44	55	82	10	300	455	10	P1	
45	20	82	10	308	499	10		
46	18	80	10	306	489	10		
47	2	45	10	329	501	10		
48	42	5	10	335	542	10		
49	42	12	10	304	521	10		
50	72	35	30	349	677	10		
51	55	20	19	302	620	10		
52	25	30	3	335	499	10		
53	20	50	5	459	812	10		
54	55	60	16	359	635	10		
55	30	60	16	265	587	10		
56	50	35	19	337	497	10		
57	30	25	23	371	721	10		
58	15	10	20	375	642	10		
59	10	20	19	375	528	10		
60	15	60	17	406	595	10		
61	45	65	9	388	568	10		
62	65	35	3	392	582	10		
63	65	20	6	395	577	10		
64	45	30	17	407	732	10		
65	35	40	16	440	605	10		480

ตารางที่ ค.9 (ต่อ) แสดงข้อมูลของ RC2 (โจทย์ขนาดใหญ่) ข้อที่ 3

CUST NO.	XCOORD.	YCOORD.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME		Time
66	41	37	16	471	638	10		
67	64	42	9	487	677	10		
68	40	60	21	489	709	10		
69	31	52	27	507	677	10		
70	35	69	23	519	679	10		
71	65	55	14	509	689	10		
72	63	65	8	457	687	10		
73	2	60	5	507	807	10		
74	20	20	8	517	677	10		
75	5	5	16	547	777	10		
76	60	12	31	562	782	10		
77	23	3	7	541	699	10		
78	8	56	27	534	699	10		
79	6	68	30	599	799	10		
80	47	47	13	601	763	10		
81	49	58	10	582	748	10		
82	27	43	9	611	771	10		
83	37	31	14	624	784	10		
84	57	29	18	641	795	10		
85	63	23	2	653	842	10		
86	21	24	28	557	777	10	P2	
87	12	24	13	673	893	10		
88	24	58	19	671	851	10		
89	67	5	25	664	874	10		
90	37	47	6	701	853	10		
91	49	42	13	707	903	10		
92	53	43	14	679	839	10		
93	61	52	3	702	862	10		
94	57	48	23	724	884	10		
95	56	37	6	682	902	10		
96	55	54	26	614	904	10		
97	4	18	35	674	928	10		
98	26	52	9	700	980	10		
99	26	35	15	704	930	10		
100	31	67	3	662	912	10		720

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวชนม์นิภา คำฤกษ์
ภูมิลำเนา 138 หมู่ 1 ต.โนนพลวง อ.ลานกระบือ
จ.กำแพงเพชร
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนลานกระบือวิทยา จ.กำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail : Chonipa_k@hotmail.com

ชื่อ นายศราวุธ คงจุ้ย
ภูมิลำเนา 16 หมู่ 13 ต.เขาคีริส อ.พรานกระต่าย
จ.กำแพงเพชร
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพรานกระต่ายพิทยาคม จ.กำแพงเพชร
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail : Jayindustrial@gmail.com

ชื่อ นางสาวเสาวลักษณ์ ภูพุ่ม
ภูมิลำเนา 188 หมู่ 5 ต.บ้านแยง อ.นครไทย
จ.พิษณุโลก
ประวัติการศึกษา
- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนครบางยางพิทยาคม จ.พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
E-mail : saowaluk1357 @gmail.com