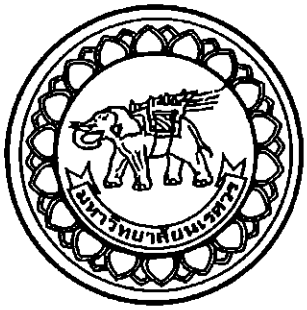


การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

SOLVING THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM BY ITERATED LOCAL SEARCH

นางสาวศิริวิมล แสนกงพลี รหัส 54366140

นางสาวสาวิตรี แตงเรือง รหัส 54366188

ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์
วันที่รับ 30 ต.ค. 2558
เลขทะเบียน 16898803
เลขเรียกหนังสือ ปร.
มหาวิทยาลัยนเรศวร ด ส89 ว 2557

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร
ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ผู้ดำเนินโครงงาน นางสาวศิริวิมล แสนกงพลี รหัส 54366140

นางสาวสาวิตรี แตงเรือง รหัส 54366188

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ผศ.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวศิริวิมล แสนกงพลี รหัส 54366140
	นางสาวสาวิตรี แตงเรือง รหัส 54366188
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

.....

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตมีลักษณะที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม คือ ข้อมูลรายละเอียดของลูกค้า สามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ปัญหานี้จัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนขึ้นจากปัญหาแบบดั้งเดิม โดยปัญหาที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางของยานพาหนะที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง ซึ่งประกอบไปด้วยค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายแปรผันในการใช้ยานพาหนะ และค่าปรับที่เกิดจากการส่งสินค้าล่าช้า รูปแบบการขนส่งที่ใช้สำหรับปัญหานี้ กำหนดให้มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว สามารถมีรถได้หลายประเภท และมีกรอบเวลาในการขนส่งของลูกค้าแต่ละคน

สำหรับวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นเป็นวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่มเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ใช้เวลารวดเร็ว แต่ไม่รับรองว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ เป็นการค้นหาคำตอบโดยเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้ว นำคำตอบนั้นมาปรับปรุงให้ได้คำตอบใหม่ โดยวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ ได้แก่ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ และวิธีการรบกวนคำตอบ

วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ที่ผู้ดำเนินโครงงานได้นำมาประยุกต์ใช้ได้มีการนำมาทดสอบกับปัญหาสามขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และได้มีการนำไปเปรียบเทียบกลับวิธีการอื่นๆ ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีอาณานิคมมด

Project title	Solving the Dynamic Vehicle Routing Problem By Iterated Local Search		
Author	Ms. Siriwimon	Saenkongplee	ID 50363877
	Ms. Sawitree	Tangrueang	ID 54366188
Project advisor	Dr. Kwanniti	Khammuang	
Major	Industrial Engineering		
Department	Industrial Engineering		
Academic year	2014		

Abstract

This project proposes a Iterated Local Search algorithm for a Dynamic Vehicle Routing Problem (DVRP). DVRP differs from the traditional Vehicle Routing Problem (VRP) in that the information pertaining to customers can vary as time progresses which complicates the problem and increases its difficulty. Here, the objective of the problem is to minimize total cost, consists of fixed and variable costs of issuing vehicles and penalty cost of goods transported beyond customers' time windows. The problem considers single depot, heterogeneous fleet and time window is specified for each customer.

Iterated Local Search algorithm is one of the metaheuristics method which usually acquires fast computation time but does not guarantee optimal solution. The Iterated Local Search algorithm is inspired by is local search by have the best answer and improve to get a new answer. Parameters, which are Local Search method and Perturbation method, are important for Iterated Local Search 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 Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Ant Colony Optimization, Particle Swarm and Optimization.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จได้ด้วยความอนุเคราะห์ของ บุคลากรหลายท่าน ซึ่งผู้มีพระคุณท่านแรกที่ผู้ศึกษาใคร่ขอกราบขอบพระคุณ คือ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ผู้สอนที่ได้ให้ความรู้ คำแนะนำ ตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานค้นคว้าฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ท่านที่สอง คือ อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง ที่ให้คำแนะนำ ตรวจทาน และแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ นอกจากนี้ ผู้ศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณ คณะกรรมการทั้งสองท่าน อันประกอบไปด้วยผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการแก้ไขและให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ที่มีส่วนทำให้โครงงานครั้งนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น จนสามารถออกมาเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

อีกสิ่งหนึ่งที่ลืมไม่ได้ ก็คือ ความกรุณาจาก บิดา มารดา พี่ และน้อง ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จนี้ ที่ได้สนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษา และให้กำลังใจในทุกๆ เรื่องตลอดมา ทางผู้ดำเนินโครงงานใคร่ขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวศิริวิมล แสนกงพลี
นางสาวสาวิตรี แตงเรือง
เมษายน 2558

สารบัญ

หน้า

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

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

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ
(Vehicle Routing Problems : VRP) 5
2.2 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ 5
2.2.1 ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า 5
2.2.2 ตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) 6
2.2.3 ตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizons) 7
2.2.4 ตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้า (Number of Origin Points) 8
2.3 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ 9
2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต
(Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP) 16

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP) 17
2.6 วิธีการฮิวริสติก (Heuristic Method) 23
2.7 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Method) 24
2.7.1 หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก 24
2.7.2 การแบ่งเมตาฮิวริสติก 24
2.8 การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search : LS) 25
2.8.1 วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap Operator) 25
2.8.2 วิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง (2-opt) 25
2.8.3 วิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่ง (3-opt) 26
2.9 วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ (Iterated Local Search : ILS) 27
2.10 หลักการและทฤษฎีของภาษา Visual Basic for Application : VBA 30

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 31
3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่างๆ 32
3.1.1 ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า 32
3.1.2 ตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) 32
3.1.3 ตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizons) 32
3.1.4 ตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้า (Number of Origin Points) 32
3.2 ศึกษารูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต 32
3.3 ศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 33
3.4 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของภาษา Visual Basic for Application : VBA 34
3.5 เขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำลงบนคอมพิวเตอร์ 34
3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม 36
3.7 ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำเพื่อค้นหาคำตอบกับปัญหาที่ทดสอบ 34
3.8 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 34

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 ผลการทดลองและวิเคราะห์ 35
4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต 35
4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน 37
4.3 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ 39
4.3.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ 39
4.3.1.1 การซ่อมแซมคำตอบ 40
4.3.1.2 การปรับปรุงกรอบเวลา 41
4.3.2 การหาค่าคำตอบ 42
4.4 การออกแบบการทำงานของวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ (Iterated Local Search) 43
4.5 การออกแบบการทำงานของวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ 46
4.5.1 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 (Local Search 1 : LS1) 46
4.5.2 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 (Local Search 2 : LS2) 48
4.5.3 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 (Local Search 3 : LS3) 50
4.5.4 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 (Local Search 4 : LS4) 51
4.6 ออกแบบวิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบ 52
4.6.1 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 1 (Perturbation 1 : PT1) 52
4.6.2 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 2 (Perturbation 3 : PT2) 53
4.6.3 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 3 (Perturbation 3 : PT3) 54
4.7 วิธีการใช้งานโปรแกรมในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลโดยวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำอย่างย่อ 55
4.7.1 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output) 55
4.7.2 เริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม 55
4.7.3 การกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 58
4.7.4 การตรวจสอบข้อมูลที่ผู้ใช้กรอก 59
4.7.5 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ 59
4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16 60
4.8.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 61
4.8.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 63

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.8.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 66
4.8.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 68
4.8.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 71
4.8.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 74
4.9 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลอง 76
4.9.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก 76
4.9.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง 78
4.9.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่ 80
4.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการเปรียบเทียบกับงานวิธีอื่น 82
4.10.1 การเปรียบเทียบของค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของค่าใช้จ่ายรวมที่ได้กับงานวิธีอื่น และเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบ 83
4.10.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การลู่เข้าของวิธี ILS กับวิธีอื่น 85
4.11 สรุป 86

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 87
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน 87
5.2 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงงาน 89
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา 90
5.4 ข้อเสนอแนะ 90

เอกสารอ้างอิง 91

ภาคผนวก 92

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 123

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน....4

2.1 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย....9

2.2 ข้อจำกัดทางด้านเวลาของลูกค้าแต่ละราย....10

2.3 เวลาในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย....10

2.4 ข้อจำกัดของยานพาหนะ....17

2.5 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว....18

2.6 ข้อจำกัดทางด้านเวลาของลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว....18

4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย....36

4.2 แสดงระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย....42

4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการเดินทาง....43

4.4 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดเล็ก....77

4.5 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดเล็ก....78

4.6 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดกลาง....79

4.7 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดกลาง....80

4.8 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดใหญ่....81

4.9 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดใหญ่....82

4.10 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ได้กับงานวิจัยอื่น....83

4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยที่ได้กับงานวิจัยอื่น....83

4.12 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบที่ได้กับงานวิธีอื่น....84

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะโดยมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด 6

2.2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าเดียว 8

2.3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายจุด 9

2.4 การเดินทางของยานพาหนะเส้นทางที่ 1 10

2.5 การเดินทางของยานพาหนะเส้นทางที่ 2 11

2.6 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 ในเส้นทางที่ 1 11

2.7 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 ในเส้นทางที่ 1 12

2.8 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3 ในเส้นทางที่ 1 13

2.9 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 ในเส้นทางที่ 2 13

2.10 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 ในเส้นทางที่ 2 14

2.11 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3 ในเส้นทางที่ 2 15

2.12 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต 16

2.13 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ 17

2.14 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี ยังไม่มีลูกค้าใหม่สั่งเข้ามา 19

2.15 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 กรณี ยังไม่มีลูกค้าใหม่สั่งเข้ามา 19

2.16 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามา 20

2.17 เส้นทางการขนส่งใหม่ของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว 21

2.18 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามา 21

2.19 เส้นทางการขนส่งใหม่ของยานพาหนะคันที่ 2 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว 22

2.20 การสลับตำแหน่งด้วยวิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง 26

2.21 การสลับตำแหน่งด้วยวิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่ง ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง 26

2.22 การค้นหาพื้นที่คำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 28

2.23 การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 29

4.1 การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic 38

4.2 แสดงตัวแทนคำตอบ n=5, m=3, p=1 39

4.3 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ 40

4.4 วิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ 41

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.5 การปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ 42
4.6 แสดงค่าคำตอบ 43
4.7 แสดงการทำงานของ Iterated Local Search 44
4.8 การสลับตำแหน่งที่ 5 กับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 3 47
4.9 การสลับตำแหน่งที่ 4 กับตำแหน่งที่ 2 จากตัวอย่างที่ 3 48
4.10 แสดงการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 4 49
4.11แสดงการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 3
และตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 5 50
4.12 การสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 6 52
4.13 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 4 สลับกับตำแหน่งที่ 2
และตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 7 53
4.14 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 8 54
4.15 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 4 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 9 55
4.16 แสดงหน้า Output 55
4.17 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม 56
4.18 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง 56
4.19 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนรถของแต่ละประเภท 57
4.20 แสดงหน้ายืนยันการกรอกข้อมูล 57
4.21 แสดงหน้า InputTable 58
4.22 แสดงหน้าต่าง ILS Algorithms 58
4.23 แสดงหน้า Worksheet ILS 59
4.24 แสดงผลลัพธ์ในการค้นหาคำตอบ 60
4.25 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 61
4.26 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 1 61
4.27 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 62
4.28 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1 62
4.29 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 63
4.30 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 2 64
4.31 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.32 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2 65
4.33 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 66
4.34 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 1 66
4.35 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 67
4.36 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 1 67
4.37 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 68
4.38 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 2 69
4.39 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 69
4.40 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 2 70
4.41 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 71
4.42 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 1 71
4.43 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 72
4.44 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 73
4.45 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 74
4.46 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 2 74
4.47 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 75
4.48 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 75
4.49 กราฟแสดง Convergence วิธี ILS 85

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันธุรกิจต่างๆ ให้ความสำคัญต่อการบริการลูกค้ามากยิ่งขึ้น โดยเฉพาะในด้านการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างรวดเร็ว ทำให้เกิดการขยายตัวของเครือข่ายด้านการขนส่ง แต่ละบริษัทต่างต้องการเป็นผู้ที่ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าให้ได้มากที่สุด และตรงเวลามากที่สุด ดังนั้น บริษัทจะต้องมีกลยุทธ์ในการแข่งขันที่เหมาะสมไม่ว่าจะเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะซึ่งเป็นกลยุทธ์ที่มีความสำคัญ ถ้าบริษัทไม่มีการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่ดีพอ อาจทำให้การจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะมีระยะทางไกล หรือใช้จำนวนเที่ยวรถขนส่งสินค้ามากเกินกว่าที่ควรจะเป็นทำให้ต้นทุนการขนส่งมากตามไปด้วย

การจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่ดี และมีประสิทธิภาพ จะทำให้สามารถลดระยะทางในการขนส่ง และลดจำนวนรอบในการวิ่งส่งสินค้าได้ ซึ่งมีผลทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลง และส่งผลให้บริษัทเพิ่มความสามารถในการแข่งขันได้มากขึ้น ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) เป็นปัญหาที่สำคัญในการจัดการด้านโลจิสติกส์อย่างหนึ่ง ที่มุ่งเน้นการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะสำหรับเคลื่อนย้ายสินค้าไปยังลูกค้าหรือผู้บริโภค ให้มีประสิทธิภาพสูงสุดภายใต้เงื่อนไขแหล่งที่เป็นศูนย์กระจายสินค้า และจุดที่เป็นแหล่งลูกค้ามีหลายแห่งซึ่งอยู่ในสถานที่ต่างกัน ความจุของยานพาหนะที่จำกัด ระยะเวลาที่จำกัด หรือมีเงื่อนไขอื่นๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เพราะเหตุนี้จึงได้นำวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ (Iterated Local Search : ILS) มาใช้ในการหาระยะทาง เพื่อจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ

ลักษณะการขนส่งสินค้าในสมัยก่อนๆ ศูนย์กระจายสินค้าจะทราบค่าข้อมูลของลูกค้าที่จะให้บริการล่วงหน้า ทั้งตำแหน่งในการส่งสินค้า ปริมาณความต้องการ เวลาในการรับสินค้า จากนั้นศูนย์กระจายสินค้าจะมาวางแผนในการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะให้มีค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดตามเงื่อนไขต่างๆ ที่กำหนดไว้ แต่ในปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านสารสนเทศได้เข้ามามีบทบาทในด้านการขนส่ง ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้เทคโนโลยีด้านสารสนเทศเพื่อให้เกิดประโยชน์ในลักษณะที่มีการติดต่อระหว่างลูกค้ากับศูนย์กระจายสินค้า คือ มีการรับสินค้าจากลูกค้าเพิ่มเข้าจากข้อมูลเดิมที่ทราบล่วงหน้าอยู่แล้วหลังจากที่ได้ดำเนินการขนส่งไปแล้ว ซึ่งการรับสินค้าจากลูกค้าเข้ามาจะมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา จากข้อมูลของลูกค้าที่รับเข้ามาใหม่ จะทำให้มีการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่ประหยัดที่สุด การจัดตารางเดินรถ จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสาระสนเทศเหล่านี้เข้ากับการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ สามารถทำให้ติดต่อกับลูกค้าได้ทันที ทำให้ศูนย์กระจายสินค้าตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้ทันท่วงที จากการประยุกต์ใช้เทคโนโลยีสารสนเทศการสื่อสารเข้ามาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ ทำให้

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบเดิมพัฒนาเป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

1.2.1 เพื่อประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำในปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

1.2.2 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP) บน Microsoft Excel โดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมที่สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยการประยุกต์ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปใช้แก้ปัญหาจัดเส้นทางของยานพาหนะแบบพลวัตในการขนส่งสินค้าเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดไว้ได้

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

ศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุ โดยมีข้อตกลงเบื้องต้น ดังนี้

1.5.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต ที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Variable Cost) และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา (Penalty Cost)

1.5.2 รายละเอียดของลูกค้า ประกอบด้วย ตำแหน่งของลูกค้า ปริมาณความต้องการของลูกค้า กรอบเวลาในการรับสินค้า (จะรู้ล่วงหน้าเพียงบางราย และจะทยอยเข้ามาเมื่อกำลังดำเนินการส่ง)

1.5.3 ปริมาณความต้องการของลูกค้าจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ

1.5.4 มีศูนย์กระจายสินค้าสินค้าเพียงแห่งเดียว และมีสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด

1.5.5 ยานพาหนะทุกคันจอดอยู่ที่ศูนย์กระจายสินค้า และยานพาหนะจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

1.5.6 ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากศูนย์กระจายสินค้าในเวลาเริ่มต้นของวันทำงาน และจะกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้าสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ

1.5.7 เมื่อยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปแล้ว เมื่อมีการสั่งของจากลูกค้าใหม่เข้ามา ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องกลับไปที่คลังสินค้า เพื่อบรรทุกสินค้าเพิ่ม แต่ยานพาหนะสามารถพิจารณาให้บริการสินค้าใหม่โดยใช้สินค้าที่บรรจุอยู่บนรถได้เลย

1.5.8 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายมีความสมมาตรกัน

1.5.9 เวลาที่ใช้สำหรับขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีค่าเท่ากัน

1.5.10 ไม่คำนึงถึงเรื่องการจัดวางสินค้า และสินค้าจะไม่ได้รับความเสียหายขณะขนส่ง

1.5.11 ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าก่อนเวลาการรับสินค้า ยานพาหนะจำเป็นต้องรอคอยให้ถึงช่วงเริ่มต้นของกรอบเวลาลูกค้ารายนั้นก่อนจึงจะสามารถส่งของได้

1.5.12 ถ้าหากยานพาหนะไปส่งของถึงลูกค้าเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะสามารถรับสินค้าได้ (ในกรณีนี้จะมีค่าปรับจะไม่แปรผันตามเวลา)

1.5.13 ยานพาหนะในการขนส่งสินค้ามี 3 ขนาด และมีจำนวนไม่จำกัด

1.5.14 ใช้ภาษา Visual Basic for Application : VBA บน Microsoft Excel ในการเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

1.5.15 วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ในการพัฒนาคำตอบ และหาคำตอบเฉพาะที่ จะใช้วิธีในการค้นหาคำตอบอย่างน้อย 2 วิธี

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

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

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1	ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ	←	—	→						
1.8.2	ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต		←	—	→					
1.8.3	ศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ		←	—	—	→				
1.8.4	ศึกษาหลักการและทฤษฎีของภาษา Visual Basic for Application : VBA				←	—	→			
1.8.5	เขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำลงบนคอมพิวเตอร์					←	—	→		
1.8.6	ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม						←	—	→	
1.8.7	ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำเพื่อค้นหาคำตอบกับปัญหาที่ทดสอบ						←	—	—	→
1.8.8	สรุปผลการดำเนินโครงงาน								←	— →

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problems : VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ เป็นปัญหาด้านการขนส่ง และเป็นโลจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า 40 ปี และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลายโดยมีการเพิ่มเงื่อนไข และข้อจำกัดต่างๆ ทำให้ปัญหา VRP ได้รับความนิยม และมีการพัฒนาจนมีความหลากหลายมากขึ้นตามไปด้วย ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งอาจจะมองว่าเป็นการต่อยอดมาจากการหาทำเลที่ตั้งที่เหมาะสม เมื่อจัดงาน และมอบหมายลูกค้าเรียบร้อยแล้ว จากนั้นมาพิจารณาจัดเส้นทางที่เหมาะสมตามศักยภาพของรถอีกครั้งหนึ่งว่าควรจะขนสินค้าขึ้นรถจำนวนเท่าไหร่ รถคันนั้นจะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าใดบ้าง ใช้เส้นทางใด หรือถ้าจะมองว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งมีลักษณะคล้ายปัญหาการเดินทางของพนักงานขายก็พิจารณาได้เช่นกัน เมื่อจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย พนักงานขายนำรถขนสินค้าไปด้วย หากสินค้าหมดพนักงานขายก็จะต้องเดินทางกลับมาที่เมืองเริ่มต้นที่มีสินค้าอยู่ และไปส่งสินค้าที่เหลือ ก็จะเกิดปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเช่นเดียวกัน (ระพีพันธ์ และฐิตินนท์, 2555)

2.2 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ

รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ มีการแบ่งตามลักษณะต่างๆ ดังนี้

2.2.1 ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า

2.2.1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน (Deterministic Demand) โดยมีการเก็บข้อมูล อาจจะเป็นความต้องการที่แน่นอนโดยมีการสั่งสินค้าก่อนแล้วจัดเส้นทางการขนส่ง หรือทำการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ย หรือค่าทางสถิติอย่างใดอย่างหนึ่ง

2.2.1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่แน่นอน (Stochastic Demand) ในกลุ่มนี้จะทราบความต้องการของลูกค้าแต่ไม่แน่นอน ซึ่งทำให้ต้องใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาที่ต่างออกไปจากข้อ 2.2.1.1

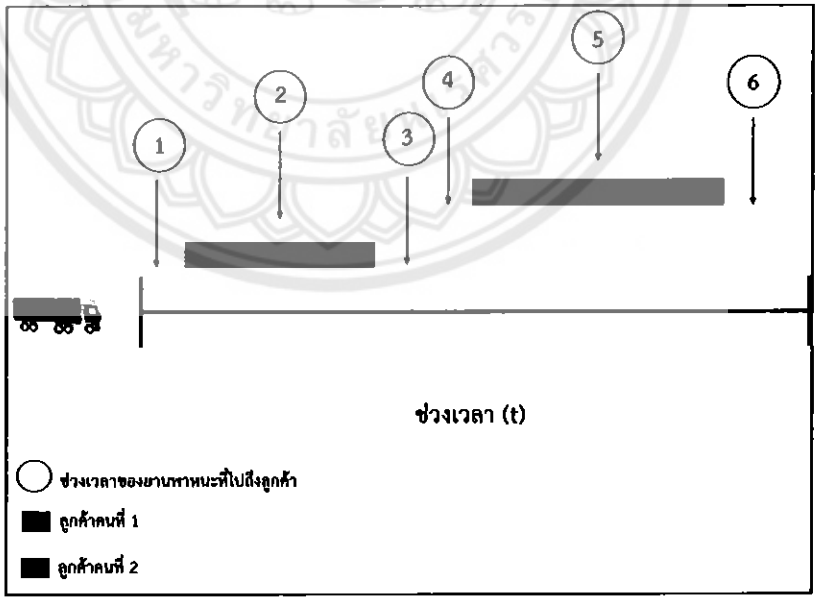
2.2.1.3 ไม่ทราบค่าความต้องการของลูกค้า ซึ่งเป็นความต้องการที่ไม่ทราบค่าขณะวางแผนแต่ทราบเมื่อไปถึงลูกค้า

2.2.2 ตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows)

ตามข้อจำกัดด้านเวลา เป็นข้อจำกัดที่มีความสำคัญกับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ เนื่องจากบางครั้งเวลาให้บริการลูกค้า หรือเวลาในการเดินทางจะมีผลต่อเส้นทางที่ได้จากการจัดด้วยวิธีการต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังนี้

2.2.2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows) ในกลุ่มนี้จะไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาต่างๆ โดยจะทำการจัดเฉพาะเส้นทางการขนส่งสำหลับยานพาหนะเพียงอย่างเดียว

2.2.2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows) ในกลุ่มนี้จะมีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนัก สามารถส่งสินค้าช้า หรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านเวลานี้จะมีผลต่อการจัดเส้นทาง ตัวอย่างเช่น เมื่อรถขนส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปตามเส้นทางการขนส่งที่กำหนดไว้แล้ว หากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 1 และ 4 แสดงว่า รถมาถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด รถขนส่งสินค้าต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาจึงสามารถขนถ่ายสินค้าลงได้ หรือขนถ่ายสินค้าลงได้เลยหากลูกค้าต้องการ หากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 2 และ 5 แสดงว่า รถมาถึงในช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนด สามารถขนถ่ายสินค้าลงได้เลย แต่ถ้าหากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 3 และ 6 แสดงว่า รถมาถึงหลังจากช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนด สามารถขนถ่ายสินค้าลงได้ แต่ต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า เนื่องจากทำให้ลูกค้าเสียเวลาในการรอสินค้า แสดงดังรูปที่ 2.1



รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ
โดยมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด

2.2.2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Hard Time Windows) ในกลุ่มนี้การจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะจะคำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทาง และระยะเวลาในการให้บริการอย่างเคร่งครัด หากเดินทางผิดเวลา หรือไปถึงลูกค้าผิดเวลาจะทำให้เส้นทางนั้นเป็นเส้นทางที่ไม่ถูกต้อง ตัวอย่างเช่น เมื่อรถขนส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปตามเส้นทางการขนส่งที่กำหนดไว้แล้ว แสดงดังรูปที่ 2.1 หากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 1 และ 4 แสดงว่า รถมาถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด รถขนส่งสินค้าต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาจึงสามารถขนถ่ายสินค้าลงได้ หากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 2 และ 5 แสดงว่า รถมาถึงในช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนด สามารถขนถ่ายสินค้าลงได้เลย แต่ถ้าหากรถขนส่งสินค้าเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าคนที่ 2 ในช่วงเวลาที่ 3 และ 6 แสดงว่า รถมาถึงหลังจากช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะปฏิเสธสินค้าครั้งนี้ทันที เนื่องจากทำให้ลูกค้าเสียเวลาในการรอคอยสินค้า

2.2.2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัด และไม่เคร่งครัด (Mixed) ในกลุ่มนี้จะมีลูกค้าทั้งที่เคร่งครัดเรื่องเวลาที่มาถึงของรถบรรทุกหรือเวลาในการให้บริการ และไม่เคร่งครัดเรื่องเวลาในปัญหาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การดำเนินการด้วยวิธีการต่างๆ มีความแตกต่างกันออกไปและมีผลต่อการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ ตัวอย่างเช่น ลูกค้าคนที่ 1 มีการกำหนดเวลาอย่างเคร่งครัดในการมาถึงของรถขนส่งสินค้าและการขนถ่ายสินค้าลง หากรถขนส่งสินค้ามาก่อนเวลาจะต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด แต่ถ้าหากรถขนส่งสินค้ามาหลังเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะปฏิเสธสินค้าชุดนี้ทันที ลูกค้าคนที่ 2 ไม่เคร่งครัดเรื่องเวลา คือ รถขนส่งสินค้าจะไปถึงก่อนเวลาหรือหลังเวลาที่ลูกค้ากำหนดก็ได้ แต่หากมาหลังเวลาที่ลูกค้ากำหนด ต้องเสียค่าปรับให้กับลูกค้าที่ต้องเสียเวลาด้วย

2.2.3 ตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizons)

ตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง จะเน้นการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบครั้งเดียวในการวางแผนหนึ่งครั้ง เช่น การเดินทางส่งสินค้าทุกวันจะเดินทางด้วยเส้นทางเดียวกัน เป็นต้น และการจัดแบบหลายครั้ง เช่น วางแผนเป็นเดือน หรือปีโดยในแต่ละวันอาจจะมีการเดินทางที่ไม่เหมือนกัน เป็นต้น

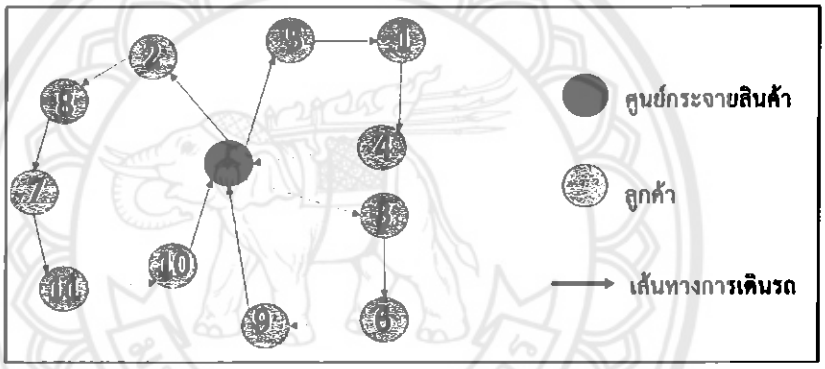
2.2.3.1 แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) ในกลุ่มนี้จะวางแผนครั้งเดียว โดยพิจารณาในช่วงเวลาเดียว

2.2.3.2 แบบหลายคาบเวลา (Multi Period) ในกลุ่มนี้เป็นการวางแผนแบบหลายคาบเวลาและมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา

2.2.4 ตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้า (Number of Origin Points)

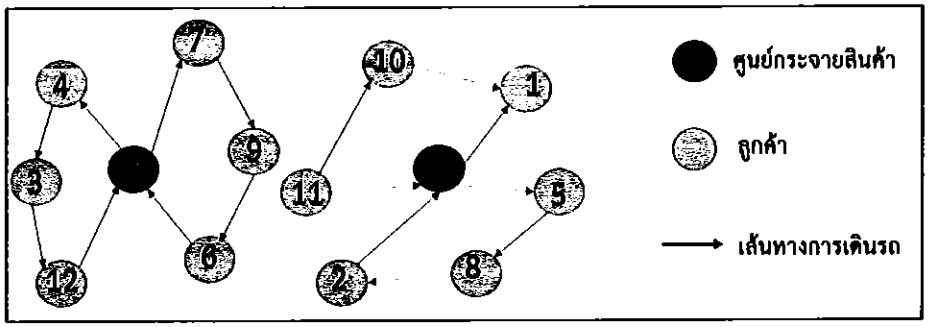
ตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้า ที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางที่แตกต่างกันไป การวางแผนการจัดเส้นทางบางครั้งอาจจะมีศูนย์กระจายสินค้าเดียว บางครั้งจะต้องวางแผนให้กับศูนย์กระจายสินค้าหลายจุดไปพร้อมๆ กัน สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้าได้ ดังนี้

2.2.4.1 มีศูนย์กระจายสินค้าเดียว (Single Origin or Depot) ในกลุ่มนี้การเริ่มต้นของทุกเส้นทางจะเริ่มต้นจากจุดกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว ตัวอย่างเช่น การจัดเส้นทางการขนส่งที่มีศูนย์กระจายสินค้าเดียว เส้นทางการขนส่งเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าหนึ่ง จากนั้นเดินทางเป็น 3 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 5, 1 และ 4 เส้นทางที่ 2 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 3, 6 และ 9 เส้นทางที่ 3 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 2, 8, 7, 11 และ 10 โดยที่ทุกเส้นทางจะต้องกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าเดียว

2.2.4.2 มีศูนย์กระจายสินค้าหลายจุด (Multiple Origin or Depot) ในกลุ่มนี้จะต้องวางแผนให้มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง โดยทำการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กัน ตัวอย่างเช่น การจัดเส้นทางการขนส่งที่มีจุดเริ่มต้นหลายจุด เส้นทางการขนส่งเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าที่ 1 เดินทางเป็น 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 7, 9 และ 6 และเส้นทางที่ 2 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 4, 3 และ 12 เส้นทางการขนส่งเริ่มจากศูนย์กระจายสินค้าที่ 2 เดินทางเป็น 2 เส้นทาง เส้นทางที่ 1 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 5, 8 และ 2 และเส้นทางที่ 2 จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 1, 10 และ 11 โดยที่ทุกเส้นทางจะต้องกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า แสดงดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะที่มีศูนย์กระจายสินค้าหลายจุด

2.3 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ

ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ บริษัทแห่งหนึ่งต้องการใช้ยานพาหนะจำนวน 3 คัน ยานพาหนะแต่ละคันมีความจุไม่เท่ากัน คือ 25, 30 และ 35 ตัน ตามลำดับ เดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า 7 ราย ซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าต่างกัน คือ 10, 9, 6, 10, 15, 10 และ 10 ตัน ตามลำดับ ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย แสดงดังตารางที่ 2.1 ลูกค้าแต่ละรายมีข้อจำกัดด้านเวลาแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.2 และเวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย แสดงดังตารางที่ 2.3 เมื่อ 0 คือ ศูนย์กระจายสินค้า โดยที่บริษัทแห่งนี้ออกแบบการเดินทางสำหรับยานพาหนะ 3 คัน 2 เส้นทางด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 2.4 และ 2.5

ตารางที่ 2.1 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย

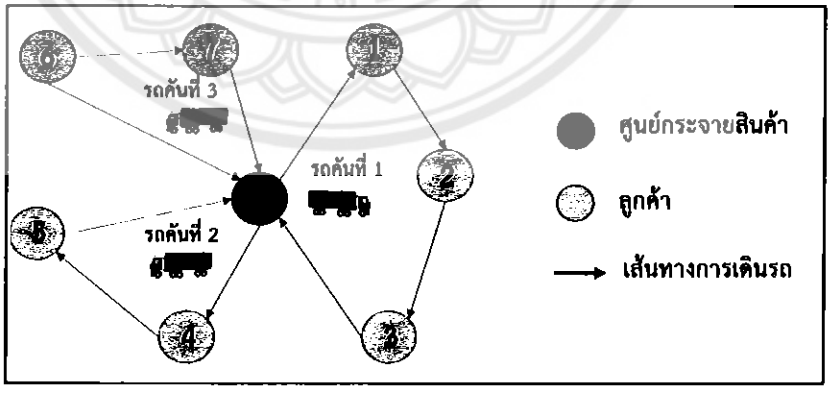
i/j	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	56	30	55	41	95	40	34
1	56	-	25	64	23	74	64	20
2	30	25	-	73	50	48	78	60
3	55	64	73	-	18	37	80	60
4	41	23	50	18	-	65	94	68
5	95	74	48	37	65	-	80	75
6	40	64	78	80	94	80	-	45
7	34	20	60	60	68	75	45	-

ตารางที่ 2.2 ข้อจำกัดทางด้านเวลาของลูกค้าแต่ละราย

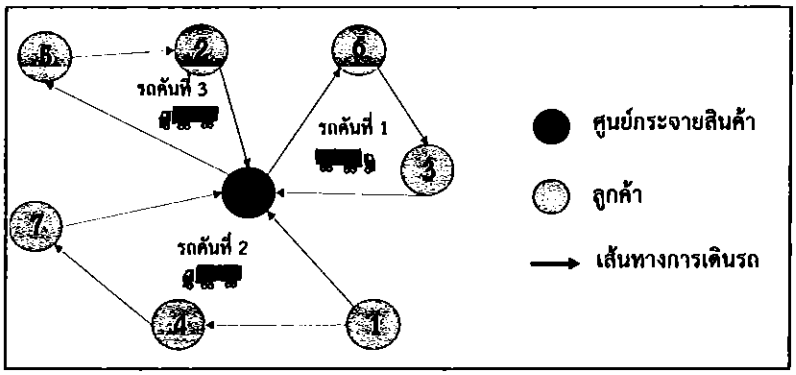
ลูกค้า	ข้อจำกัดด้านเวลา	เวลาขนถ่ายสินค้า (นาที)
1	09.00-09.50 นาฬิกา	40
2	ไม่เคร่งครัด	40
3	ไม่เคร่งครัด	40
4	12.00-13.00 นาฬิกา	40
5	14.00-15.00 นาฬิกา	40
6	ไม่เคร่งครัด	40
7	14.40-15.30 นาฬิกา	40

ตารางที่ 2.3 เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7
0	-	2	1	2	1	2	3	3
1	2	-	3	3	1	3	1	3
2	1	3	-	1	1	2	2	2
3	2	3	1	-	2	1	2	2
4	1	1	1	2	-	1	3	1
5	2	3	2	1	1	-	1	1
6	3	1	2	2	3	1	-	1
7	3	3	2	2	1	1	1	-



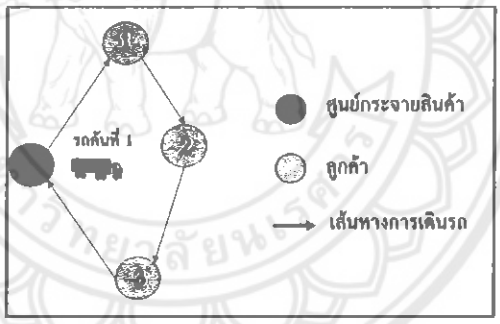
รูปที่ 2.4 การเดินทางของยานพาหนะเส้นทางที่ 1



รูปที่ 2.5 การเดินทางของยานพาหนะเส้นทางที่ 2

กำหนดให้ ในการส่งสินค้าแต่ละครั้งหากยานพาหนะไปหลังเวลาที่กำหนด จะต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า 1,000 บาท/ชั่วโมง ยานพาหนะจะเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า 10 บาท/กิโลเมตร และยานพาหนะแต่ละคันเริ่มออกจาศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกัน คือ 08.00 นาฬิกา

จงหา เส้นทางการเดินทางของยานพาหนะที่สั้นที่สุด และมีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ควรเลือกใช้ยานพาหนะคันที่ 1 เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 ในเส้นทางที่ 1

ยานพาหนะคันที่ 1 เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-1-2-3-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 56+25+73+55=209 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 209×10=2,090 บาท

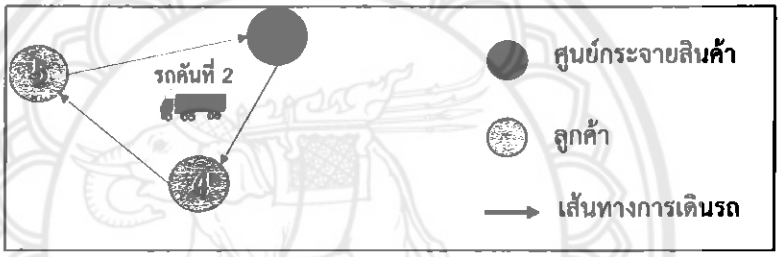
ยานพาหนะออกจาศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้ เวลา 2 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 1 กำหนด คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 09.00-09.50 นาฬิกา แต่ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 10.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงหลังเวลาที่ลูกค้ากำหนด ทำให้เสียค่าปรับและใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที ดังนั้น ค่าปรับที่ต้องเสียให้กับลูกค้าเท่ากับ 1000×((10/60)+(40/60))=833 บาท

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 1 เวลา 10.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 2 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 2 เวลา 13.40 นาฬิกา และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 2 เวลา 13.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 3 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 3 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 3 เวลา 14.20 นาฬิกา ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 3 เวลา 15.00 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 17.00 นาฬิกา

ยานพาหนะคันที่ 2 เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 ในเส้นทางที่ 1

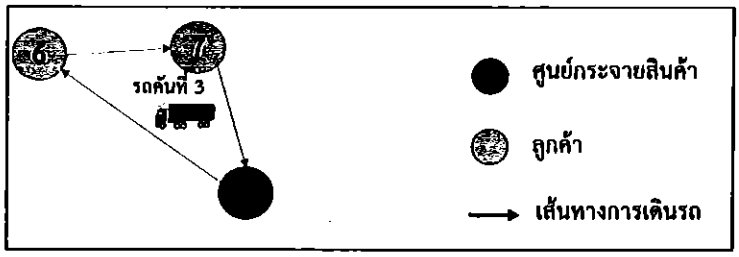
ยานพาหนะคันที่ 2 เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-4-5-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 41+65+80=201 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 201×10=2,010 บาท

ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 4 จะใช้ระยะเวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 4 กำหนด คือ ต้องขนส่งสินค้าภายในเวลา 12.00-13.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนดยานพาหนะจะต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 09.00 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 4 เวลา 12.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 5 คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 14.00-15.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด ยานพาหนะจะต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 13.40 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 5 เวลา 14.20 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้า ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 16.20 นาฬิกา

ยานพาหนะคันที่ 3 เส้นทางที่ 1 เส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3 ในเส้นทางที่ 1

ยานพาหนะคันที่ 3 เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-6-7-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 40+45+34=119 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 119×10=1,190 บาท

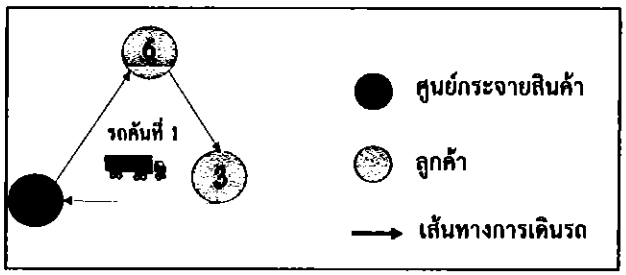
ยานพาหนะออกจาศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 6 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 6 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 6 เวลา 11.00 นาฬิกา และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 6 เวลา 11.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 7 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 7 คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 14.40-15.30 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 12.40 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 7 เวลา 15.20 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้า ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 18.20 นาฬิกา

ดังนั้น ระยะทางรวมของเส้นทางที่ 1 เท่ากับ 209+201+119=529 กิโลเมตร และค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางทั้งหมดเท่ากับ 2,090+2,010+1,190+833=6,123 บาท

ยานพาหนะคันที่ 1 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 ในเส้นทางที่ 2

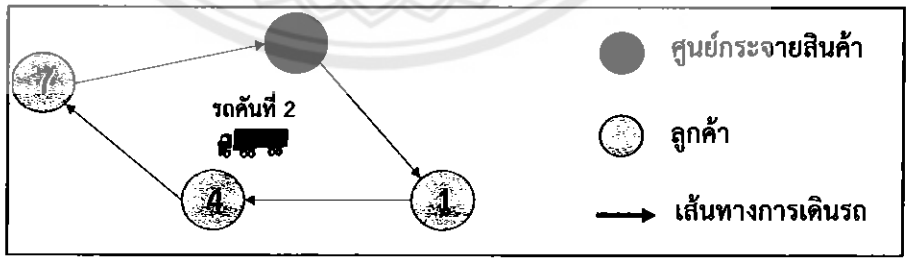
ยานพาหนะคันที่ 1 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-6-3-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 40+80+55=175 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 175×10=1,750 บาท

ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 6 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 6 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 6 เวลา 11.00 นาฬิกา และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 6 เวลา 11.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 3 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 3 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 3 เวลา 13.40 นาฬิกา ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 3 เวลา 14.20 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 16.20 นาฬิกา

ยานพาหนะคันที่ 2 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 ในเส้นทางที่ 2

ยานพาหนะคันที่ 2 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-1-4-7-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 56+23+68+34=181 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการเท่ากับ 181×10=1,810 บาท

ยานพาหนะออกจาศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 1 กำหนด คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา

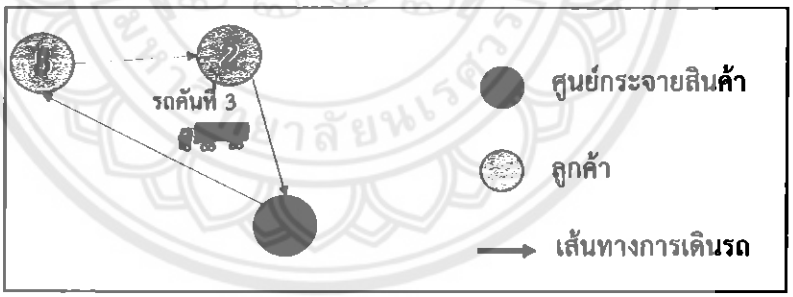
10.00-10.40 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 10.00 นาฬิกา ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงหลังเวลาที่ลูกค้ากำหนด ทำให้ศูนย์กระจายต้องเสียค่าปรับ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที ค่าปรับที่ต้องเสียเท่ากับ 1000×((10/60)+(40/60))=833 บาท

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 1 เวลา 10.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 4 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 4 กำหนด คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 12.00-13.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด ยานพาหนะจะต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 11.40 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 4 เวลา 13.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 7 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 7 คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 14.40-15.30 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 14.40 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 7 เวลา 15.20 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้า ใช้เวลา 3 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 18.20 นาฬิกา

ยานพาหนะคันที่ 3 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง แสดงดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3 ในเส้นทางที่ 2

ยานพาหนะคันที่ 3 เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-5-2-0 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 95+48+30=199 กิโลเมตร เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 199×10=1,990 บาท

ยานพาหนะออกจาศูนย์กระจายสินค้าเวลา 08.00 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 5 คือ ต้องส่งสินค้าภายในเวลา 14.00-15.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด ยานพาหนะจะต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ คือ ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลา 10.00 นาฬิกา ดังนั้น ศูนย์กระจายสินค้าจะไม่เสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 5 เวลา 15.40 นาฬิกา เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ข้อจำกัดด้านเวลาที่ลูกค้าคนที่ 2 คือ ไม่เคร่งครัด แสดงว่า ยานพาหนะไปถึงลูกค้าที่เวลาใดก็ได้ ดังนั้น ยานพาหนะจะไปถึงลูกค้ารายที่ 2 เวลา 17.40 นาฬิกา และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 40 นาที

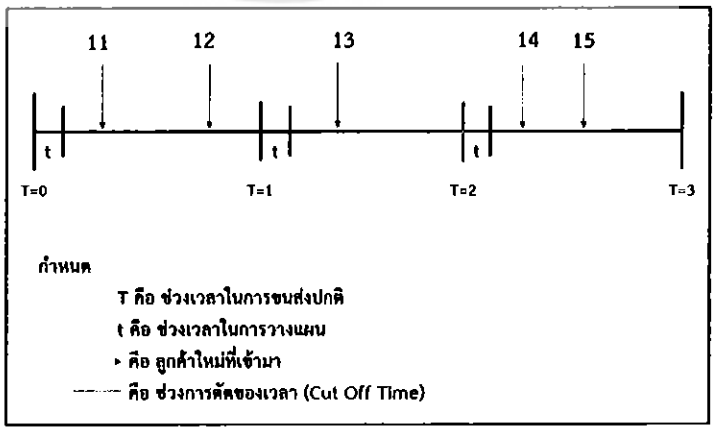
ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 7 เวลา 18.20 นาฬิกา แล้วกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 1 ชั่วโมง ดังนั้น จะไปถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 19.20 นาฬิกา

ดังนั้น ระยะทางรวมของเส้นทางที่ 2 เท่ากับ 175+181+199=555 กิโลเมตร และค่าใช้จ่ายรวมในการเดินทางทั้งหมดเท่ากับ 1,750+1,810+1,990+833=6,383 บาท

สรุป จากการที่ศูนย์กระจายสินค้าได้ออกแบบเส้นทางไว้ 2 เส้นทาง พบว่า เส้นทางที่ 1 มีระยะทางรวมน้อยกว่าเส้นทางที่ 2 เท่ากับ 555-529=26 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 1 มีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยกว่าเส้นทางที่ 2 เท่ากับ 6,3830-6,123=260 บาท แสดงว่า เส้นทางที่ 1 เป็นเส้นทางที่ศูนย์กระจายสินค้าเลือกใช้ เพราะมีระยะทางรวมน้อยที่สุด และค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด ซึ่งประหยัดระยะทางได้ 26 กิโลเมตร และประหยัดค่าใช้จ่ายได้ 260 บาท

2.4 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัติ (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัติ ความแตกต่างระหว่าง VRP คือ เงื่อนไขของการมาถึงของการสั่งของของลูกค้า โดย วิธี VRP ต้องทราบข้อมูลที่แน่นอน เช่น จำนวนลูกค้า ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าต้องการ และจำนวนรถ เป็นต้น ส่วน DVRP เป็นการจัดเส้นทางการขนส่งเช่นเดียวกับวิธี VRP แต่ในระหว่างของการขนส่งนั้นมีลูกค้ารายอื่นสั่งสินค้าเข้ามา จึงต้องทำการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ โดยรวมเส้นทางของลูกค้าที่เข้ามาใหม่เข้ามาด้วย ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต แสดงดังรูปที่ 2.12



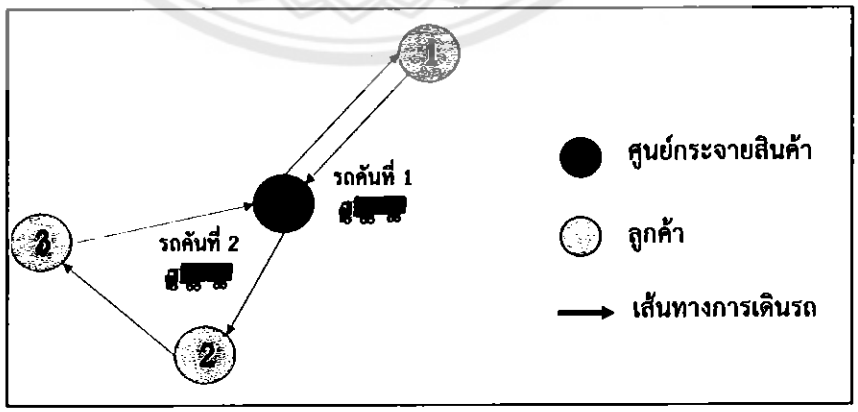
รูปที่ 2.12 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

จากรูปที่ 2.12 อธิบายได้ว่า การจัดเส้นทางการขนส่งแบบช่วงเวลาปกติ (T) แต่ละช่วงจะมีช่วงเวลาในการวางแผน (t) เพื่อใช้ในการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น ที่ช่วงเวลาการขนส่งสินค้าจาก T=0 ถึง T=1 จะมีช่วงเวลาของการวางแผน (t) ก่อนส่งสินค้าและทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงช่วงเวลาในการตัดรอบของเวลา (Cut Off Time) หากมีลูกค้าใหม่สั่งสินค้าเลยช่างเวลานี้ไป ศูนย์กระจายสินค้าจะรับลูกค้าไว้แต่จะทำการส่งของให้ในวันถัดไปแทน

2.5 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต ศูนย์กระจายสินค้าแห่งหนึ่งต้องการใช้ยานพาหนะจำนวน 2 คัน ซึ่งยานพาหนะแต่ละคันมีข้อจำกัด แสดงดังตาราง 2.4 เดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า 3 ราย ซึ่งลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้าต่างกัน คือ 2, 5 และ 3 ตัน โดยมีลูกค้าใหม่เพิ่มเข้ามา คือ ลูกค้ารายที่ 4 และ 5 โดยมีความต้องการ คือ 2 และ 1 ตัน ซึ่ง 0 คือ ศูนย์กระจายสินค้า จงหาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะที่มีค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ควรเลือกใช้ โดยที่ศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ออกแบบการเดินทางสำหรับยานพาหนะ 3 คัน แสดงดังรูปที่ 2.13 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว แสดงดังตารางที่ 2.5 ลูกค้าแต่ละรายมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัดแตกต่างกัน แสดงดังตารางที่ 2.6 โดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว และเวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว แสดงดังตารางที่ 2.7

กำหนดให้ ยานพาหนะแต่ละคันเริ่มออกจาศูนย์กระจายสินค้าพร้อมกัน คือ 08.00 นาฬิกา มีลูกค้าใหม่ คือ ลูกค้ารายที่ 4 และ 5 เข้ามาระหว่างการขนส่งสินค้าของยานพาหนะ 2 คัน สั่งสินค้าที่เวลาเดียวกันคือ ลูกค้ารายที่ 4 สั่งสินค้าที่เวลา 08.30 นาฬิกา และลูกค้ารายที่ 5 สั่งสินค้าที่เวลา 08.50 นาฬิกา



รูปที่ 2.13 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ

ตารางที่ 2.4 ข้อจำกัดของยานพาหนะ

ยานพาหนะ	จำนวน (คัน)	ความจุ (ตัน)	ค่าใช้จ่ายแต่ละครั้ง (บาท)	ค่าน้ำมัน (บาทต่อกิโลเมตร)	ค่าปรับ (บาทต่อกิโลเมตร)
1	1	10	30	4	10
2	1	15	50	2	

ตารางที่ 2.5 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว

i/j	0	1	2	3	4	5
0	-	20	10	15	13	22
1	20	-	25	12	23	30
2	10	25	-	13	10	18
3	15	12	13	-	18	27
4	13	23	10	18	-	15
5	22	30	18	27	15	-

ตารางที่ 2.6 ข้อจำกัดทางด้านเวลาของลูกค้าแต่ละรายโดยรวมลูกค้าที่เข้ามาใหม่แล้ว

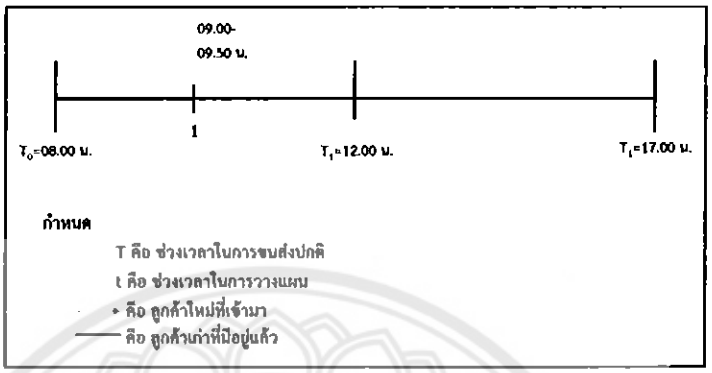
ลูกค้า	ข้อจำกัดด้านเวลา	เวลาขนถ่ายสินค้า (นาที)
1	09.00-09.50 นาฬิกา	20
2	10.00-11.00 นาฬิกา	30
3	14.00-15.00 นาฬิกา	20
4	12.00-13.00 นาฬิกา	30
5	15.50-17.00 นาฬิกา	10

ตารางที่ 2.7 เวลาในการส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย

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

กรณี ยังไม่มีลูกค้าใหม่สั่งเข้ามา

ยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-1-0 แสดงดังรูปที่ 2.14 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 20+20=40 กิโลเมตร เนื่องจากในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1 ต้องเสียค่าใช้จ่าย 30 บาท และค่าน้ำมัน 4 บาท/กิโลเมตร ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 40×30×4=4,800 บาท



รูปที่ 2.14 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี ยังไม่มีลูกค้าใหม่สั่งเข้ามา

ยานพาหนะคันที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง คือ 0-2-3-0 แสดงดังรูปที่ 2.15 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 10+13+15=38 กิโลเมตร เนื่องจากในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1 ต้องเสียค่าใช้จ่าย 50 บาท และค้าน้ำมัน 2 บาท/กิโลเมตร ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 38×50×2=3,800 บาท

รูปที่ 2.15 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 กรณี ยังไม่มีลูกค้าใหม่สั่งเข้ามา

หาค่าปรับในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1

ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าที่เวลา 08.00 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 1 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 1 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 09.00-09.50 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึง

ลูกค้ารายที่ 1 ที่เวลา 10.00 นาฬิกา ซึ่งเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 20 นาที ทำให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้าเท่ากับ 10×((10/60)+(20/60))=5 บาท

ยานพาหนะออกจากลูกค้าคนที่ 1 ที่เวลา 10.20 นาฬิกา ไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงศูนย์กระจายสินค้า ที่เวลา 12.20 นาฬิกา

หาค่าปรับในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 2

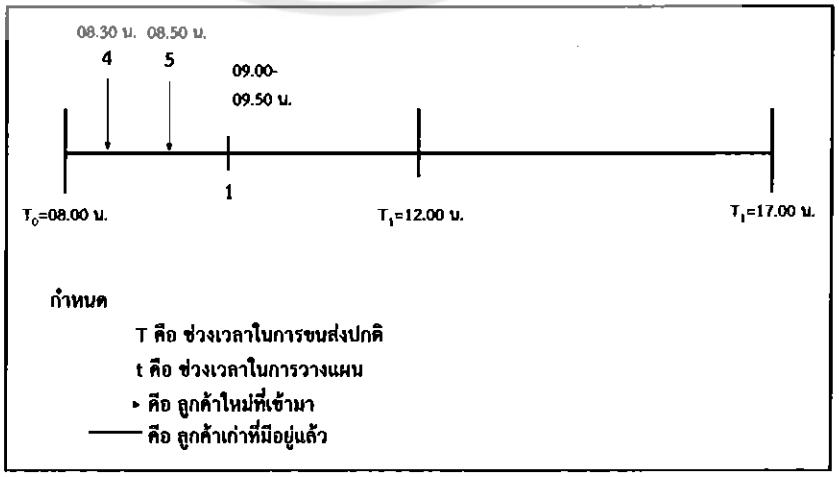
ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าที่เวลา 08.00 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 2 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 10.00-11.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 2 ที่เวลา 09.00 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 30 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 2 ที่เวลา 10.30 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 3 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 3 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 14.00-15.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 3 ที่เวลา 11.30 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 20 นาที

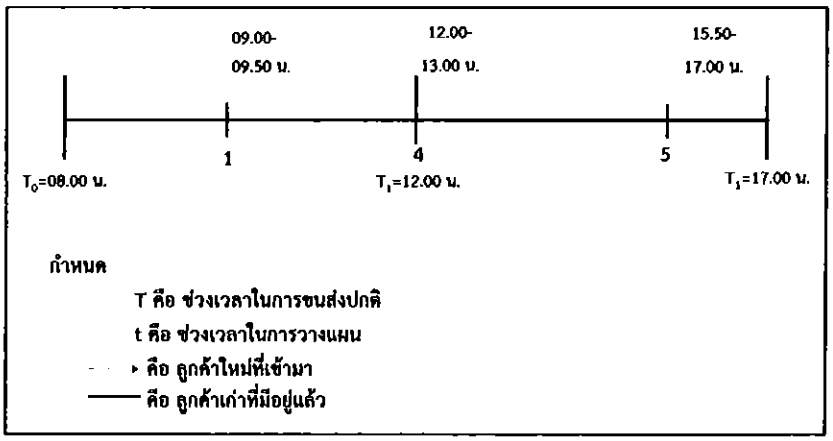
ยานพาหนะออกจากลูกค้าคนที่ 3 ที่เวลา 14.20 นาฬิกา ไปยังศูนย์กระจายสินค้า ใช้เวลา 2 ชั่วโมง แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงศูนย์กระจายสินค้า ที่เวลา 16.20 นาฬิกา

กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว

ยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทางการขนส่งเดิม คือ 0-1-0 แสดงดังรูปที่ 2.14 ในขณะที่กำลังทำการส่งสินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 1 นั้น มีลูกค้าใหม่สั่งสินค้าเข้ามา แสดงดังรูปที่ 2.16 ทำให้ต้องทำการวางแผนใหม่ ดังนั้น สำหรับเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทางการขนส่งใหม่ คือ 0-1-4-5-0 แสดงดังรูปที่ 2.17 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 20+23+15+22=80 กิโลเมตร เนื่องจากในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1 ต้องเสียค่าใช้จ่าย 30 บาท และค่าน้ำมัน 4 บาท/กิโลเมตร ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 80×30×4=9,600 บาท

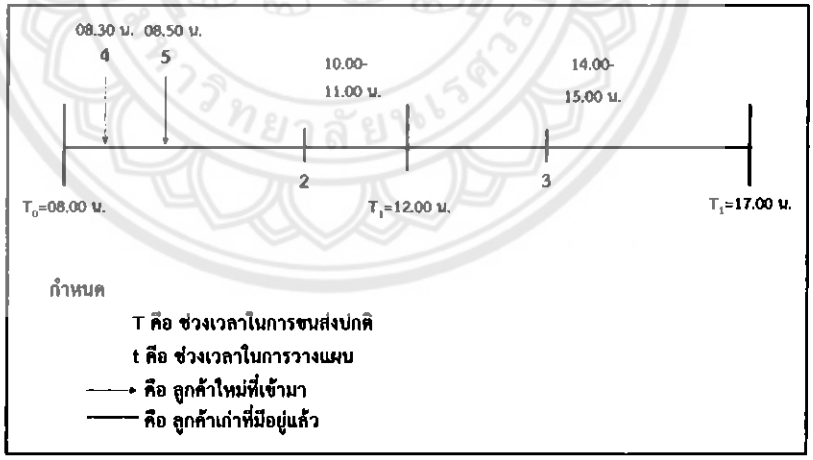


รูปที่ 2.16 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามา

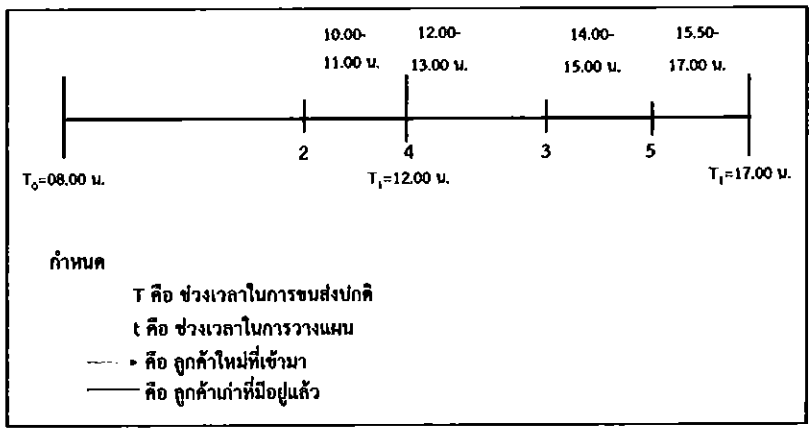


รูปที่ 2.17 เส้นทางการขนส่งใหม่ของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่**สั่งของเข้ามาแล้ว**

ยานพาหนะคันที่ 2 มีเส้นทางการขนส่งเดิม คือ 0-2-3-0 แสดงดังรูปที่ 2.15 **ในขณะที่กำลังทำการส่ง**สินค้าไปยังลูกค้าคนที่ 2 นั้น มีลูกค้าใหม่สั่งสินค้าเข้ามา แสดงดังรูปที่ 2.18 **ทำให้ต้องทำการวางแผนใหม่** ดังนั้น สำหรับเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทาง**การขนส่งใหม่ คือ** 0-2-4-3-5-0 แสดงดังรูปที่ 2.19 มีระยะทางในการเดินทางเท่ากับ 10+10+18+27+22=87 **กิโลเมตร** เนื่องจาก ในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1 ต้องเสียค่าใช้**จ่าย** 50 **บาท และค่าน้ำมัน** 2 บาทต่อกิโลเมตร ดังนั้น ค่าใช้จ่ายในการขนส่งเท่ากับ 87×50×2=8,700 **บาท**



รูปที่ 2.18 เส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามา



รูปที่ 2.19 เส้นทางการขนส่งใหม่ของยานพาหนะคันที่ 2 กรณี มีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว

หาค่าปรับในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1

ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าที่เวลา 08.00 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 1 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 1 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 09.00-09.50 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 1 ที่เวลา 10.00 นาฬิกา ซึ่งเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 20 นาที ทำให้ต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้าเท่ากับ 10×((10/60)+(20/60))=5 บาท

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 1 ที่เวลา 10.20 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 4 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 4 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 12.00-13.50 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 4 ที่เวลา 11.20 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด ต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาจึงจะทำการขนถ่ายสินค้าลงได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 30 นาที ทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 4 ที่เวลา 11.50 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 5 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 5 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 15.50-17.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 5 ที่เวลา 12.50 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด ต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาจึงจะทำการขนถ่ายสินค้าลงได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 10 นาที ทำให้ไม่ต้องเสียค่าปรับให้แก่ลูกค้า

ยานพาหนะออกจากลูกค้าคนที่ 5 ที่เวลา 16.00 นาฬิกา ไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงศูนย์กระจายสินค้า ที่เวลา 18.00 นาฬิกา

ดังนั้น ในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 1 กรณีมีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้วมีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเท่ากับ 5+9,600=9,605 บาท

หาค่าปรับในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 2

ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าที่เวลา 08.00 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 2 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 10.00-11.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 2 ที่เวลา 09.00 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 30 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 2 ที่เวลา 10.30 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 4 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 4 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 12.00-13.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 4 ที่เวลา 11.30 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 30 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 4 ที่เวลา 12.30 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 3 ใช้เวลา 2 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 3 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 14.00-15.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 3 ที่เวลา 11.30 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 20 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้ารายที่ 3 ที่เวลา 14.20 นาฬิกา ไปยังลูกค้ารายที่ 5 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง ซึ่งลูกค้ารายที่ 3 มีข้อจำกัดด้านเวลา คือ 15.50-17.00 นาฬิกา แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงลูกค้ารายที่ 5 ที่เวลา 15.20 นาฬิกา ซึ่งถึงก่อนเวลาต้องรอจนกว่าจะถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนด จึงจะทำการขนถ่ายสินค้าได้ และใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 10 นาที

ยานพาหนะออกจากลูกค้าคนที่ 5 ที่เวลา 16.00 นาฬิกา ไปยังศูนย์กระจายสินค้าใช้เวลา 2 ชั่วโมง แสดงว่า ยานพาหนะมาถึงศูนย์กระจายสินค้าที่เวลา 18.00 นาฬิกา

ดังนั้น ในการขนส่งสินค้าของยานพาหนะคันที่ 2 กรณีมีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว มีค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดเท่ากับ 0+8,700=8,700 บาท

สรุป ศูนย์กระจายสินค้าแห่งนี้ ควรเลือกช้ายานพาหนะคันที่ 2 ไปส่งสินค้าเมื่อมีลูกค้าใหม่สั่งของเข้ามาแล้ว เพราะเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด คือ 8,700 บาท ทำให้ประหยัดได้ทั้งหมดเท่ากับ 9,605-8,700=950 บาท

2.6 วิธีการฮิวริสติก (Heuristic Method)

การใช้ฮิวริสติกอาจทำให้ได้ผลลัพธ์ที่น่าพึงพอใจได้เร็วกว่า และเสียค่าใช้จ่ายน้อยกว่า เมื่อเทียบกับการพิจารณาหาทางเลือกที่เหมาะสมให้กับปัญหาการตัดสินใจที่ซับซ้อน จะเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดด้านเวลา และค่าใช้จ่าย หรือบางครั้งอาจเป็นไปได้ยากในการนำมาปฏิบัติ เนื่องจากวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่ทำการทดลองค้นคว้าหากฎด้วยตัวเอง (ใช้ดุลพินิจ) ในการเลือกตัดสินใจโดยไม่มีทฤษฎีใดๆ มาช่วย โดยกฎที่ได้นี้อาจได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญ หรือได้จากการใช้วิธีลองผิดลองถูก ฮิวริสติกมักจะถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่มีโครงสร้างไม่ดีนัก และสามารถใช้ในการหาทางแก้ปัญหาที่น่าพึงพอใจสำหรับปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่มีโครงสร้างได้เร็วกว่า และถูกกว่าการใช้อัลกอริธึม ปัญหาที่เกิดขึ้นในการใช้ฮิวริสติก คือ วิธีการนี้ไม่เป็นที่รู้จักอย่างแพร่หลายเท่ากับการใช้อัลกอริธึม ดังนั้น จึงสามารถนำไปใช้กับสถานการณ์เฉพาะบางอย่างที่มีการวางเป้าหมายเอาไว้ตั้งแต่ต้นเท่านั้น อีกปัญหาหนึ่ง ก็คือ ทางแก้ปัญหาที่ได้จากการใช้ฮิวริสติกอาจไม่ใช่ทางแก้ปัญหาที่ดีที่สุดเหมือนการใช้อัลกอริธึมอื่น แต่เป็นเพียงทางแก้ปัญหาที่เป็นไปได้เท่านั้น

2.7 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Method)

เมตาฮิวริสติก หมายถึง ชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหาฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่สามารถนำหลักการเดียวกันไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลายปัญหา ซึ่งในปัจจุบัน วิธีการออกแบบฮิวริสติกโดยอาศัยหลักทางเมตาฮิวริสติกนี้ได้รับความนิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากคำตอบที่ได้จากวิธีการนี้ให้ผลดีแก้ปัญหาได้รวดเร็ว และใช้งานง่าย (ระพีพันธ์, 2554)

2.7.1 หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก

2.7.1.1 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการค้นหาคำตอบที่ดีภายในเซตของคำตอบที่เป็นไปได้

2.7.1.2 เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาที่เหมาะสม

2.7.1.3 วิธีเมตาฮิวริสติกอาจมีทั้งแบบซับซ้อนและไม่ซับซ้อน เช่น วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ วิธีระบบมด วิธีทางพันธุกรรม วิธีการค้นหาต้องห้าม และวิธีเลียนแบบการอบอ่อน เป็นต้น

2.7.1.4 เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายวิธีเทคนิค เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.7.1.5 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนที่แน่นอน แต่สามารถปรับเปลี่ยนในรายละเอียดเมื่อนำไปใช้แต่ละปัญหา

2.7.1.6 เมตาฮิวริสติกบางประเภทมีการใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้น ในการจดจำคำตอบเดิม เพื่อให้การค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำที่เดิมหรือแตกต่างไปจากเดิม

2.7.2 การแบ่งเมตาฮิวริสติก

2.7.2.1 เมตาฮิวริสติกที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีระบบมด วิธีทางพันธุกรรม วิธีเลียนแบบการอบอ่อน และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบกลุ่มอนุภาค เป็นต้น

2.7.2.2 เมตาฮิวริสติกที่ไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ ได้แก่ วิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น

2.7.2.3 เมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบมด วิธีทางพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบกลุ่มอนุภาค เป็นต้น

2.7.2.4 เมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช้ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเพียงหนึ่งคำตอบเท่านั้น เช่น วิธีเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นหาต้องห้าม และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ เป็นต้น

2.7.2.5 เมตาฮิวริสติกแบบสมการเป้าหมายคงที่ คือ ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น

2.7.2.6 เมตาฮิวริสติกแบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบมด วิธีทางพันธุกรรม วิธีเลียนแบบการอบอ่อน และวิธีการลอกแบบ เป็นต้น

2.8 การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search : LS)

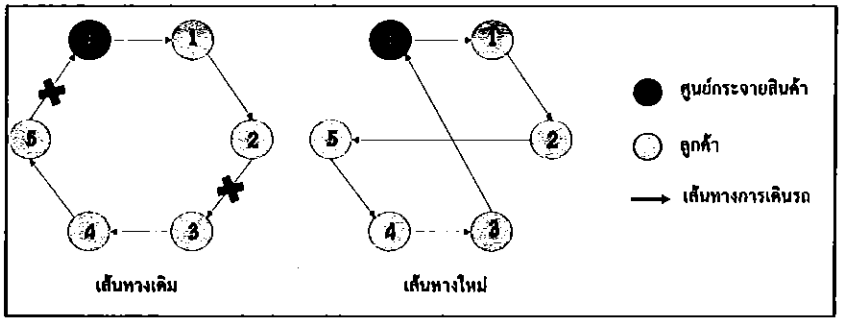
เมตาฮิวริสติกเป็นลำดับวิธีการหาคำตอบที่ดีภายในระยะเวลาจำกัด เป็นวิธีการหาคำตอบจากคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้จะมีคำตอบหนึ่งที่เป็นคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุด เรียกว่า คำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ (Global Optimum) นอกจากนี้หากพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้มีพื้นที่ใหญ่มาก ก็อาจมีการแยกย่อยพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เล็กๆ และคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ที่ถูกแบ่งนั้น จะเรียกว่า คำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ย่อย (Local Optimum) ซึ่งวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ที่ถูกแบ่งย่อยนั้น จะเรียกว่า การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งฮิวริสติกนี้อาจจะได้คำตอบที่ดีขึ้น หากมีการเพิ่มการค้นหาคำตอบเฉพาะที่เข้าไปในฮิวริสติก ซึ่งจะได้วิธีการที่สมบูรณ์มากขึ้น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นี้ดำเนินการได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับปัญหาที่จะแก้ไข การปรับปรุงด้วยวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ โดยทดสอบกับวิธีการย้ายหนึ่งตำแหน่งการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทางการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง และการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่งแล้วเลือกวิธีการปรับปรุงคำตอบที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุดมาใช้จัดเส้นทางการเดินรถซึ่ง (ฐิตินนท์ และระพีพันธ์, 2555) ได้ให้คำจำกัดความไว้ ดังนี้

2.8.1 วิธีการสลับเปลี่ยนตำแหน่ง (Swap Operator)

การสลับเปลี่ยนตำแหน่ง ผู้ดำเนินโครงงานโครงงานกำหนดลำดับการค้นหาสำหรับการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 ราย ระหว่างสับเซต โดยที่ใช้ตัวดำเนินการเท่ากับ (1, 1) หมายถึง การสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้า 1 รายที่ถูกเชื่อมกันอยู่ในเส้นทางขนส่งจากสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่งไปยังอีกสับเซตหนึ่ง

2.8.2 วิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง (2-opt)

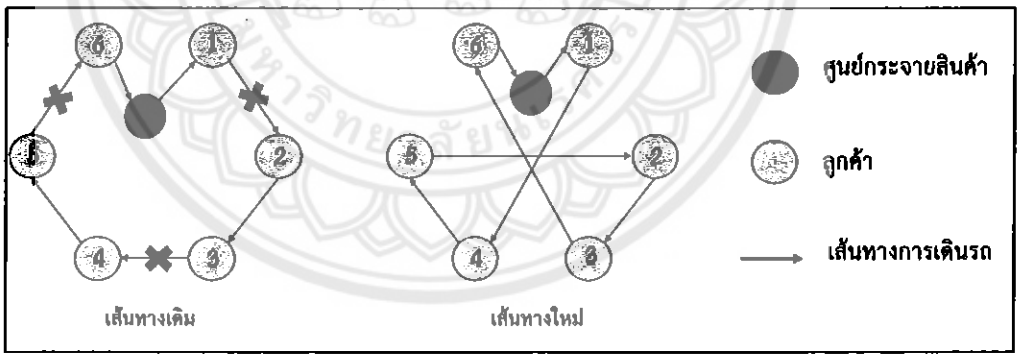
วิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง จะทำการสลับเปลี่ยน ลูกค้ากันภายในเส้นทางเดียวที่เป็นไปได้ โดยจะทำการสลับเปลี่ยนลูกค้า 2 ราย ซึ่งลำดับลูกค้าภายในเส้นทางขนส่งจะถูกเปลี่ยนแปลง ตัวอย่างเช่น หากเส้นทางการเดินทางเป็น 0-1-2-3-4-5-0 การใช้วิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่ง นี้จะเลือกคู่ของลูกค้ามาสองคู่ เช่น ในที่นี้เลือกคู่ 2-3 และคู่ 5-0 ในการสลับ โดยหลักการคือ ห้ามคู่ 2-3 และ 5-0 เดินทางต่อกันอีก จะได้เส้นทางใหม่ดังนี้ 0-1-2-5-4-3-0 แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 การสลับเปลี่ยนสองตำแหน่งก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

2.8.3 วิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่ง (3-opt)

วิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่ง เป็นการสลับลูกค้าเฉพาะภายในเส้นทางเดิมเท่านั้น หลักการเหมือนกับวิธีการสลับเปลี่ยนสองตำแหน่งทุกประการ แต่ต่างกันที่วิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่งจะเลือกเส้นทางเชื่อมระหว่างลูกค้าสามเส้นทางแล้วสลับเส้นทางการเชื่อมทั้งสามเส้นทางนั้น ตัวอย่างเช่น หากเส้นทางการเดินทางเป็น 1-2-3-4-5-6-1 การใช้วิธีการสลับเปลี่ยนสามตำแหน่งนี้ จะเลือกคู่ของลูกค้ามาสามคู่ ตัวอย่างเช่น ในที่นี้เลือกคู่ 1-2, 3-4 และคู่ 5-6 ในการสลับโดยหลักการ คือ ห้ามคู่ 1-2, 3-4 และคู่ 5-6 เดินทางต่อกันอีกจะได้เส้นทางใหม่ ดังนี้ 1-4-5-2-3-6-1 แสดงดังรูปที่ 2.21



รูปที่ 2.21 การสลับเปลี่ยนสามตำแหน่ง ก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

2.9 วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ (Iterated Local Search : ILS)

วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ พัฒนามาจากฮิวริสติกแบบค้นหาในพื้นที่บางส่วนในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ขั้นพื้นฐาน (Basic Local Search : BLS) โดยที่แนวคิดของการค้นหาในพื้นที่บางส่วนในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ขั้นพื้นฐาน คือ การหาจุดที่ดีที่สุดในพื้นที่หนึ่ง ที่จำกัดในพื้นที่ที่เป็นไปได้ ซึ่งการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ได้นำเอาข้อดีของการค้นหาในพื้นที่บางส่วนในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ขั้นพื้นฐานมาใช้หาคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ หลังจาก

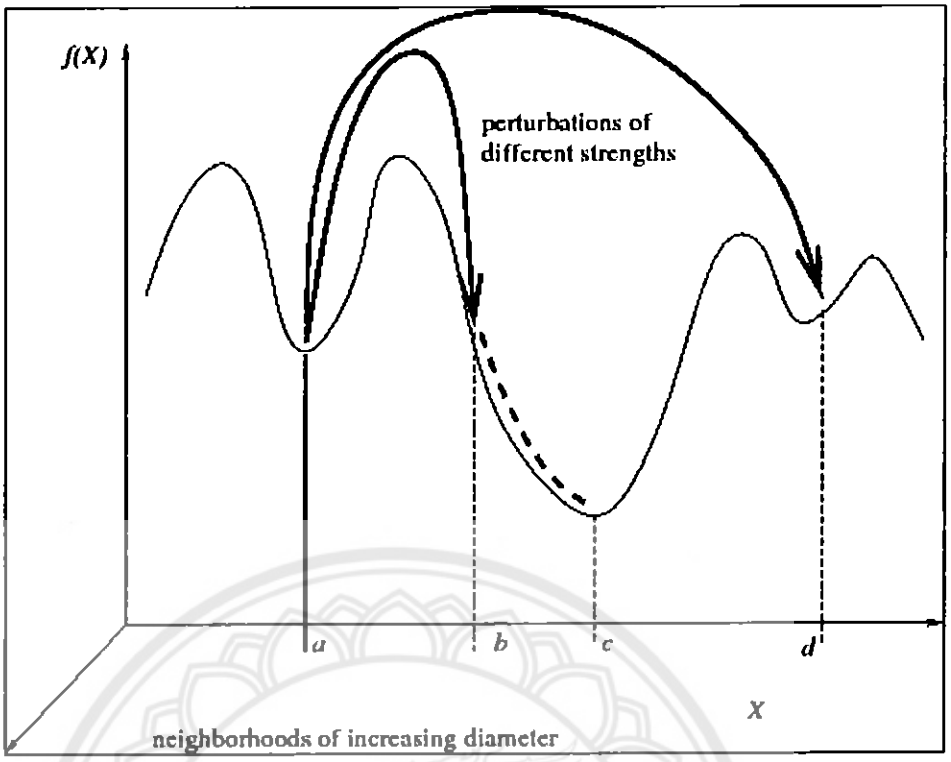
นั้นจะพัฒนาคำตอบที่มีอยู่เพื่อให้ออกจากพื้นที่เดิม (Escape) แล้วค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ จากนั้นทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผู้ออกแบบฮิวริสติกพอใจ จึงหยุดการพัฒนาคำตอบ และการค้นหาคำตอบเฉพาะที่

จากหลักการพื้นฐานดังกล่าว คุณภาพของเมตาฮิวริสติกที่ได้จากการประยุกต์ใช้การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำจะขึ้นอยู่กับ 2 ประการหลัก ดังนี้

ประการแรก คุณภาพการค้นหา หรือปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ การใช้การค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่ดีจะทำให้ค่าที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ได้รวดเร็ว และได้ผลดี ถ้าใช้วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่ไม่เหมาะสม จะไม่สามารถหาค่าที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ได้ ทำให้ไม่ได้คำตอบที่เป็นคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ย่อย

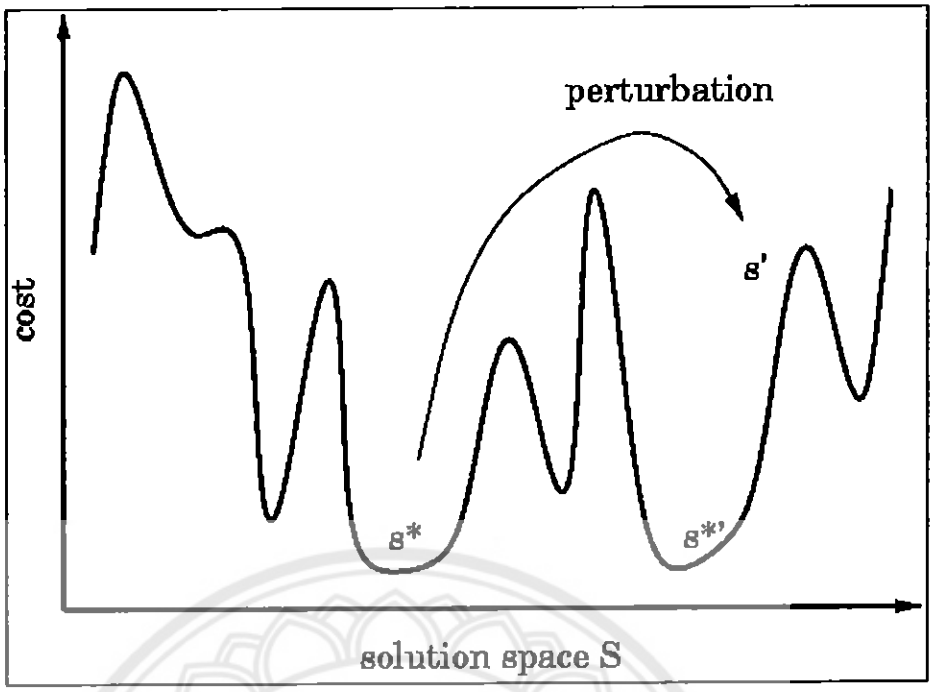
ประการที่สอง เทคนิคการรบกวนคำตอบ (Perturbation Techniques) การรบกวนที่ไม่มากไม่น้อยจนเกินไป ถ้ามากเกินไปจะทำให้ข้ามบางพื้นที่ที่มีคำตอบที่ดีไป การค้นหาแบบนี้เรียกว่า การค้นหาแบบเดินสุ่ม (Random Walk) ซึ่งจะเหมือนกับการเริ่มต้นหาคำตอบแรกเสมอ ไม่มีการเรียนรู้ของฮิวริสติก ซึ่งจะทำให้ได้คำตอบจากวิธีที่พัฒนาที่ไม่ดีตามที่คาดหวังไว้ แต่ถ้าการรบกวนน้อยจนเกินไป จะทำให้ไม่สามารถออกจากพื้นที่เก่าได้ ซึ่งก็จะได้คำตอบสุดท้ายที่เป็นเพียงคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ย่อยเท่านั้น ข้อดีของวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ คือ มีความง่าย เร็ว และตัวแปรต่างๆ น้อย ไม่ซับซ้อนในการคำนวณ (ระพีพันธ์, 2554)

เพื่อให้เข้าใจหลักการในการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำมากขึ้น จึงสามารถอธิบายได้ดังนี้ การค้นหาพื้นที่คำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ จะเห็นได้ว่า (จุด a) จะเป็นพื้นที่คำตอบที่ดีที่สุดในการค้นหาพื้นที่คำตอบนั้น จากนั้นก็ได้มีการรบกวนคำตอบ (Perturbation) เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ ซึ่งการรบกวนคำตอบ ถ้ารบกวนคำตอบมากเกินไป (จุด d) ก็จะทำให้ข้ามบางพื้นที่ที่มีคำตอบที่ดีไป (จุด c) และถ้ามีการรบกวนคำตอบน้อยเกินไปก็จะไม่สามารถออกจากพื้นที่เก่าได้ แต่ถ้ามีการรบกวนคำตอบที่เหมาะสม (จุด b) ก็จะสามารถค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด (จุด c) ในพื้นที่ใหม่ได้ แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 การค้นหาพื้นที่คำตอบที่ดีที่สุดของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ
ที่มา : http://en.wikipedia.org/wiki/Iterated_local_search#
mediaviewer/File:Iterated_local_search.png
(สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2557)

วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำเป็นการค้นหาคำตอบ โดยเมื่อได้คำตอบที่ดีที่สุดแล้วจะปรับปรุงคำตอบเดิมเพื่อให้ได้คำตอบใหม่ในการสร้างค่าคำตอบเริ่มต้นนั้นจะมีด้วยกัน 2 แบบ คือ การสุ่มคำตอบ และการใช้ฮิวริสติก ซึ่งในการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยใช้ฮิวริสติก จะทำให้คำตอบดีกว่าการสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.23 การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ที่มา : http://www.metaheuristics.net/index.php?main=3&sub=33

(สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2557)

ขั้นตอนการหาคำตอบโดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

เมื่อ S_0 = GenerateInitialSolution

S^* = Local Search (S_0)

REPEAT

S' = Perturbation (S^*, history)

$S^{*'}$ = Local Search (S')

S^* = Acceptance Criterion (S^*, $S^{*'}$, history)

ซึ่งสามารถอธิบายในแต่ละขั้นตอนได้โดยละเอียด ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาค่าคำคอบเริ่มต้นจากการสุ่มจะได้คำตอบเริ่มต้นเป็น S_0

ขั้นตอนที่ 2 นำคำตอบเริ่มต้น S_0 ที่ได้จากขั้นตอนที่ 1 มาหาค่าคำตอบใหม่ด้วยวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ พบว่าคำตอบใหม่ที่ได้เป็นคำตอบใหม่ที่ดีที่สุด S^*

ขั้นตอนที่ 3 ทำการรบกวนคำตอบเดิม S^* (Perturbation) เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด พบว่าคำตอบใหม่ที่ได้ คือ S'

ขั้นตอนที่ 4 นำคำตอบที่ได้จากขั้นตอนที่ 3 (S') มาหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วยวิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ทำให้ได้คำตอบใหม่เป็น $S^{*'}$

ขั้นตอนที่ 5 ทำการพิจารณาคำตอบใหม่ที่ได้จากขั้นตอนที่ 4 ($S^{''}$) ว่าคำตอบที่ได้ดีกว่าคำตอบเดิมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 (S^{*}) หรือไม่ หากคำตอบใหม่ ($S^{''}$) ดีกว่าคำตอบเดิม (S^{*}) ให้นำคำตอบใหม่ ($S^{''}$) ไปแทนคำตอบเดิมที่ได้จากขั้นที่ 2 (S^{*}) แต่ถ้าคำตอบใหม่ ($S^{''}$) แย่กว่าคำตอบเดิม (S^{*}) ให้ใช้คำตอบเดิมที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 (S^{*})

จากนั้นทำขั้นตอนที่ 3, 4 และ 5 ซ้ำไปจนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดการคำนวณตามที่ผู้ออกแบบกำหนด

2.10 หลักการและทฤษฎีของภาษา Visual Basic for Applications : VBA

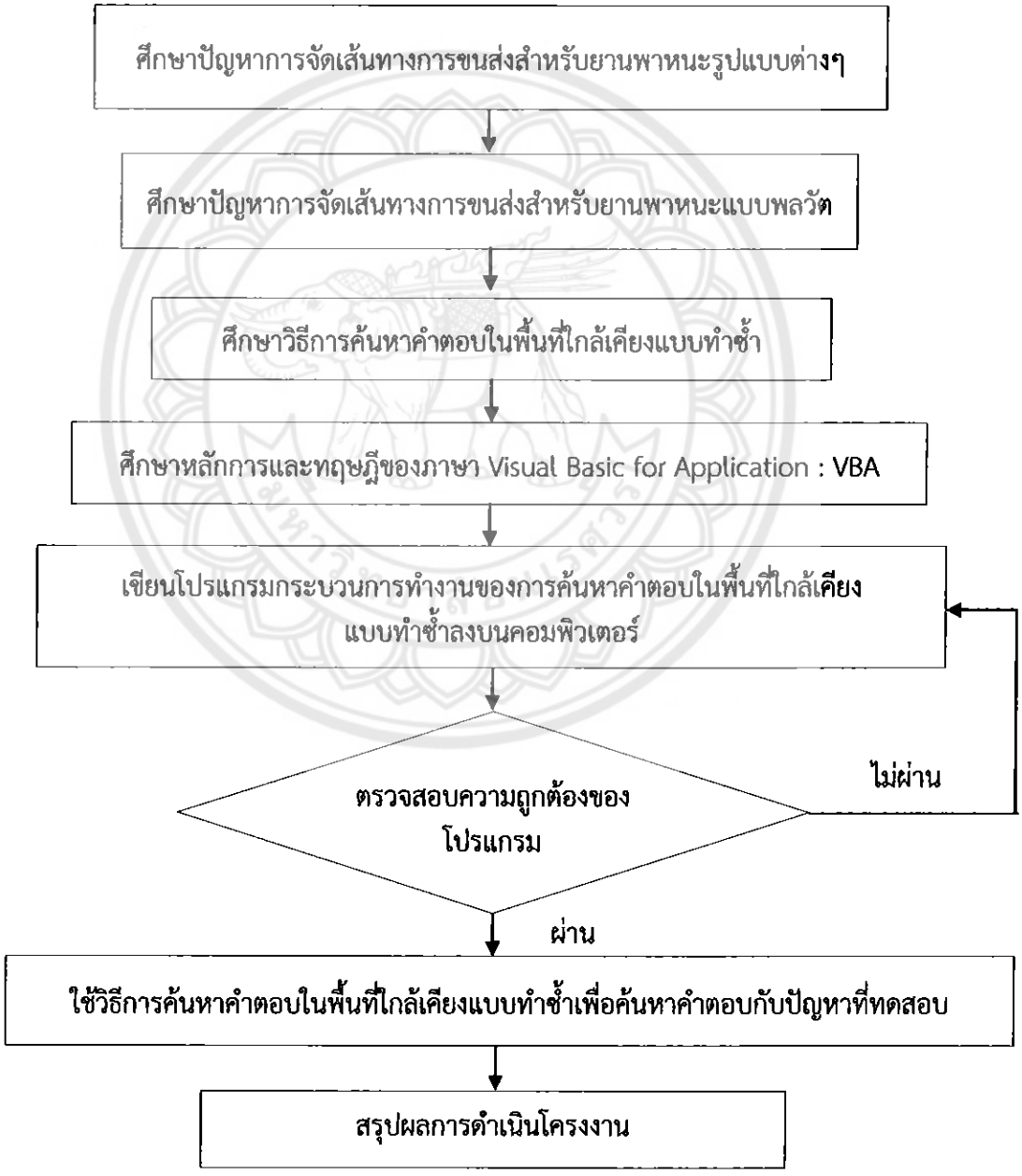
VBA เป็นภาษาที่ใช้สำหรับเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของโปรแกรม Microsoft office เช่น Microsoft Word, Microsoft Access และ Microsoft Excel เป็นต้น ซึ่งในที่นี้จะกล่าวเฉพาะการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel เท่านั้น

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel เช่น การทำให้ Microsoft Excel ทำงานซ้ำๆ มากกว่าหนึ่งครั้ง การสั่งให้ Microsoft Excel ทำงานตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้น การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยมีเงื่อนไขในการค้นหาข้อมูล การสร้างเมนูเพิ่มขึ้นใน Microsoft Excel และสร้างระบบงานใน Microsoft Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้น ภาษา VBA จึงมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีใช้ทั่วไปในเครื่องคอมพิวเตอร์แทบจะทุกเครื่อง โดยเฉพาะในงานวางแผนและบริหาร จะช่วยให้ทำงานได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

ในโครงงานนี้ ได้นำเอาภาษา VBA มาใช้ในการสร้างฟังก์ชันบน Microsoft Excel โดยนำมาสร้างฟังก์ชันคำนวณหาระยะทางในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุเพื่อให้ได้ระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด โดยจะสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้เพื่อให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่ต้องการในการคำนวณ ซึ่งมีหลักการในการเชื่อมโยงข้อมูลในแผ่นงาน Microsoft Excel มาใช้ในการคำนวณร่วมกับข้อมูลส่วนติดต่อกับผู้ใช้ และส่งให้แสดงผลการคำนวรหาค่าระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าที่น้อยที่สุดบน Microsoft Excel

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

หลังจากที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าหาข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และบทที่ 2 แล้ว และเพื่อทำให้การศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ซึ่งผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะรูปแบบต่างๆ

3.1.1 ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า

3.1.1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าและแน่นอน

3.1.1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน

3.1.1.3 ไม่ทราบค่าความต้องการของลูกค้า

3.1.2 ตามข้อจำกัดด้านเวลา

3.1.2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา

3.1.2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด

3.1.2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด

3.1.2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งและไม่เคร่ง

3.1.3 ตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง

3.1.3.1 แบบคาบเวลาเดียว

3.1.3.2 แบบหลายคาบเวลา

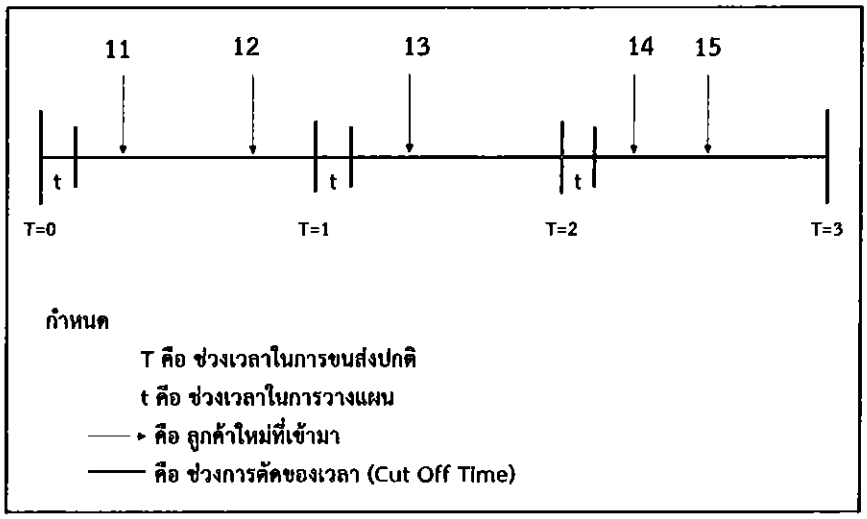
3.1.4 ตามจำนวนของศูนย์กระจายสินค้า

3.1.4.1 มีศูนย์กระจายสินค้าเดียว

3.1.4.2 มีศูนย์กระจายสินค้าหลายจุด

3.2 ศึกษารูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

DVRP เป็นการจัดเส้นทางการขนส่งเช่นเดียวกับวิธี VRP แตกต่างกันที่ DVRP นั้นในระหว่างของการขนส่งมีลูกค้ารายอื่นสั่งสินค้าเข้ามา ทำให้ต้องทำการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ ซึ่งการจัดเส้นทางการขนส่งแบบช่วงเวลาปกติ (T) แต่ละช่วงจะมีช่วงเวลาในการวางแผน (t) เพื่อใช้ในการตัดสินใจ ตัวอย่างเช่น ที่ช่วงเวลาการขนส่งสินค้าจาก T=0 ถึง T=1 จะมีช่วงเวลาของการวางแผน (t) ก่อนส่งสินค้าและทำอย่างนี้ไปเรื่อยๆ จนถึงช่วงเวลาในการตัดรอบของเวลา หากมีลูกค้าใหม่สั่งสินค้าเลยช่างเวลานี้ไป ศูนย์กระจายสินค้าจะรับลูกค้าไว้แต่จะทำการส่งของให้ในวันถัดไปแทน ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต แสดงดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตนี้ มีเป้าหมายเพื่อพยายามลดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุดซึ่งค่าใช้จ่ายรวมมี ดังนี้

3.2.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ คือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีขนาดบรรจุต่างกัน โดยแต่ละขนาดจะมีค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน

3.2.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเป็นค่าใช้จ่ายแบบแปรผัน คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระยะทางของการขนส่งสินค้า โดยค่าใช้จ่ายจะแปรผันตามระยะทางของการขนส่งสินค้า

3.2.3 ค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา คือ ค่าใช้จ่ายเมื่อส่งสินค้าเกินกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดจะมีการเสียค่าปรับเท่ากันทุกช่วงเวลาของการขนส่ง

ซึ่งขอบเขตในการดำเนินโครงงานต่างๆ ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 1 ในข้อ 1.5

3.3 ศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ศึกษาวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำที่พัฒนามาจากฮิวริสติกแบบค้นหาในพื้นที่บางส่วนในพื้นที่คำตอบ พบว่า วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ เป็นการหาคำตอบใหม่ที่ดีที่สุด โดยการรบกวนคำตอบเดิมที่มีอยู่ เมื่อทำการรบกวนคำตอบแล้ว ทำการหาคำตอบด้วยวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ จากนั้นพิจารณาคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีกว่าคำตอบเดิมหรือไม่ หากคำตอบที่ได้ไม่ดีกว่าเดิมให้ใช้คำตอบเดิมเพื่อทำการหาคำตอบที่ดีที่สุดต่อไป แต่หากคำตอบที่ได้ดีกว่าเดิมให้นำคำตอบใหม่นี้ไปหาคำตอบที่ดีที่สุดต่อไป และทำอย่างนี้จนถึงจำนวนรอบที่กำหนด

3.4 ศึกษาหลักการและทฤษฎีของภาษา Visual Basic for Application : VBA

การเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel เช่น การทำให้ Microsoft Excel ทำงานซ้ำๆ มากกว่าหนึ่งครั้ง การสั่งให้ Microsoft Excel ทำงานตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้น การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยมีเงื่อนไขในการค้นหาข้อมูล การสร้างเมนูเพิ่มขึ้นใน Microsoft Excel และสร้างระบบงานใน Microsoft Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป เป็นต้น ดังนั้น VBA จึงมีการประยุกต์ใช้อย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีใช้ทั่วไปในเครื่องคอมพิวเตอร์แทบจะทุกเครื่อง โดยเฉพาะในงานวางแผน และบริหาร จะช่วยให้ทำงานได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น

3.5 เขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำลงบนคอมพิวเตอร์

ทำการเขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของ การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำลงบนคอมพิวเตอร์ โดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel

3.6 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

ทำการตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมหลังจากที่ได้เขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบแบบพลวัต

3.7 ใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำเพื่อค้นหาคำตอบกับปัญหาที่ทดสอบ

ประมวลผลคำตอบที่ได้จากวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ โดยใช้ทดสอบกับโจทย์ปัญหาที่ใช้ทดสอบ

3.8 สรุปผลและจัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

การสรุปผลการทดลอง แล้วนำเอาผลลัพธ์ที่ได้จากโปรแกรมมาวิเคราะห์ พิจารณาความเป็นไปได้ของคำตอบว่าเหมาะสมหรือไม่ แล้วจึงสรุปผลและจัดทำรูปเล่มโครงงานฉบับสมบูรณ์

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการใช้วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ในพื้นที่แบบทำซ้ำ ในการหาคำตอบและผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ รวมทั้งทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ทำการออกแบบ นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้

ซึ่งจะสามารถแบ่งหัวข้อได้ 11 หัวข้อ ดังนี้

4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem : DVRP)

4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน

4.3 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ

4.4 การออกแบบการทำงานของวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

4.5 การออกแบบการทำงานของวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่

4.6 การออกแบบการทำงานของวิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบ

4.7 วิธีการใช้งานโปรแกรมในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตด้วยวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำอย่างย่อ

4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16

4.9 ผลการทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.10 การวิเคราะห์ผลการทดลองและสรุปผลการเปรียบเทียบกับงานวิจัยอื่น

4.11 สรุป

4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง โดยลักษณะปัญหานั้นจะเป็นการหาเส้นทางในการเดินทางไปพบลูกค้ายังสถานที่ต่างๆ ตามคำขอของลูกค้า โดยทำให้มีระยะทางหรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดต่ำที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้พัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย และได้ถูกศึกษาอย่างแพร่หลายในสาขาของการวิจัยการดำเนินงาน ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะถูกนำมาวิจัยครั้งแรก โดย Dantzig และ Ramser ศึกษาการจัดเส้นทางของยานพาหนะสำหรับบรรทุกเชื้อเพลิงจากสถานีกลางไปยังสถานีย่อยต่างๆ โดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรง หลังจากนั้นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะก็ได้รับการวิจัยอย่างมาก

โดยที่มีการเพิ่มเติมเงื่อนไขต่างๆ เข้าไปให้สมจริงมากขึ้น เช่น การที่ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการปริมาณสินค้าที่ไม่เท่ากัน มีเงื่อนไขเรื่องกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีความจุไม่เท่ากัน และมีการเสียค่าปรับเนื่องจากการส่งสินค้าไม่ทันกรอบเวลา เป็นต้น

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบัน อุปกรณ์การสื่อสารถูกนำมาประยุกต์ใช้เพื่อช่วยในการขนส่งมากขึ้น ผู้ให้บริการสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่เข้ามาระหว่างการขนส่งได้ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเดิมจึงกลายมาเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต ซึ่ง Pillac และคณะ ได้แบ่งปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัยไว้ 4 รูปแบบ คือ

ตารางที่ 4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย

1. Static and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าอย่างแน่นอน จำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เส้นทางยานพาหนะจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงในช่วงการขนส่ง
2. Static and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าล่วงหน้าแน่นอน จำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่ข้อมูลของลูกค้ามีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมี 3 กรณี คือ ความไม่แน่นอนของลูกค้าที่จะรับบริการ เวลารับสินค้าไม่แน่นอน และปริมาณความต้องการสินค้าไม่แน่นอน เส้นทางของยานพาหนะอาจมีการปรับเปลี่ยนเล็กน้อยในระหว่างการทำงาน
3. Dynamic and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางราย คำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามาเมื่อกำลังดำเนินการขนส่ง เส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงานและจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารช่วยในการขนส่ง
4. Dynamic and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางราย ข้อมูลของลูกค้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป อีกทั้งคำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามาในช่วงกำลังขนส่ง เส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงานและจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในการสนับสนุนการขนส่ง

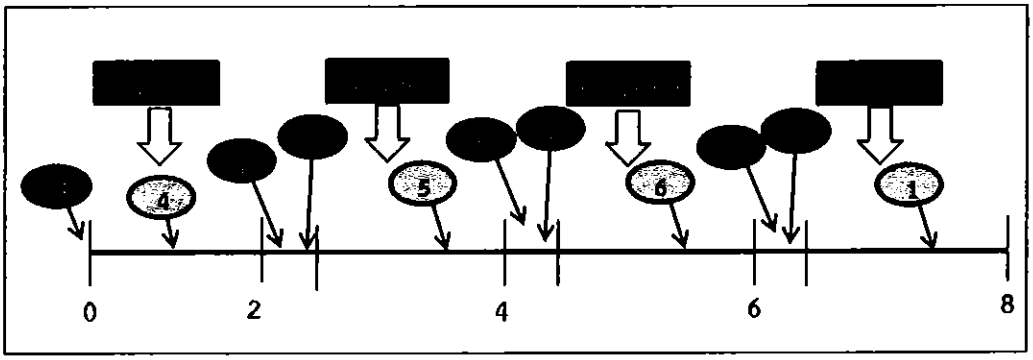
ในส่วนของงานวิจัยที่เป็นปัญหาแบบพลวัตเงื่อนไขต่างๆ ที่นำมาพิจารณานั้นก็จะมีรูปแบบเหมือนกันกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบคงที่ ทั้งเงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะที่จำกัด เงื่อนไขทางด้านกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า เงื่อนไขการมีคลังสินค้าหลายแห่ง เงื่อนไขยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีหลายประเภท และเงื่อนไขเฉพาะอื่นๆ อีกมากมาย

นอกจากนี้ Pillac และคณะ ก็ยังได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นแบบ Dynamic and Deterministic ไว้ทั้งหมด 2 แนวทาง คือ การหาค่าที่เหมาะสมซ้ำตามช่วงเวลา (Periodic Reoptimization) และการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำแบบต่อเนื่อง (Continuous Reoptimization)

สำหรับการจัดการกับปัญหาตามแนวทางการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำตามช่วงเวลานั้นจะทำการการแบ่งช่วงเวลาวันทำงานให้เป็นช่วงเวลาย่อยเท่าๆ กัน และจะหาค่าที่เหมาะสมเมื่อสิ้นสุดเวลาย่อยนั้นๆ จากนั้นก็จะวางแผนการเดินทางใหม่ในช่วงต้นของเวลาย่อยช่วงต่อไป ส่วนการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำแบบต่อเนื่องจะทำการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำทันทีที่มีลูกค้ารายใหม่เข้ามา

4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน

รูปแบบของปัญหาในโครงงานนี้จัดเป็นปัญหาแบบ Dynamic and Deterministic กล่าวคือ ก่อนเริ่มการขนส่งสินค้าผู้ให้บริการจะทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าเพียงบางราย และหลังจากได้เริ่มการขนส่งไปแล้วก็จะมีลูกค้ารายใหม่ๆ ร้องขอสินค้าเข้ามา ซึ่งรายละเอียดของลูกค้าแต่ละรายหรือข้อมูลนำเข้านั้นจะทราบค่าแน่นอน และจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก โดยที่ข้อมูลนำเข้านั้นจะประกอบไปด้วย ตำแหน่งรับสินค้าของลูกค้า ปริมาณความต้องการเวลาเริ่มรับสินค้าและเวลาสุดท้ายที่จะสามารถรับสินค้าได้ ช่วงก่อนเริ่มต้นการส่งสินค้า คลังสินค้าจะทราบจำนวนลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าให้แน่นอนจากการร้องขอของลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า จากนั้นก็จะทำการวางแผนจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้วมอบหมายเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นให้กับยานพาหนะแต่ละคัน ยานพาหนะก็จะออกเดินทางจากคลังสินค้าเพื่อไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามลำดับที่ได้จัดไว้ ระหว่างที่ยานพาหนะกำลังเดินทางเพื่อส่งสินค้าอยู่นั้น ลูกค้ารายใหม่ๆ จะติดต่อเข้ามากับคลังสินค้าเพื่อร้องขอสินค้า ดังนั้น คลังสินค้าจะต้องจัดการวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่ แล้วมอบหมายเส้นทางใหม่นั้นให้กับยานพาหนะผ่านทางเทคโนโลยีที่ช่วยในการสื่อสาร สุดท้ายเมื่อยานพาหนะขนส่งสินค้าเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วก็จะกลับมายังคลังสินค้า จะเห็นว่า จำนวนลูกค้าใหม่และปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายที่ปรากฏขึ้นมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญอย่างยิ่งที่คลังสินค้าจะต้องวางแผนเส้นทาง และตัดสินใจมอบหมายงานให้กับยานพาหนะ การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic โดยมีข้อกำหนดว่าเมื่อมีลูกค้าเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 จะไม่ทำการจัดส่งสินค้าในช่วงเวลาที่ 4 ทันทีแต่จะนำไปส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไป แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic

จากรูปที่ 4.1 อธิบายได้ว่ามีเวลา 8 ชั่วโมงในการส่งสินค้าให้ลูกค้า โดยจะทำการแบ่งเวลาเป็นช่วงเวลาย่อยๆ ช่วงละ 2 ชั่วโมง จะได้ช่วงเวลาออกมา 4 ช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ 1 ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าโดยมีข้อมูลที่ทราบแน่นอนแล้ว คือ มีจำนวนลูกค้าที่รู้ล่วงหน้าจำนวน 10 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งของให้ลูกค้าไปจำนวน 4 ราย จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งจำนวน 6 ราย

ช่วงเวลาที่ 2 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 1 จำนวน 6 ราย และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 1 จำนวน 2 ราย เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 2 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 8 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งของให้ลูกค้าไปจำนวน 5 ราย จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งจำนวน 3 ราย

ช่วงเวลาที่ 3 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 3 ราย และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 4 ราย เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 3 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 7 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งของให้ลูกค้าไปจำนวน 6 ราย จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งจำนวน 1 ราย

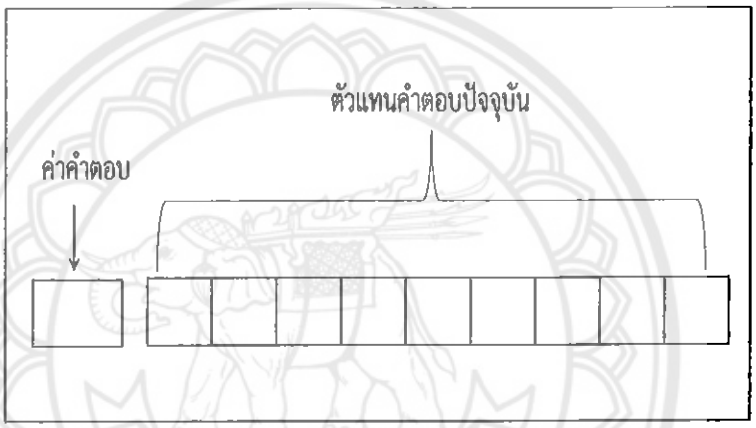
ช่วงเวลาที่ 4 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 1 ราย และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 5 ราย แต่ลูกค้าที่เพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 แต่ในช่วงเวลานี้ลูกค้าที่เพิ่มเข้า 5 รายจะไม่ทำการจัดไม่ทำการจัดส่งในช่วงเวลาที่ 4 เราจะไปจัดส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไปตามข้อกำหนดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 4 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 1 ราย เมื่อทำการส่งสินค้าเรียบร้อยแล้วยานพาหนะก็จะกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า

4.3 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ

การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ สามารถอธิบายได้ดังนี้

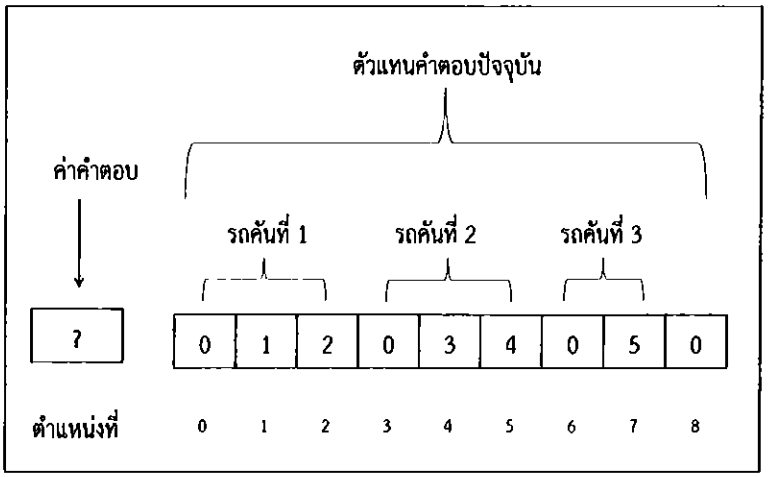
4.3.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ

การใช้เมตาฮิวริสติก จำเป็นต้องมีการสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้น โดยตัวแทนคำตอบที่สร้างในโครงงานนี้ จะสร้างเป็นช่อง หรือเป็นตำแหน่ง ตามจำนวนลูกค้าที่ผู้ใช้กำหนด หรือ n (n คือ จำนวนลูกค้า) จำนวนรถที่ผู้ใช้กำหนด หรือ m (m คือ จำนวนรถ) และศูนย์กระจายสินค้า (p คือ ศูนย์กระจายสินค้า) และจะมีตำแหน่งของค่าคำตอบที่แสดงค่าใช้จ่ายรวม แสดงอยู่ทางซ้ายมือของช่องตัวแทนคำตอบ แสดงตัวแทนคำตอบ n=5, m=3, p=1 แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.2 แสดงตัวแทนคำตอบ n=5, m=3, p=1

ตัวอย่างที่ 1 การหาตัวแทนคำตอบ กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนตำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงรถคันที่ 1 ไปส่งของให้ลูกค้ารายที่ 1 แล้วไปส่งให้ลูกค้ารายที่ 2 รถคันที่ 2 ไปส่งของให้ลูกค้ารายที่ 3 แล้วไปส่งให้ลูกค้ารายที่ 4 และรถคันที่ 3 ไปส่งของให้ลูกค้ารายที่ 5 แล้วกลับมายังศูนย์กระจายสินค้า โดยจะมีการสร้างตัวแทนคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.3



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ

ถ้าหากคำตอบเริ่มต้นเป็นคำตอบที่เป็นไปไม่ได้ให้ทำการซ่อมแซมคำตอบนั้นจนกว่าจะเป็นคำตอบที่เป็นไปได้ก่อนแล้วปรับปรุงกรอบเวลา

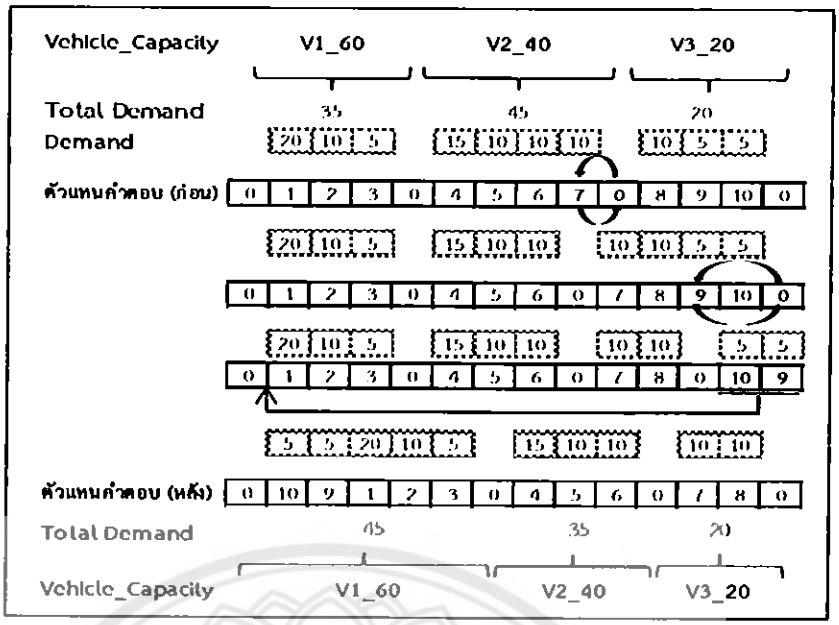
4.3.1.1 การซ่อมแซมคำตอบ สำหรับส่วนของขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไขและการซ่อมแซมคำตอบหลังจากสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ในกระบวนการนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงให้คำตอบเริ่มต้นนั้นเป็นคำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบความจุของยานพาหนะทุกคันตามตัวแทนคำตอบ ถ้าหากมียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความจุก็จะทำการซ่อมแซมคำตอบนั้น รูปที่ 10 เป็นตัวอย่างวิธีการซ่อมแซมคำตอบไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นที่ 1. ได้ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่มาจากการสุ่ม

ขั้นที่ 2. ตรวจสอบความจุของยานพาหนะแต่ละคันตามตัวแทนคำตอบ โดยการบวกปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่อยู่ในเส้นทางเดียวกัน ถ้าหากพบว่ามียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความสามารถ (Infeasible Solution) ให้นำหมายเลขลูกค้ารายที่เกินรายแรกที่พบไปสลับกับหมายเลขศูนย์ตัวถัดไปในตัวแทนคำตอบ

ขั้นที่ 3. ตรวจสอบความจุจนครบจำนวนยานพาหนะทุกคันถ้าหากมีการละเมิดความจุที่ยานพาหนะคันสุดท้ายให้เก็บจำนวนลูกค้ารายที่เกินความจุทั้งหมดแล้วนำมาแทรกไว้ที่ยานพาหนะคันแรก

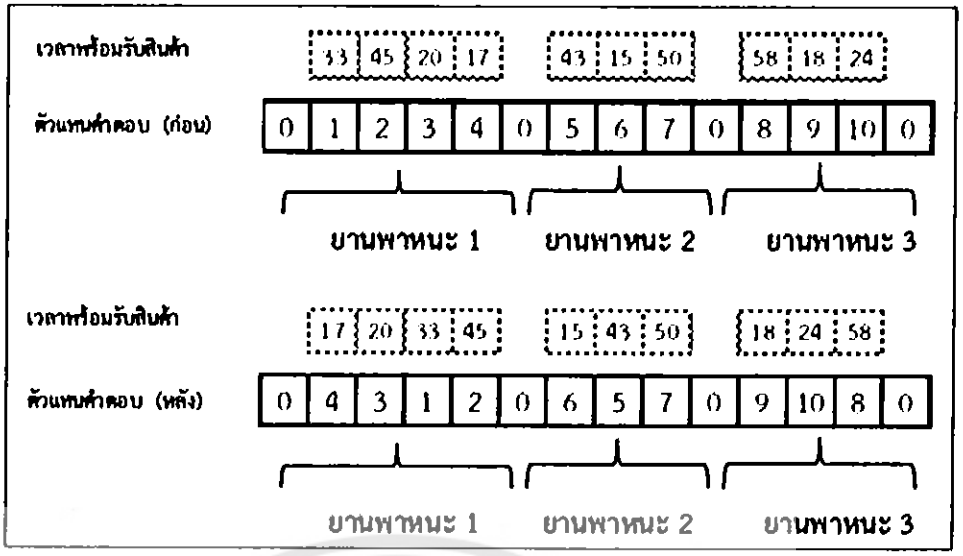
ขั้นที่ 4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกว่ายานพาหนะทุกคันไม่บรรทุกสินค้าเกิน (Feasible Solution)



รูปที่ 4.4 วิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้

จากรูปที่ 4.4 จากตัวแทนคำตอบเริ่มต้นจะพบว่ายานพาหนะคันที่ 2 (V2) มีการบรรทุกสินค้าเกินความสามารถของยานพาหนะจึงต้องมีการนำลูกค้ารายที่เกิน (ลูกค้าหมายเลข 7) ไปฝากไว้กับยานพาหนะคันที่ 3 (V3) ในลำดับถัดมาพบว่ายานพาหนะคันที่ 3 ซึ่งเป็นคันสุดท้ายก็มีการละเมิดความจุด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงมีการนำลูกค้าส่วนที่เกินความจุ (ลูกค้าหมายเลข 10 และ 9) เข้าไปแทรกในเส้นทางของยานพาหนะคันแรก ซึ่งจะได้เป็นคำตอบใหม่ขึ้นมา แล้วทำการตรวจสอบความจุตามตัวแทนคำตอบใหม่นี้อีกครั้งหนึ่ง ทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขความจุ

4.3.1.2 การปรับปรุงกรอบเวลา เมื่อซ่อมแซมคำตอบเรียบร้อยแล้วก็จะนำคำตอบนั้นมาปรับปรุงเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในการรับสินค้า กระบวนการนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดจำนวนลูกค้าที่ได้รับสินค้าไม่ตรงกรอบเวลา มีวิธีการปรับปรุงคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.5 จากตัวอย่างในตัวแทนคำตอบมียานพาหนะที่ใช้งานจำนวน 3 คันพิจารณายานพาหนะคันที่ 1 ในตัวแทนคำตอบก่อนการปรับปรุงยานพาหนะจะเดินทางออกจากคลังสินค้าไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 2, 3 และ 4 จากนั้นก็จะเดินทางกลับไปยังคลังสินค้า ในการปรับปรุงกรอบเวลานี้จะพิจารณาโดยการเรียงลำดับเวลาพร้อมรับสินค้าของลูกค้าในเส้นทางใดๆ จากน้อยไปหามาก ซึ่งหมายความว่าลูกค้าที่ต้องการสินค้าเร่งด่วนก็จะได้รับสินค้าก่อนนั่นเอง จะเห็นว่าลูกค้ารายที่ 4 มีเวลาพร้อมรับสินค้าน้อยที่สุด คือ 17 ก็จะถูกเรียงไว้ลำดับแรกจากนั้นก็ตามมาด้วยลูกค้าที่มีเวลาพร้อมรับสินค้ามากขึ้นลำดับถัดไป หลังจากการปรับปรุงคำตอบ เส้นทางของยานพาหนะคันที่ 1 จะเปลี่ยนเป็นการส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 4 ก่อนตามมาด้วยลูกค้ารายที่ 3, 1, 2 และกลับสู่คลังสินค้าตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ

4.3.2 การหาค่าคำตอบ

เมื่อทำการสร้างตัวแทนคำตอบเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวมตั้งแต่ลูกค้ารายที่ 1 ถึงลูกค้ารายที่ n

ตัวอย่างที่ 2 การหาค่าคำตอบ กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนตำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ โดยมีระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย แสดงดังตารางที่ 4.2 โดยรถคันที่ 2 ส่งของให้ลูกค้ารายที่ 4 ไม่ทันเวลา ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการละเมิดกรอบเวลาเพิ่มขึ้น ค่าใช้จ่ายในการเดินทางแต่ละครั้ง แสดงดังตารางที่ 4.3

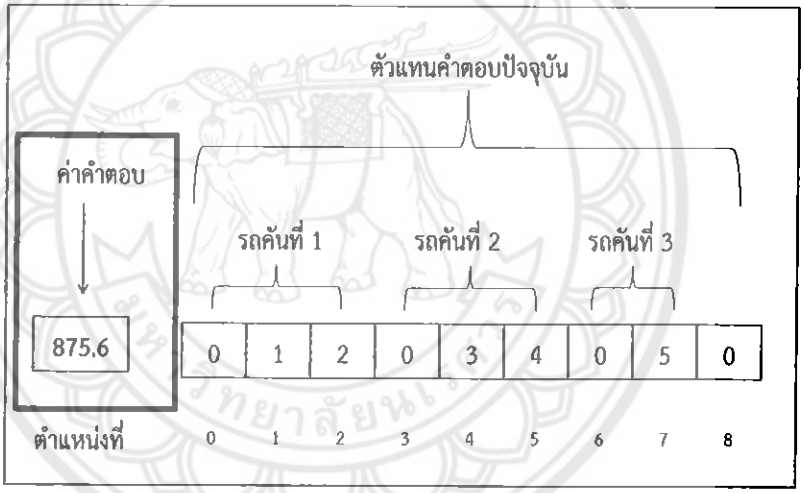
ตารางที่ 4.2 แสดงระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย

i/j	0	1	2	3	4	5
0	-	20	15	15	22	19
1	20	-	17	16	23	20
2	15	17	-	25	18	18
3	15	16	25	-	21	25
4	22	23	18	21	-	15
5	19	20	18	25	15	-

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าใช้จ่ายในการเดินทาง

ประเภทรถ	ค่าใช้จ่ายคงที่	ค่าใช้จ่ายแปรผัน	ค่าละเมิดกรอบเวลา
รถคันที่ 1	180	1	30
รถคันที่ 2	200	1.7	30
รถคันที่ 3	220	2.5	30

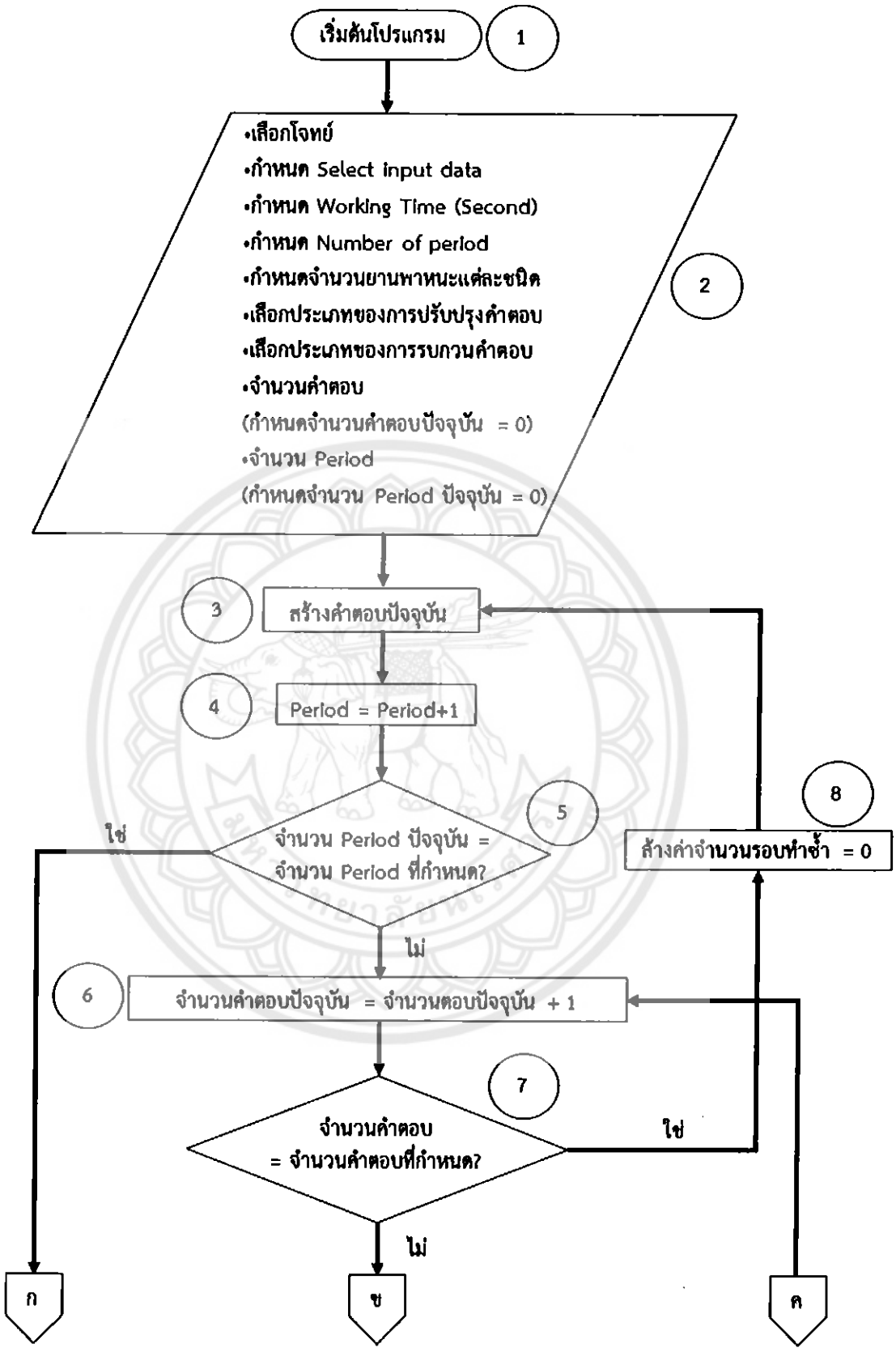
วิธีในการคำนวณค่าคำตอบ ดังนี้ [(จำนวนรถคันที่ 1×ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 1)+(ค่าใช้จ่ายแปรผันของรถคันที่ 1×ระยะทางที่รถคันที่ 1 ใช้)]+[(จำนวนรถคันที่ 2×ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 2)+(ค่าใช้จ่ายแปรผันของรถคันที่ 2×ระยะทางที่รถคันที่ 2 ใช้)+ค่าละเมิดกรอบเวลา]+[(จำนวนรถคันที่ 3×ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 3)+(ค่าใช้จ่ายแปรผันของรถคันที่ 3×ระยะทางที่รถคันที่ 3 ใช้) =ค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ค่าที่คำนวณออกมาได้ คือ [(1×180)+(1×(20+17+15))]+[(1×200)+(1.7×(15+21+22))+30]+[(1×220)+(2.5×(19+19)]=875.6 แสดงดังรูปที่ 4.6



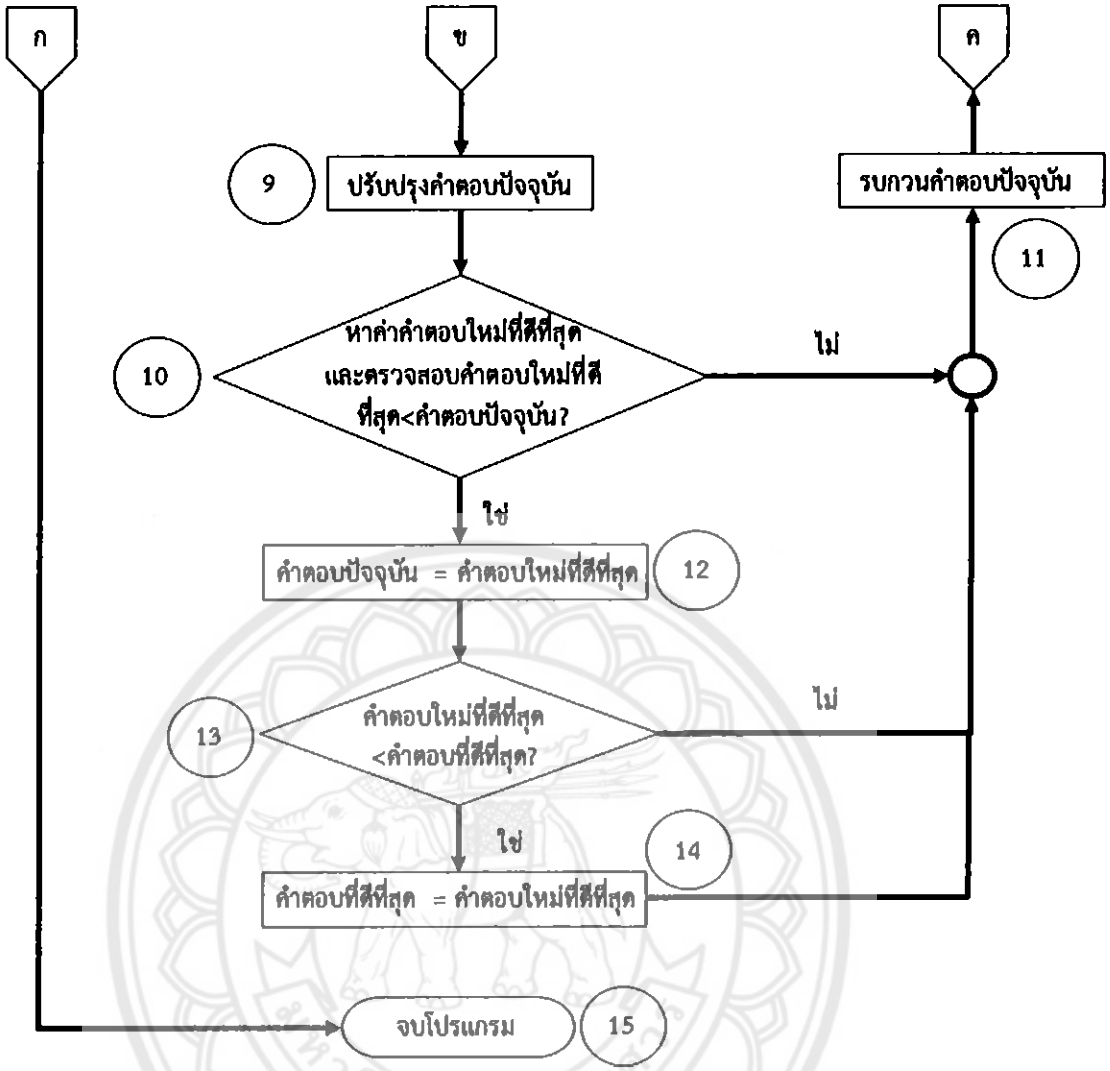
รูปที่ 4.6 แสดงค่าคำตอบ

4.4 การออกแบบการทำงานของวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

การทำงานของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ จะมีการกำหนดจำนวนรอบของการทำซ้ำ ในกรณีที่ไม่พบค่าคำตอบใหม่ที่ดีกว่าค่าคำตอบปัจจุบัน แสดงดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของ Iterated Local Search



รูปที่ 4.7 (ต่อ) แสดงการทำงานของ Iterated Local Search

จากรูปที่ 4.7 แสดงการทำงานของ Iterated Local Search อธิบายได้ดังนี้

4.4.1 ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

4.4.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าต่างๆ ประกอบไปด้วย Select Input Data, Working Time (Second), Number of period, จำนวนรถของแต่ละประเภท, จำนวนคำตอบในการทำซ้ำ, วิธีการ Local Search, วิธีการ Perturbation

4.4.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการสุ่มคำตอบเริ่มต้น

4.4.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นการกำหนด Period เท่ากับจำนวน Period บวก 1 (ให้จำนวน Period ปัจจุบันเริ่มต้นที่ 0)

4.4.5 ขั้นตอนที่ 5 เป็นการเปรียบเทียบค่าจำนวน Period เท่ากับจำนวน Period ที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำขั้นตอนที่ 6 แต่ถ้าเท่ากันให้ทำขั้นตอนที่ 15

4.4.6 ขั้นตอนที่ 6 เป็นการกำหนดจำนวนรอบการทำซ้ำเท่ากับจำนวนรอบการทำซ้ำบวก 1 (ให้จำนวนรอบการทำซ้ำปัจจุบันเริ่มต้นที่ 0)

4.4.7 ขั้นตอนที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรอบการทำซ้ำเท่ากับจำนวนรอบการทำซ้ำที่กำหนดหรือไม่ ถ้าไม่ให้ทำขั้นตอนที่ 9 แต่ถ้าเท่ากันให้ไปทำขั้นตอนที่ 8

4.4.8 ขั้นตอนที่ 8 เป็นการล้างจำนวนรอบการทำซ้ำแล้วทำขั้นตอนที่ 3

4.4.9 ขั้นตอนที่ 9 เป็นการปรับปรุงคำตอบเพื่อที่จะให้โปรแกรมหาคำตอบที่ดีที่สุดออกมา

4.4.10 ขั้นตอนที่ 10 เป็นการหาค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุด และตรวจสอบค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดว่าน้อยกว่าคำตอบปัจจุบันหรือไม่ ถ้าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดไม่น้อยกว่าคำตอบปัจจุบันให้ไปทำขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดที่น้อยกว่าคำตอบปัจจุบันให้ทำขั้นตอนที่ 12

4.4.11 ขั้นตอนที่ 11 เป็นการปรับปรุงคำตอบโดยการรบกวนคำตอบ

4.4.12 ขั้นตอนที่ 12 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าคำตอบปัจจุบัน ให้คำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบปัจจุบันทันที

4.4.13 ขั้นตอนที่ 13 เป็นการเปรียบเทียบคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดไม่น้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ทำขั้นตอนที่ 14

4.4.14 ขั้นตอนที่ 14 ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดทันที

4.4.15 ขั้นตอนที่ 15 เป็นการจบโปรแกรม ในการจบโปรแกรมจะต้องมีจำนวนรอบ Period ปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบ Period ที่ผู้ใช้กำหนดถึงจะจบโปรแกรมได้

4.5 การออกแบบการทำงานของวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่

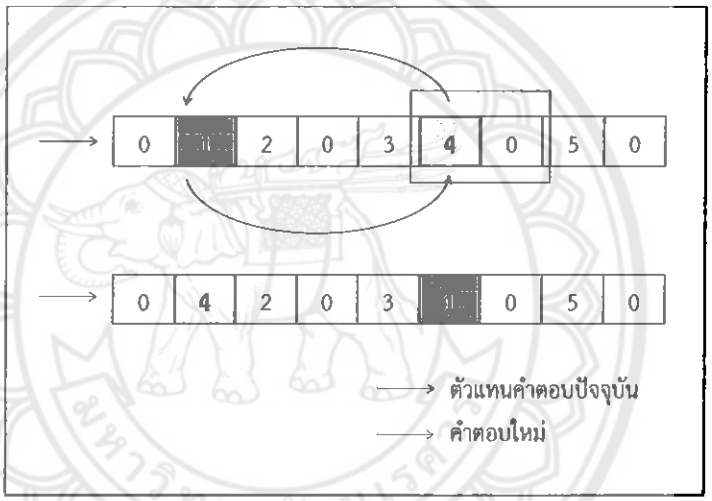
ในขั้นตอนนี้ผู้ดำเนินโครงงาน ได้ทำการออกแบบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต แล้วนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา Visual Basic for Application บน Microsoft Excel ซึ่งมีวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ 4 วิธี คือ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 (Local Search 1 : LS1) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 (Local Search 2 : LS2) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 (Local Search 3 : LS3) และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 (Local Search 4 : LS4)

4.5.1 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 (Local Search 1 : LS1)

วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 เป็นวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาใช้ในการหาคำตอบแบบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 โดยจะเริ่มจากการเลือกลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางรวมมากที่สุด จากนั้นทำการแยกลูกค้า 2 รายที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน โดยการนำลูกค้ารายแรกสลับกับทุกตำแหน่ง ให้ลูกค้ารายแรกเป็น

ตำแหน่งหลักที่จะนำไปสลับ ซึ่งในการสลับนี้จะไม่สลับกับตำแหน่งแรก ตำแหน่งสุดท้าย และตำแหน่งหลัก ทำการสลับไปเรื่อยๆ โดยคำตอบใหม่ที่ได้ จะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด จำนวนรถทั้งหมด และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ที่ผู้ใช้ระบุ เพื่อให้เข้าใจหลักการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ แสดงดังตัวอย่างที่ 3

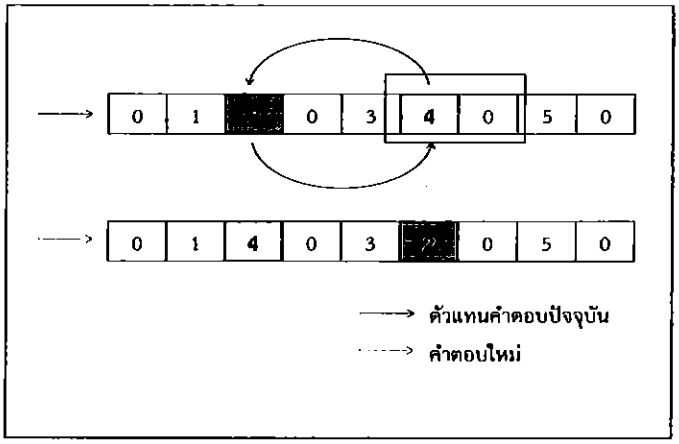
ตัวอย่างที่ 3 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนคำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการหาคำตอบใหม่ที่ 1 โดยการหาลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ซึ่งถ้าดูจากตารางที่ 4.1 ลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด คือ ลูกค้ารายที่ 4 และ 0 อยู่ที่ตำแหน่งที่ 5 และ 6 จากนั้นให้ลูกค้ารายที่ 4 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 5 เป็นตำแหน่งหลักนำไปสลับกับตำแหน่งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การสลับตำแหน่งที่ 5 กับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 4.8 หลังจากการสลับตำแหน่งที่ 5 กับตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ได้คำตอบใหม่มา 1 คำตอบ คือ 0-4-2-0-3-1-0-5-0

จากนั้นทำการหาคำตอบใหม่ที่ 2 ให้ลูกค้ารายที่ 4 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 5 เป็นตำแหน่งหลักนำไปสลับกับตำแหน่งที่ 2 แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 การสลับตำแหน่งที่ 4 กับตำแหน่งที่ 2 จากตัวอย่างที่ 3

จากรูปที่ 4.9 หลังจากการสลับตำแหน่งที่ 4 กับตำแหน่งที่ 2 จะทำให้ได้คำตอบใหม่มาอีก 1 คำตอบ คือ 0-1-4-0-3-2-0-5-0

จากตัวอย่างที่ 3 นี้ จะทำให้ได้คำตอบใหม่ทั้งหมด 6 คำตอบ คือ

คำตอบที่ 1 เท่ากับ 0-4-2-0-3-1-0-5-0

คำตอบที่ 2 เท่ากับ 0-1-4-0-3-2-0-5-0

คำตอบที่ 3 เท่ากับ 0-1-2-4-3-0-0-5-0

คำตอบที่ 4 เท่ากับ 0-1-2-0-4-3-0-5-0

คำตอบที่ 5 เท่ากับ 0-1-2-0-3-0-4-5-0

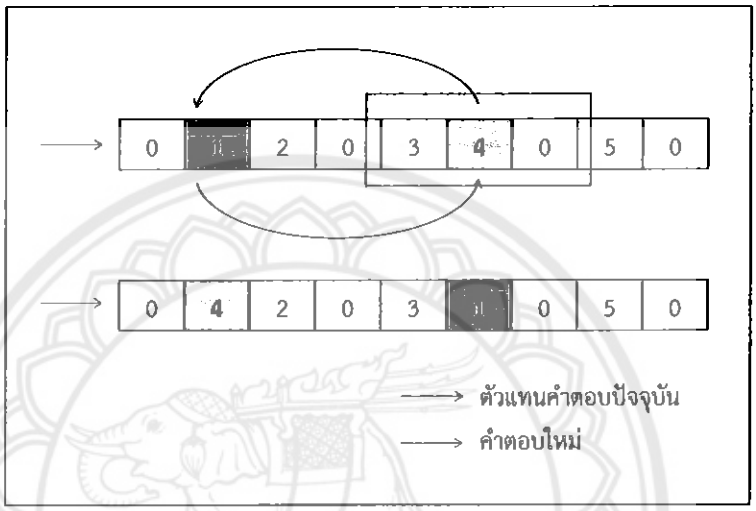
คำตอบที่ 6 เท่ากับ 0-1-2-0-3-5-0-4-0

ซึ่งเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด จำนวนรถทั้งหมด และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ตามที่โจทย์ระบุไว้

4.5.2 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 (Local Search 2 : LS2)

วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 เป็นวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาใช้ในการหาคำตอบแบบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 โดยจะเริ่มจากการเลือกลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางรวมมากที่สุด ทำการแยกลูกค้า 3 รายที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน โดยการนำลูกค้ารายที่สองสลับกับทุกตำแหน่ง ให้ลูกค้ารายที่สองเป็นเป็นตำแหน่งหลักที่จะนำไปสลับ ซึ่งในการสลับนี้จะไม่สลับกับตำแหน่งแรก ตำแหน่งสุดท้าย และตำแหน่งหลัก ทำการสลับไปเรื่อยๆ โดยคำตอบใหม่ที่ได้ จะต้องมีจำนวนเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด จำนวนรถทั้งหมด และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ที่ผู้ใช้ระบุ เพื่อให้เข้าใจหลักการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนคำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการหาคำตอบใหม่ที่ 1 โดยการหาลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ซึ่งถ้าดูจากตารางที่ 4.1 ลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางมากที่สุดเป็นลูกค้ารายที่ 3, 4 และ 0 อยู่ที่ตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6 จากนั้นให้ลูกค้ารายที่ 4 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 5 เป็นตำแหน่งหลักนำไปสลับกับตำแหน่งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 4

จากรูปที่ 4.10 หลังจากการสลับตำแหน่งหลักกับตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ได้คำตอบใหม่มา 1 คำตอบ คือ 0-4-2-0-3-1-0-5-0

จากตัวอย่างที่ 4 นี้ จะทำให้ได้คำตอบใหม่ทั้งหมด 6 คำตอบ คือ

คำตอบที่ 1 เท่ากับ 0-4-2-0-3-1-0-5-0

คำตอบที่ 2 เท่ากับ 0-1-4-0-3-2-0-5-0

คำตอบที่ 3 เท่ากับ 0-1-2-4-3-0-0-5-0

คำตอบที่ 4 เท่ากับ 0-1-2-0-4-3-0-5-0

คำตอบที่ 5 เท่ากับ 0-1-2-0-3-0-4-5-0

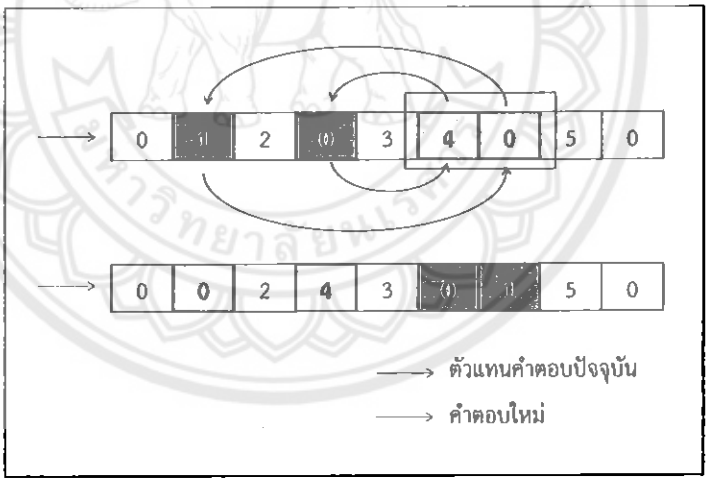
คำตอบที่ 6 เท่ากับ 0-1-2-0-3-5-0-4-0

ซึ่งเท่ากับจำนวนลูกค้าทั้งหมด จำนวนรถทั้งหมด และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ตามที่โจทย์ระบุไว้

4.5.3 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 (Local Search 3 : LS3)

วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 เป็นวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาใช้ในการหาคำตอบแบบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 โดยจะเริ่มจากการเลือกลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางรวมมากที่สุด ทำการแยกลูกค้า 2 รายที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน โดยการนำลูกค้า 2 รายสลับกับตำแหน่งที่สุ่ม ซึ่งในการสลับนี้ จะไม่สลับกับตำแหน่งแรก และตำแหน่งสุดท้าย ทำการสลับไปเรื่อยๆ โดยคำตอบใหม่ที่ได้ จะเท่ากับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 และ 2 เพื่อให้เข้าใจหลักการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ แสดงดังตัวอย่างที่ 5

ตัวอย่างที่ 5 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนคำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการหาคำตอบใหม่ที่ 1 โดยการหาลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ซึ่งถ้าดูจากตารางที่ 4.1 ลูกค้า 2 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด คือ ลูกค้ารายที่ 4 และ 0 อยู่ที่ตำแหน่งที่ 5 และ 6 จากนั้นให้ลูกค้ารายที่ 4 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 5 นำไปสลับกับตำแหน่งที่สุ่ม ถ้ากำหนดให้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 3 และให้ลูกค้ารายที่ 0 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 6 นำไปสลับกับตำแหน่งที่สุ่มถ้ากำหนดให้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 1 แสดงดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 แสดงการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 5

จากรูปที่ 4.11 หลังทำการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 3 และตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จะทำให้ได้คำตอบใหม่มา 1 คำตอบ คือ 0-0-2-4-3-0-1-5-0

จากตัวอย่างที่ 4 นี้ จะทำให้ได้คำตอบใหม่ทั้งหมด 6 คำตอบ ซึ่งเท่ากับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 และ 2 คือ

คำตอบที่ 1 เท่ากับ 0-0-2-4-3-0-1-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 3)

คำตอบที่ 2 เท่ากับ 0-4-2-0-3-1-0-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 6)

คำตอบที่ 3 เท่ากับ 0-1-0-0-3-5-2-4-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 7 และตำแหน่งที่ 2)

คำตอบที่ 4 เท่ากับ 0-1-2-0-4-3-5-0-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 4 และตำแหน่งที่ 7)

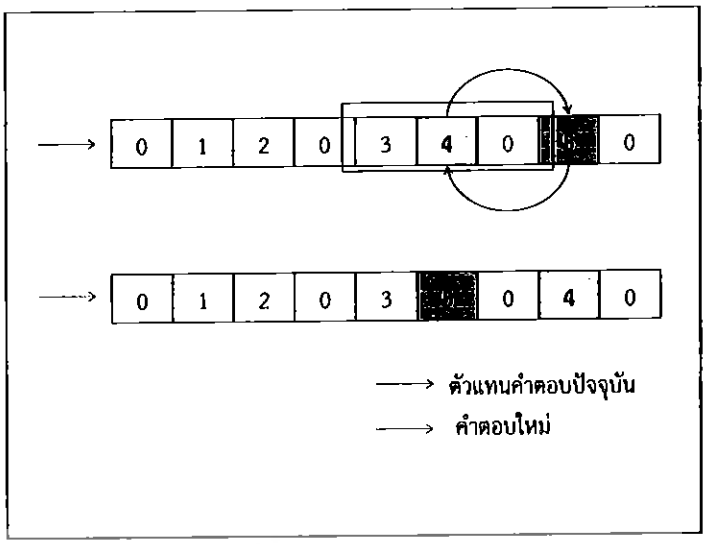
คำตอบที่ 5 เท่ากับ 0-1-4-0-3-2-0-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 2 และตำแหน่งที่ 6)

คำตอบที่ 6 เท่ากับ 0-4-2-0-0-1-3-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 1 และตำแหน่งที่ 4)

4.5.4 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 (Local Search 4 : LS4)

วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 เป็นวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาใช้ในการหาคำตอบแบบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 โดยจะเริ่มจากการเลือกลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางรวมมากที่สุด ทำการแยกลูกค้า 3 รายที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน โดยการนำลูกค้ารายที่ 2 สลับกับตำแหน่งที่สุ่ม ซึ่งในการสลับนี้ จะไม่สลับกับตำแหน่งแรก และตำแหน่งสุดท้าย ทำการสลับไปเรื่อยๆ โดยคำตอบใหม่ที่ได้ จะเท่ากับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 และ 2 เพื่อให้เข้าใจหลักการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ แสดงดังตัวอย่างที่ 6

ตัวอย่างที่ 6 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนตำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการหาคำตอบใหม่ที่ 1 โดยการหาลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ซึ่งถ้าดูจากตารางที่ 4.1 ลูกค้า 3 รายที่เดินทางติดกันที่มีระยะทางมากที่สุดเป็นลูกค้ารายที่ 3, 4 และ 0 อยู่ที่ตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6 จากนั้นให้ลูกค้ารายที่ 4 ซึ่งอยู่ตำแหน่งที่ 5 นำไปสลับกับตำแหน่งที่สุ่มถ้ากำหนดให้สุ่มได้ตำแหน่งที่ 7 หลังจากการสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 7 คำตอบ คือ 0-1-2-0-3-5-0-4-0 แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปที่ 4.12 การสลับตำแหน่งที่ 5 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 6

จากตัวอย่างที่ 6 นี้ จะทำให้ได้คำตอบใหม่ทั้งหมด 6 คำตอบ ซึ่งเท่ากับวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 1 และ 2 คือ

คำตอบที่ 1 เท่ากับ 0-1-2-0-3-5-0-4-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 7)
คำตอบที่ 2 เท่ากับ 0-4-2-0-3-1-0-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 1)
คำตอบที่ 3 เท่ากับ 0-1-2-4-3-0-0-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 3)
คำตอบที่ 4 เท่ากับ 0-1-2-0-4-3-0-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 4)
คำตอบที่ 5 เท่ากับ 0-1-2-0-3-0-4-5-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 6)
คำตอบที่ 6 เท่ากับ 0-1-2-0-3-5-0-4-0 (ตำแหน่งที่สุ่มได้ คือ ตำแหน่งที่ 7)

4.6 การออกแบบการทำงานของวิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบ

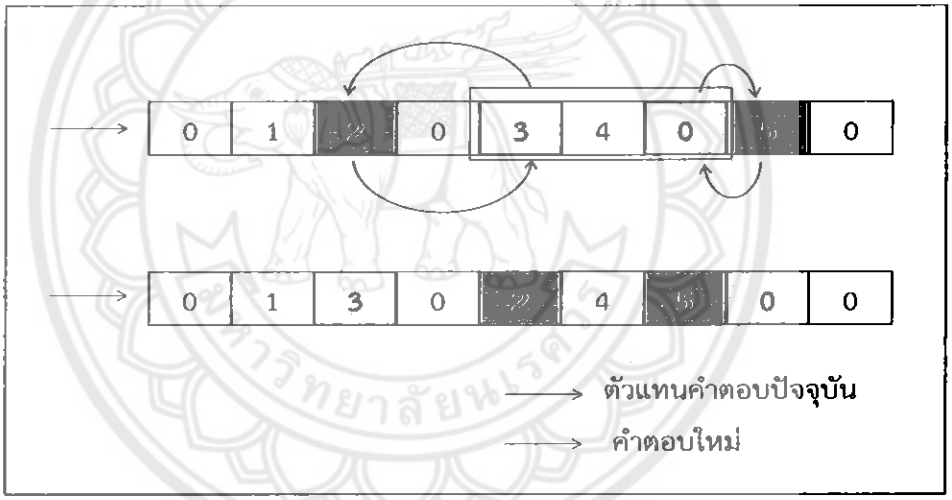
วิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบ คือ การปรับปรุงคำตอบโดยการนำเอาตัวแทนคำตอบที่ได้จากค่าคำตอบที่ดีที่สุด ในแต่ละรอบของการหาคำตอบจากวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่มาปรับปรุง โดยคำตอบที่ได้จากปรับปรุงอาจจะเป็นคำตอบที่ดี หรือแย่กว่าคำตอบที่นำมาปรับปรุง ซึ่งมีวิธีการปรับปรุงคำตอบ 3 วิธี คือ วิธีการรบกวนคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงวิธีที่ 1 วิธีการรบกวนคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงวิธีที่ 2 และวิธีการรบกวนคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงวิธีที่ 3 ซึ่งสามารถอธิบายรายละเอียดได้ ดังต่อไปนี้

4.6.1 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 1 (Perturbation 1 : PT1)

วิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบวิธีที่ 1 คือ การปรับปรุงคำตอบโดยการนำเอาตัวแทนคำตอบที่ได้จากค่าคำตอบที่ดีที่สุด จากวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่มาทำการปรับปรุง

ค่าคำตอบ โดยการเลือกลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะมากที่สุด แล้วให้ตัวหน้าและตัวหลังเป็นตัวหลัก จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบมาสองช่องแล้วนำไปสลับตำแหน่งกับตัวหลัก ซึ่งก็คือ ตัวหน้าและตัวหลัง เพื่อจะลดระยะทางให้น้อยลง โดยกระบวนการของการสลับตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ตามตัวอย่าง แสดงดังตัวอย่างที่ 7

ตัวอย่างที่ 7 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนคำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นหาลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด โดยลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ดังตารางที่ 4.1 คือ ช่องตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งมีลูกค้ารายที่ 3, 4 และ 0 ตามลำดับ เมื่อได้ลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุดแล้ว จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบ เพื่อที่จะนำมาสลับตำแหน่งกับตัวหน้าและตัวหลัง ซึ่งสุ่มได้ช่องตัวแทนคำตอบได้ลูกค้ารายที่ 2 ซึ่งอยู่ในช่องตำแหน่งที่ 2 และลูกค้ารายที่ 3 อยู่ในช่องตำแหน่งที่ 4 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งหลักกับตำแหน่งที่สุ่มได้ แสดงดังรูปที่ 4.13

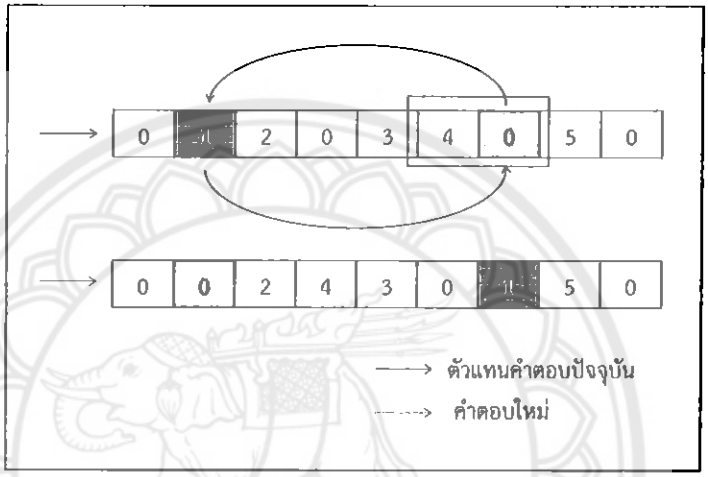


รูปที่ 4.13 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 4 สลับกับตำแหน่งที่ 2
และตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 7

4.6.2 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 2 (Perturbation 2 : PT2)

วิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบในพื้นที่วิธีที่ 2 คือ การปรับปรุงคำตอบโดยการนำเอาตัวแทนคำตอบที่ได้จากค่าคำตอบที่ดีที่สุด จากวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่มาทำการปรับปรุงค่าคำตอบ โดยการเลือกลูกค้า 2 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะมากที่สุด แล้วให้ตัวหลังเป็นตัวหลัก จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบมาหนึ่งช่องแล้วนำไปสลับตำแหน่งกับตัวหลัก ซึ่งก็คือ ตัวหลัง เพื่อจะลดระยะทางให้น้อยลง โดยกระบวนการของการสลับตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ แสดงดังตัวอย่างที่ 8

ตัวอย่างที่ 8 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนคำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นหาลูกค้า 2 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด โดยลูกค้า 2 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ดังตารางที่ 4.1 คือ ช่องตำแหน่งที่ 4 และ 0 ซึ่งมีลูกค้ารายที่ 5 และ 6 ตามลำดับ เมื่อได้ลูกค้า 2 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุดแล้ว จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบ เพื่อที่จะนำมาสลับตำแหน่งกับตัวหลัง ซึ่งสุ่มได้ช่องตัวแทนคำตอบได้ลูกค้ารายที่ 1 ซึ่งอยู่ในช่องตำแหน่งที่ 1 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งหลักกับตำแหน่งที่สุ่มได้ แสดงดังรูปที่ 4.14

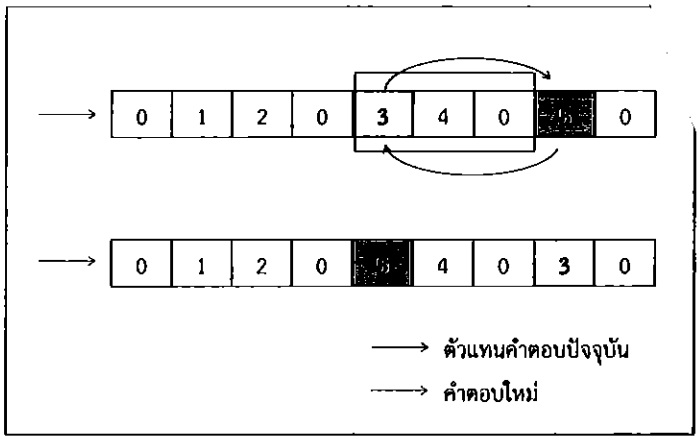


รูปที่ 4.14 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 6 สลับกับตำแหน่งที่ 1 จากตัวอย่างที่ 8

4.6.3 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 3 (Perturbation 3 : PT3)

วิธีการปรับปรุงค่าคำตอบของวิธีรบกวนคำตอบในพื้นที่วิธีที่ 3 คือ การปรับปรุงคำตอบโดยการนำเอาตัวแทนคำตอบที่ได้จากค่าคำตอบที่ดีที่สุด จากวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่มาทำการปรับปรุงค่าคำตอบ โดยการเลือกลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะมากที่สุด แล้วให้ตัวหน้าเป็นตัวหลัก จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบมาหนึ่งช่องแล้วนำไปสลับตำแหน่งกับตัวหลัก ซึ่งก็คือ ตัวหน้า เพื่อจะลดระยะทางให้น้อยลง โดยกระบวนการของการสลับตำแหน่ง สามารถอธิบายได้ แสดงดังตัวอย่างที่ 9

ตัวอย่างที่ 9 กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 3 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนตำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-0-5-0 ตามลำดับ ดังรูปที่ 4.2 จากนั้นหาลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด โดยลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด ดังตารางที่ 4.1 คือ ช่องตำแหน่งที่ 4, 5 และ 6 ซึ่งมีลูกค้ารายที่ 3, 4 และ 0 ตามลำดับ เมื่อได้ลูกค้า 3 รายที่อยู่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุดแล้ว จากนั้นทำการสุ่มช่องตัวแทนคำตอบ เพื่อที่จะนำมาสลับตำแหน่งกับตัวหน้า ซึ่งสุ่มได้ช่องตัวแทนคำตอบได้ลูกค้ารายที่ 5 ซึ่งอยู่ในช่องตำแหน่งที่ 7 จากนั้นทำการสลับตำแหน่งหลักกับตำแหน่งที่สุ่มได้ แสดงดังรูปที่ 4.15



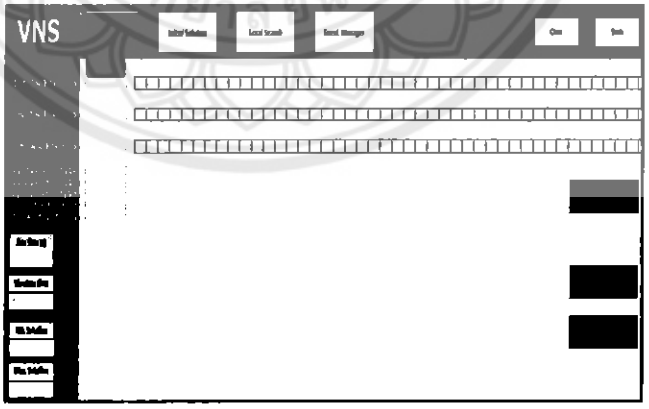
รูปที่ 4.15 ซึ่งแสดงการสลับตำแหน่งที่ 4 สลับกับตำแหน่งที่ 7 จากตัวอย่างที่ 9

4.7 วิธีการใช้งานโปรแกรมในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลโดยวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำอย่างย่อ

วิธีการใช้งานโปรแกรมในการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตด้วยวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำอย่างย่อ สามารถอธิบายได้ดังนี้

4.7.1 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output)

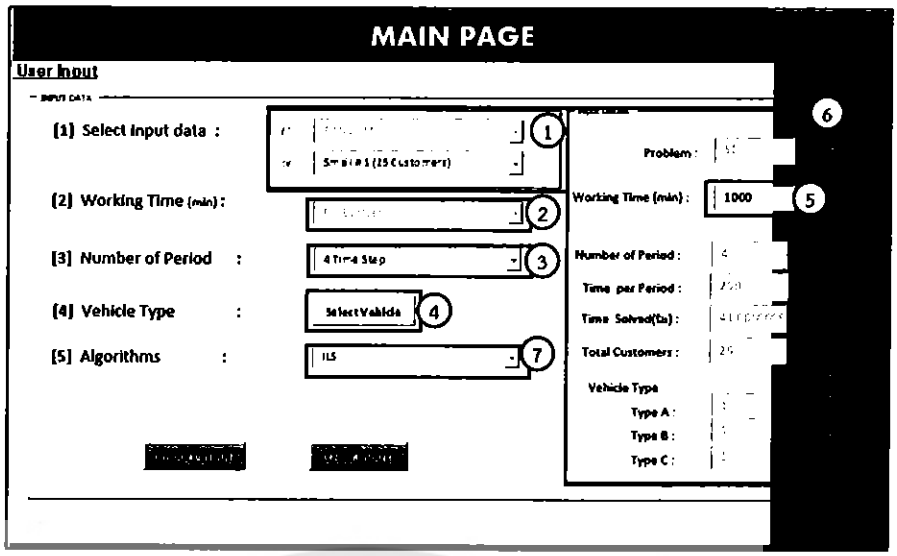
ก่อนเริ่มต้นโปรแกรมทุกครั้ง ต้องทำการล้างข้อมูลหน้า Output เพื่อล้างข้อมูลเก่าที่ค้างอยู่ แสดงดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงหน้า Output

4.7.2 เริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม

เมื่อเข้าสู่โปรแกรม จะพบกับหน้าโปรแกรมหลัก แสดงดังรูปที่ 4.17



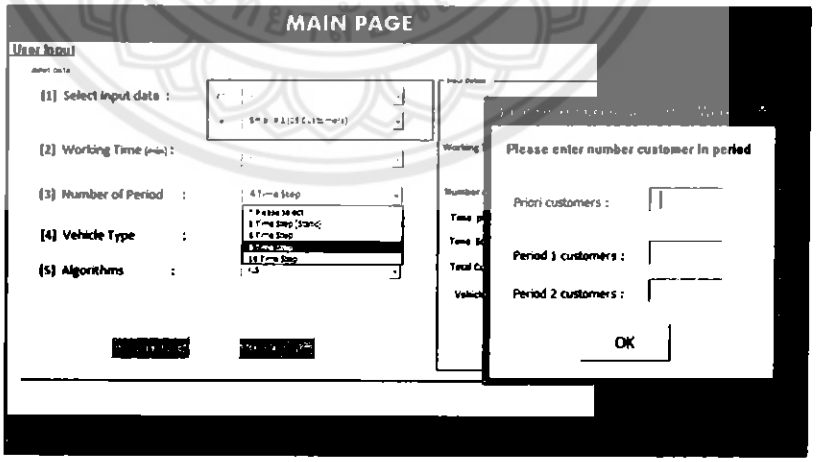
รูปที่ 4.17 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม

ในการกรอกข้อมูลลงในหน้า User Input นั้นแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

4.7.2.1 หมายเลขที่ 1 ให้ผู้ใช้เลือก Select Input Data แสดงดังรูปที่ 4.17

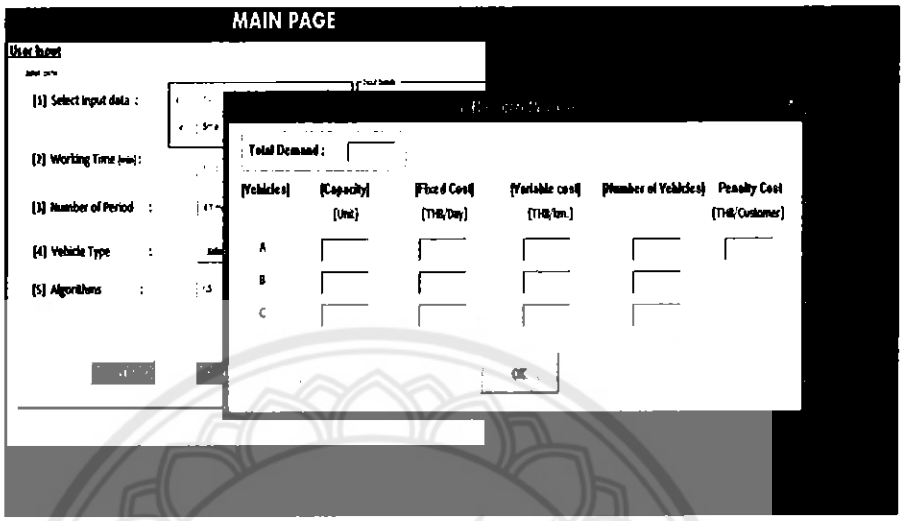
4.7.2.2 หมายเลขที่ 2 ให้ผู้ใช้เลือก Working Time (Second) แสดงดังรูปที่ 4.17

4.7.2.3 หมายเลขที่ 3 ให้ผู้ใช้เลือก Number of Period แสดงดังรูปที่ 4.17 จะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้กรอกจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง เมื่อกรอกครบแล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง

4.7.2.4 หมายเลขที่ 4 ให้ผู้ใช้กรอกจำนวนรถของแต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 4.16 เมื่อกดปุ่ม Select Vehicle แล้ว จะปรากฏหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนรถของแต่ละประเภท แล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.19

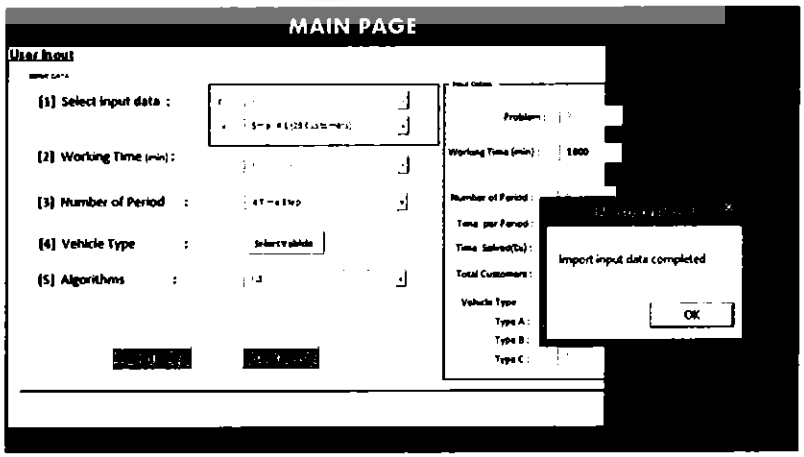


รูปที่ 4.19 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนรถของแต่ละประเภท

4.7.2.5 หมายเลขที่ 5 ให้ผู้ใช้กรอก Working Time (min) แสดงดังรูปที่ 4.17

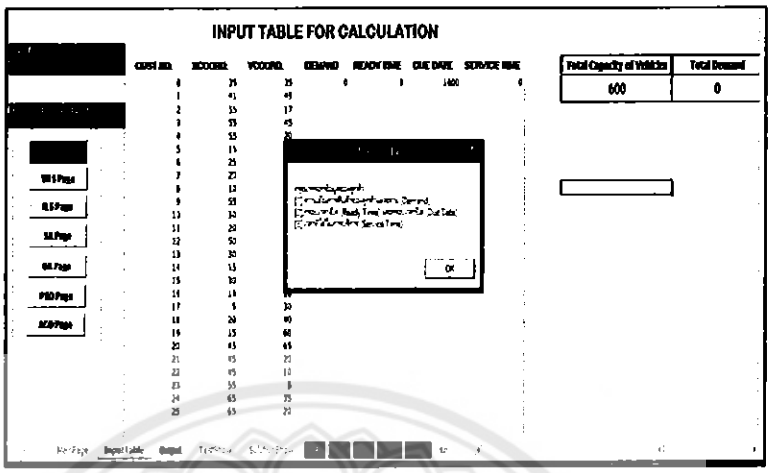
4.7.2.6 หมายเลขที่ 5 ให้ผู้ใช้ตรวจสอบสอบข้อมูลความถูกต้องของช่อง Input Details ว่าข้อมูลแสดงครบหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 4.17

4.7.2.7 หมายเลขที่ 6 ให้ผู้ใช้เลือก Algorithms เลือกวิธี ILS แสดงดังรูปที่ 4.17 แล้วกด Import input จะมีหน้าต่างขึ้นมาว่า “Import Input Data Completed” กดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.20 จะเข้าโปรแกรมใน Worksheet ILS



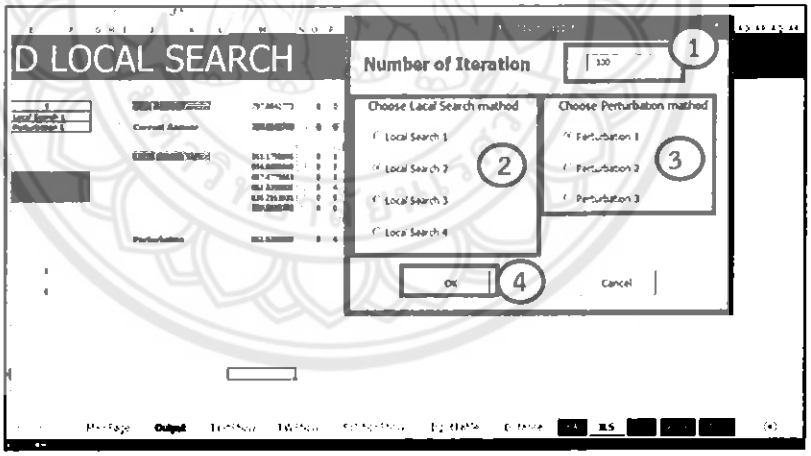
รูปที่ 4.20 แสดงหน้ายืนยันการกรอกข้อมูล

4.7.2.8 เมื่อผู้ใช้กดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.20 จะเข้าหน้า InputTable และจะมีหน้าต่างแสดงบอกให้กรอกค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 4.21



รูปที่ 4.21 แสดงหน้า InputTable

4.7.3 การกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียง**แบบทำซ้ำ**



รูปที่ 4.22 แสดงหน้าต่าง ILS Algorithms

ในการกรอกข้อมูลลงในหน้าต่าง ILS Algorithms นั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

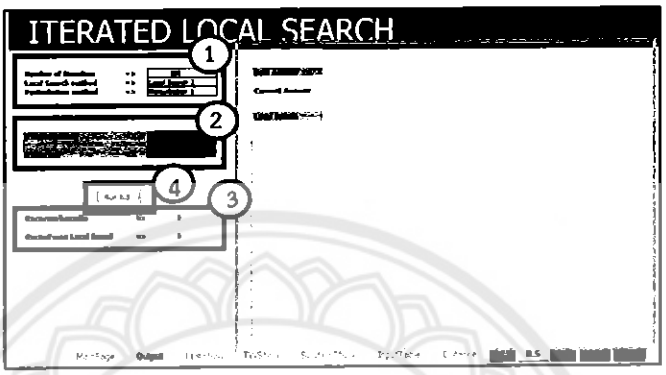
4.7.3.1 หมายเลขที่ 1 ให้ผู้ใช้กรอก Number of Iteration ที่ผู้ใช้ต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.22

4.7.3.2 หมายเลขที่ 2 ให้ผู้ใช้เลือก Choose Local Search Method ที่ผู้ใช้ต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.22

4.7.3.3 หมายเลขที่ 3 ให้ผู้ใช้เลือก Choose Perturbation Method ที่ผู้ใช้ต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.22

4.7.3.4 หมายเลขที่ 4 เมื่อกรอกข้อมูลครบเรียบร้อยแล้ว กดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.2

4.7.4 การตรวจสอบข้อมูลที่ผู้ใช้กรอก



รูปที่ 4.23 แสดงหน้า Worksheet ILS

ในการตรวจสอบข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกใน Worksheet ILS นั้นแบ่งออกเป็น 4 ส่วน ดังนี้

4.7.4.1 หมายเลขที่ 1 ทำการตรวจสอบว่าข้อมูลที่ผู้ใช้กรอกในหน้าต่าง ILS Algorithms ว่าถูกต้องหรือไม่ แสดงดังรูปที่ 4.23

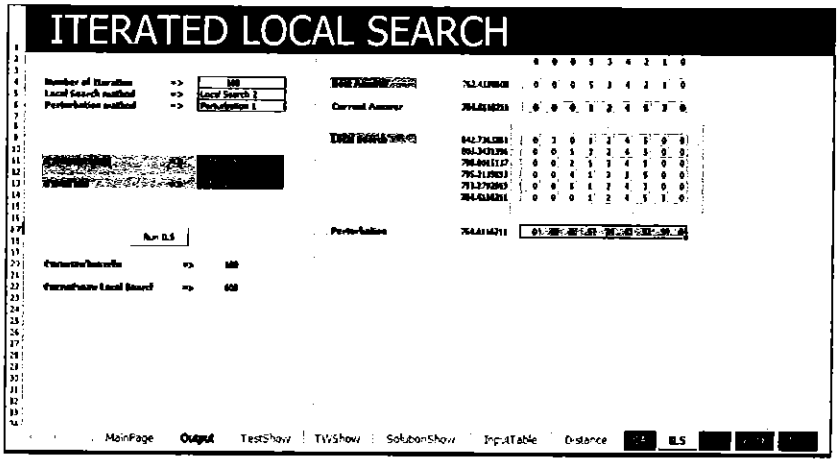
4.7.4.2 หมายเลขที่ 2 ทำการสอบว่าช่องคำตอบเดิมที่มีอยู่ และคำตอบใหม่ มีค่าเป็น 0 แสดงดังรูปที่ 4.23

4.7.4.3 หมายเลขที่ 3 ทำการตรวจสอบว่าช่องจำนวนรอบในการรัน และจำนวนคำตอบ Local Search มีค่าเป็น 0 แสดงดังรูปที่ 4.23

4.7.4.4 หมายเลขที่ 4 เมื่อทำการตรวจสอบข้อมูลเรียบร้อยแล้ว จากนั้นกดปุ่ม Run ILS ซึ่งโปรแกรมจะทำการล้างข้อมูลที่ค้างอยู่ในกรอบสีเหลือง

4.7.5 ตารางแสดงผลลัพธ์ของการค้นหาคำตอบ

เมื่อกรอกจำนวนของการทำซ้ำ และเลือกหัวข้อต่างๆ ที่ต้องการเรียบร้อยแล้วให้กดที่ปุ่ม Run ILS โปรแกรมจะทำการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัติด้วยวิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ แสดงดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดงผลลัพธ์ในการค้นหาคำตอบ

4.8 การวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) โดยใช้โปรแกรม Minitab 16

การวิเคราะห์ความแปรปรวนเป็นหนึ่งในวิธีการทางสถิติที่นิยมทำกันทั่วไปในการตัดสินใจทางสถิติ คือ การทดสอบสมมติฐาน ซึ่งในโปรแกรม Minitab 16 นั้นจะมีคำสั่งในการตั้งสมมติฐานมากมาย รวมถึงการวิเคราะห์ความแปรปรวน ซึ่งการวิเคราะห์ความแปรปรวนนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ว่า มีความแตกต่างระหว่างค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าให้กับลูกค้าโดยเป็นค่าของผลลัพธ์ ที่ได้จากวิธีการปรับปรุงคำตอบทั้งวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ และวิธีการรบกวนคำตอบ ซึ่งเป็นปัจจัยที่มีผลกระทบต่อค่าของผลลัพธ์อย่างมีนัยสำคัญทางสถิติหรือไม่

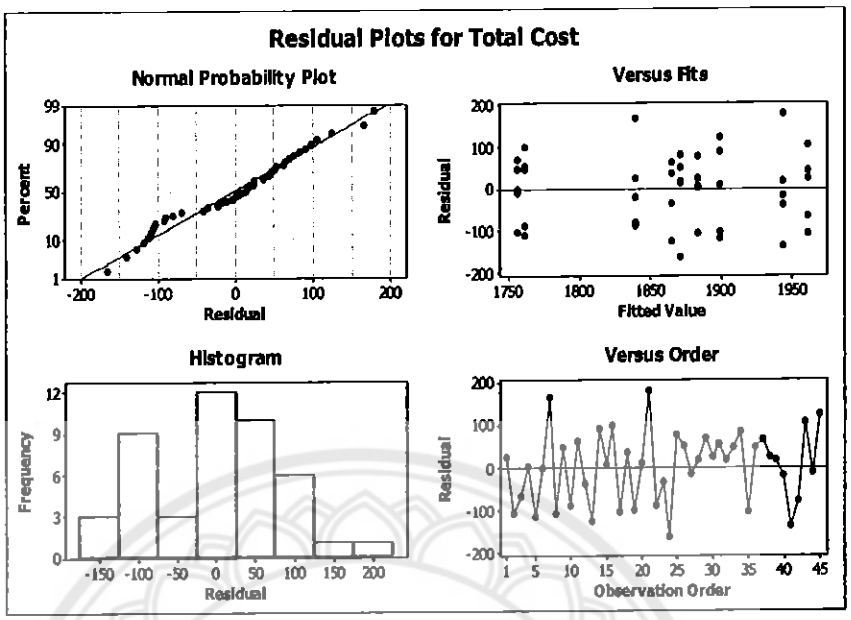
จากการทดลองสามารถเสนอผลการวิเคราะห์ผลกระทบการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบ ซึ่งตารางการวิเคราะห์จะนำเสนอค่า P-value ของผลกระทบหลักทุกพารามิเตอร์ และนำเสนอค่าเฉพาะค่า P-value ของพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบร่วมกัน ซึ่งมีค่าแตกต่างกันมีผลให้ค่าคำตอบแตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 เพื่อนำมาวิเคราะห์หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับปัญหา โดยแบ่งพิจารณาตามขนาดของปัญหา ซึ่งแสดงผลการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดเล็ก โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ในการวิเคราะห์ได้กำหนดตัวแปรโดย

PT คือ วิธีการรบกวนคำตอบ

LS คือ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่

4.8.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1



รูปที่ 4.25 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.25 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor	Type	Levels	Values
PT	fixed	3	PT1, PT2, PT3
LS	fixed	3	LS2, LS3, LS4

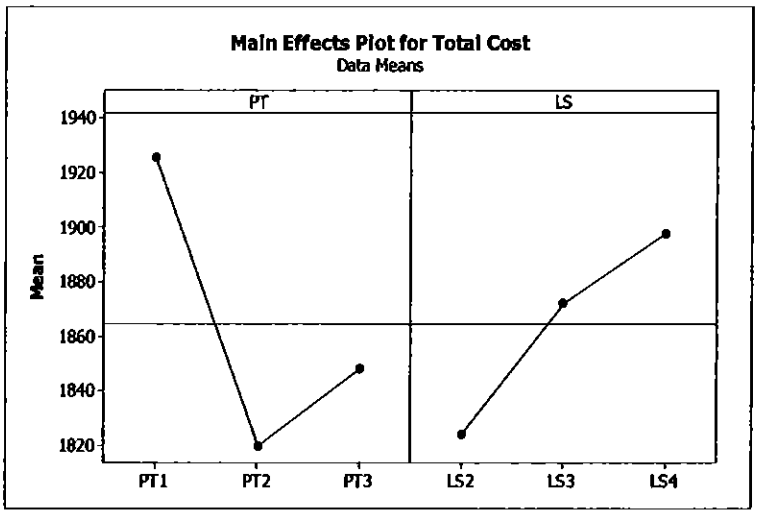
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PT	2	89665	89665	44832	5.17	0.011
LS	2	41595	41595	20797	2.40	0.105
PT*LS	4	70619	70619	17655	2.04	0.110
Error	36	312158	312158	8671		
Total	44	514036				

S = 93.1185 R-Sq = 39.27% R-Sq(adj) = 25.78%

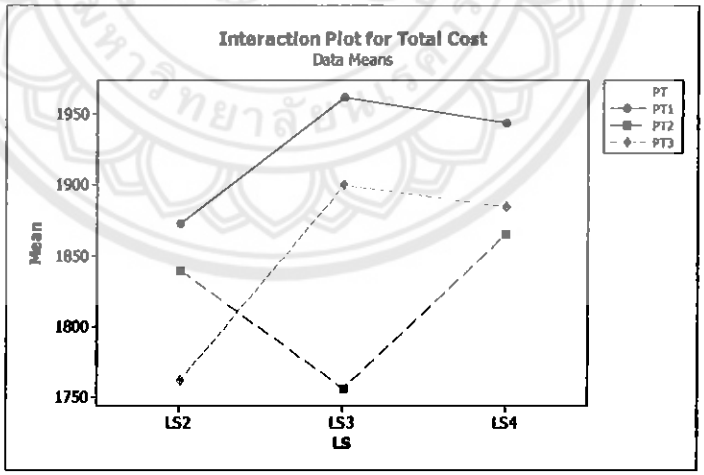
รูปที่ 4.26 ANOVA ปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.26 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดเล็ก โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ แก้ปัญหาพบว่าค่าพารามิเตอร์ PT มีค่า P-value เท่ากับ 0.011 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ PT มีผลในการแก้ปัญหาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มีผลให้คำตอบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.27 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.26 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของวิธีการรบกวนคำตอบ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.27 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบ ที่ PT2 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS2 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด

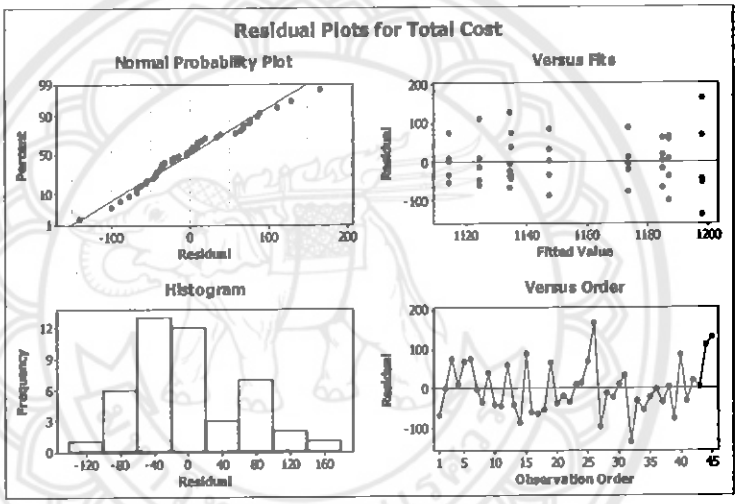


รูปที่ 4.28 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.26 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.28 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS3 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน จะเห็นว่า PT2LS2 ดังรูปที่ 4.23 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.24 จะเห็นว่า PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัยจะเห็นว่า PT มีผลต่อการหาคำตอบมากที่สุดส่วน LS ไม่มีผล เนื่องจากค่า P-value มากว่า 0.05 ดังนั้น ควรกำหนดพารามิเตอร์ PT เป็น PT2 ส่วน LS จะเลือกวิธีการใดก็ได้ เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.8.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2



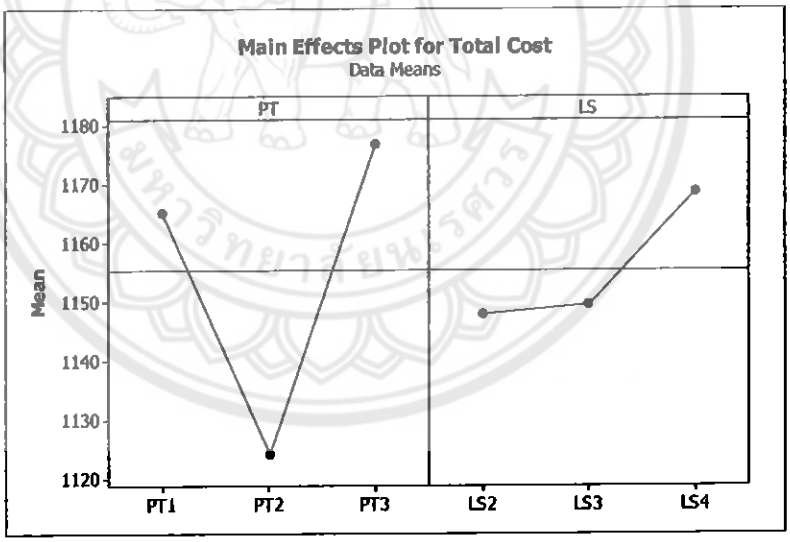
รูปที่ 4.29 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

จากรูปที่ 4.29 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

```
General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor  Type   Levels  Values
PT      fixed       3  PT1, PT2, PT3
LS      fixed       3  LS2, LS3, LS4

Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source  DF  Seq SS  Adj SS  Adj MS     F      P
PT       2   22884   22884   11442  2.28  0.117
LS       2    3992    3992    1996  0.40  0.675
PT*LS    4   11325   11325    2831  0.56  0.691
Error   36  180867  180867    5024
Total   44  219068

S = 70.8808   R-Sq = 17.44%   R-Sq(adj) = 0.00%
```

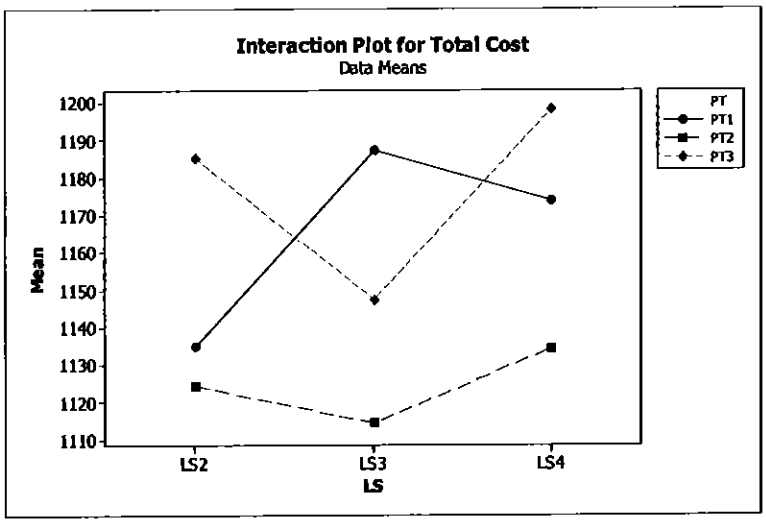
รูปที่ 4.30 ANOVA ปัญหาขนาดเล็กที่ 1

จากรูปที่ 4.30 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดเล็กที่ 2 โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำแก้ปัญหาพบว่าปัจจัยหลัก และปัจจัยร่วมที่มีค่าแตกต่างกัน ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน ในการแก้ปัญหาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาแล้ว จะพบว่า PT มี P-value น้อยกว่า LS และปัจจัยร่วม แสดงว่า มีโอกาสทำให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด



รูปที่ 4.31 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

จากรูปที่ 4.30 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ ปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน จากรูปที่ 4.31 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบ ที่ PT2 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS2 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด

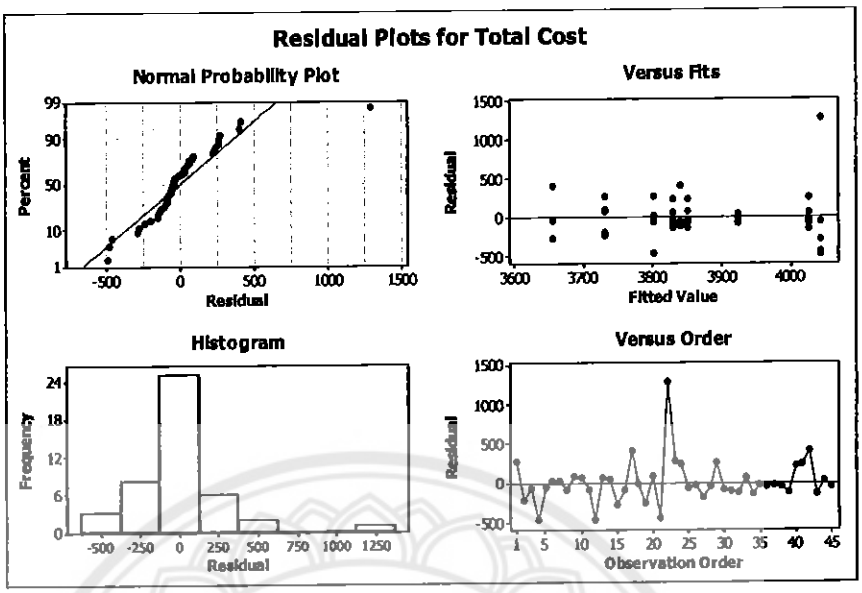


รูปที่ 4.32 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็กที่ 2

จากรูปที่ 4.30 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.32 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS3 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน ดังรูปที่ 4.28 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.29 จะเห็นว่า PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัย จะเห็นว่า PT และ LS ไม่มีผลเนื่องจากค่า P-value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ควรกำหนดพารามิเตอร์ PT และ LS จะเลือกวิธีการใดก็ได้ เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.8.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหากลางที่ 1



รูปที่ 4.33 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

จากรูปที่ 4.33 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor	Type	Levels	Values
PT	fixed	3	PL1, PT2, PT3
LS	fixed	3	LS2, LS3, LS4

Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

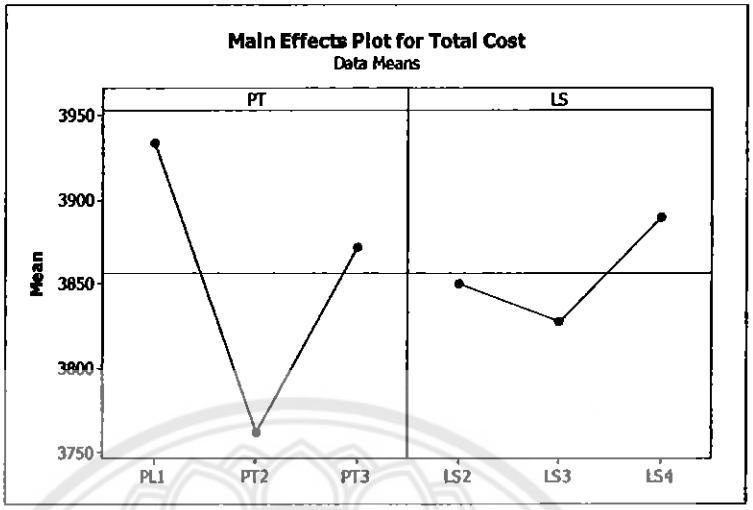
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PT	2	226658	226658	113329	1.18	0.319
LS	2	29651	29651	14826	0.15	0.858
PT*LS	4	394512	394512	98628	1.03	0.407
Error	36	3457435	3457435	96040		
Total	44	4108257				

S = 309.903 R-Sq = 15.84% R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.34 ANOVA ปัญหาขนาดกลางที่ 1

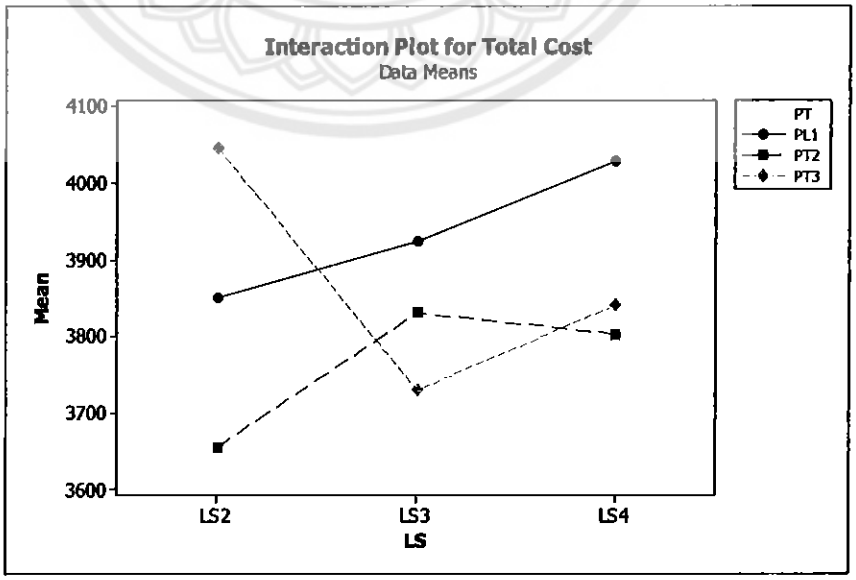
จากรูปที่ 4.34 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดกลางที่ 2 โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำแก้ปัญหา พบว่า ปัจจัยหลักและปัจจัยร่วมที่มีค่าแตกต่างกัน ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน ในการแก้ปัญหาที่ระดับ

ความเชื่อมั่นร้อยละ 95 แต่เมื่อพิจารณาแล้ว จะพบว่า PT มี P-value น้อยกว่า LS และปัจจัยร่วม แสดงว่า มีโอกาสทำให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด



รูปที่ 4.35 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

จากรูปที่ 4.34 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ ปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน จากรูปที่ 4.35 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบ ที่ PT2 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS3 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด

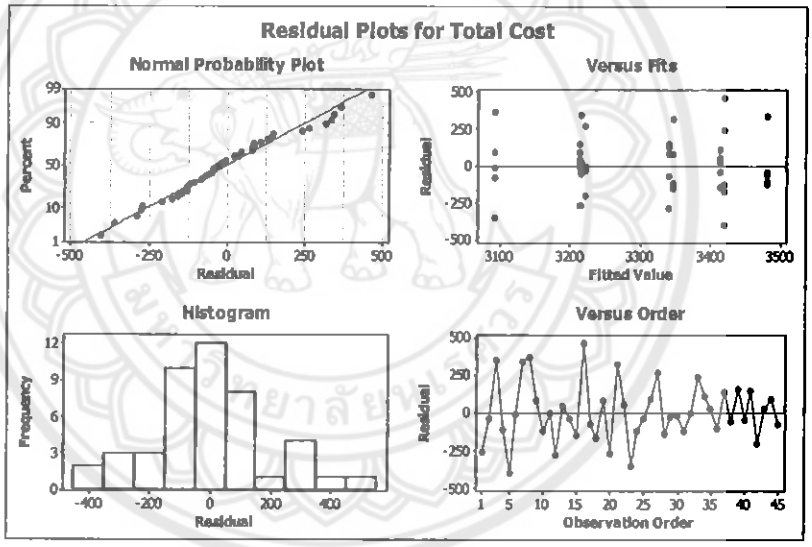


รูปที่ 4.36 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 1

จากรูปที่ 4.34 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.36 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS2 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ 2 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน ดังรูปที่ 4.32 จะเห็นว่า PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.33 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัย จะเห็นว่า PT และ LS มีค่า P-value มากกว่า 0.05 แต่ PT มีค่า P-value แรงกว่า LS ดังนั้นควรเลือกวิธีการ PT2LS2 เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.8.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหากลางที่ 2



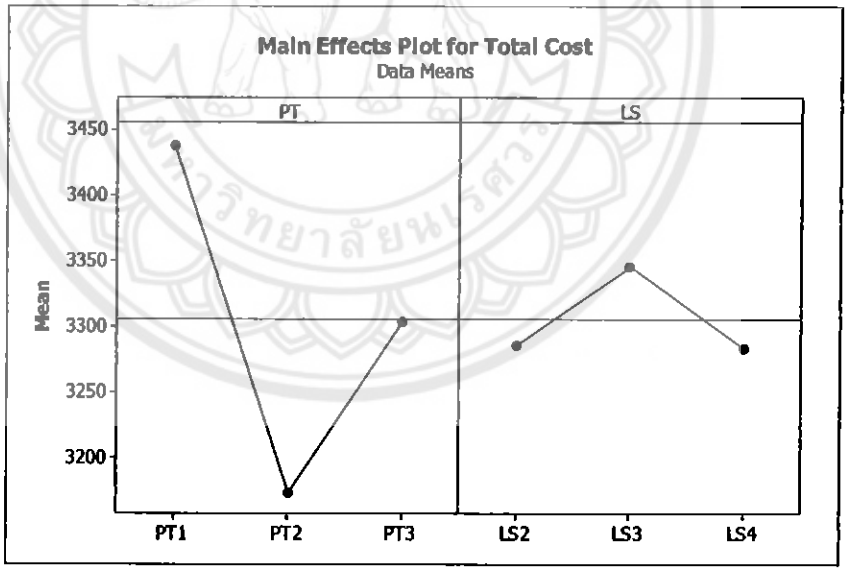
รูปที่ 4.37 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

จากรูปที่ 4.37 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

```
General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor  Type   Levels  Values
PT      fixed       3  PT1, PT2, PT3
LS      fixed       3  LS2, LS3, LS4


Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source  DF   Seq SS   Adj SS  Adj MS     F      P
PT       2   526922   526922  263461  5.70  0.007
LS       2    36743    36743   18372  0.40  0.675
PT*LS    4    76691    76691   19173  0.42  0.797
Error   36  1662779  1662779   46188
Total   44  2303135


S = 214.915   R-Sq = 27.80%   R-Sq(adj) = 11.76%
```

รูปที่ 4.38 ANOVA ปัญหาขนาดกลางที่ 2

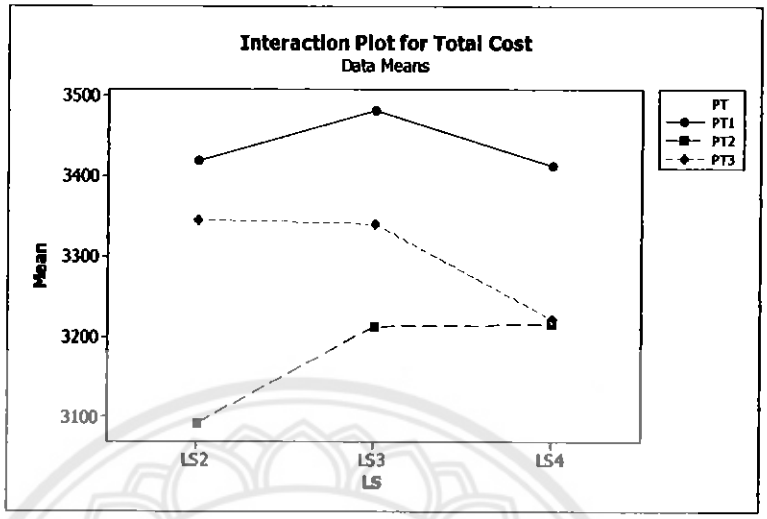
จากรูปที่ 4.38 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดกลางที่ 2 โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำแก้ปัญหา พบว่า ค่าพารามิเตอร์ PT มีค่า P-value เท่ากับ 0.007 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ PT มีผลในการแก้ปัญหาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มีผลให้คำตอบที่แตกต่างกัน



รูปที่ 4.39 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

จากรูปที่ 4.38 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของวิธีการรบกวนคำตอบ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.39 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบ ที่ PT2

และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS2 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด

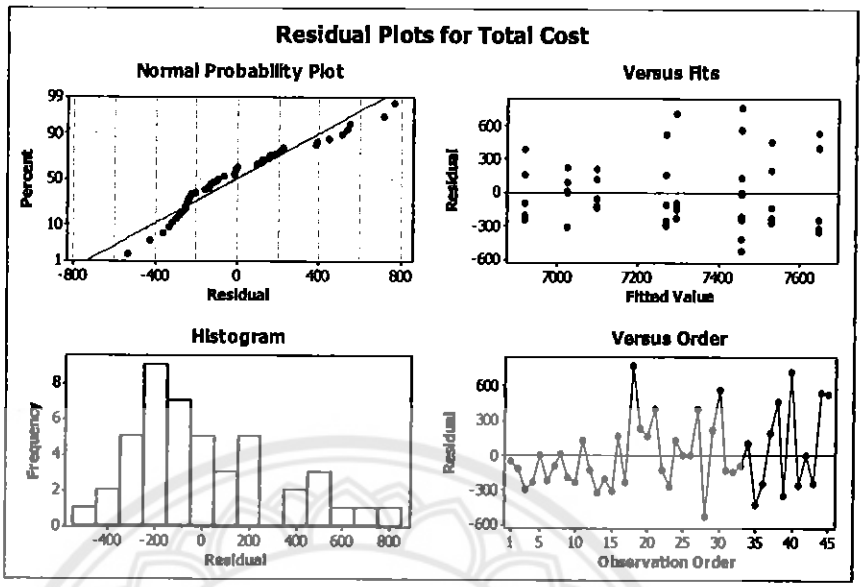


รูปที่ 4.40 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดกลางที่ 2

จากรูปที่ 4.38 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.40 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS2 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน ดังรูปที่ 4.39 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.40 จะเห็นว่า PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัยจะเห็นว่า PT มีผลต่อการหาคำตอบมากที่สุดส่วน LS ไม่มีผลเนื่องจากค่า P-value มากกว่า 0.05 ดังนั้น ควรกำหนดพารามิเตอร์ PT เป็น PT2 ส่วน LS จะเลือกวิธีการใดก็ได้ เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS3 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.8.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาใหญ่ที่ 1



รูปที่ 4.41 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

จากรูปที่ 4.41 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor	Type	Levels	Values
PT	fixed	3	PT1, PT2, PT3
LS	fixed	3	LS2, LS3, LS4

Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

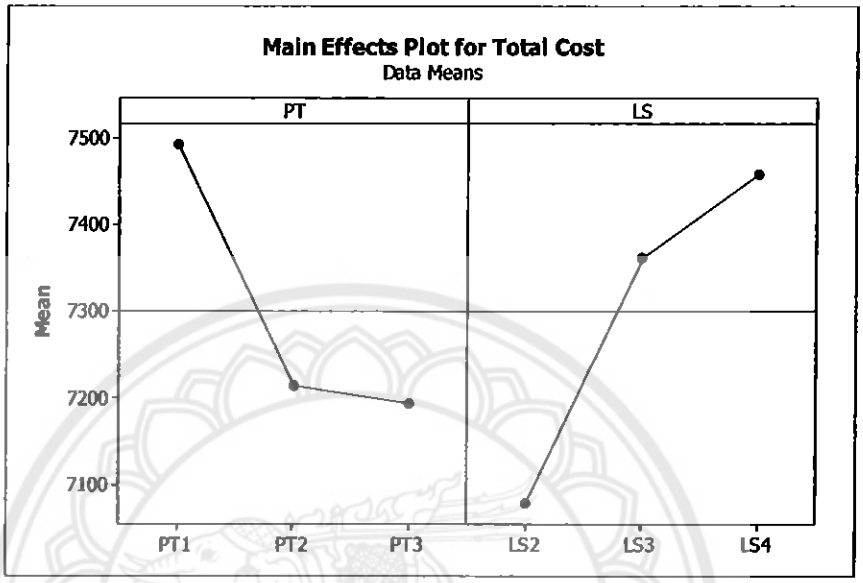
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PT	2	833184	833184	416592	3.49	0.041
LS	2	1164306	1164306	582153	4.88	0.013
PT*LS	4	442516	442516	110629	0.93	0.459
Error	36	4293094	4293094	119253		
Total	44	6733100				

S = 345.330 R-Sq = 36.24% R-Sq(adj) = 22.07%

รูปที่ 4.42 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

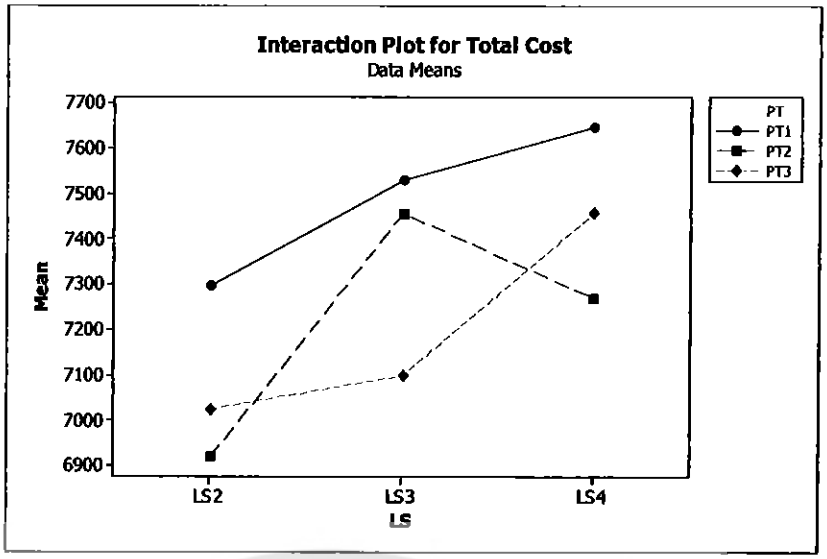
จากรูปที่ 4.42 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดใหญ่ที่ 1 โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ แก้ปัญหา พบว่า ค่าพารามิเตอร์ LS มีค่า P-value เท่ากับ 0.013 และ PT มีค่า P-value เท่ากับ 0.041 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น

ค่าพารามิเตอร์ LS และ PT มีผลในการแก้ปัญหาที่ระดับความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มีผลให้คำตอบที่แตกต่างกัน และพบว่า R-Square เท่ากับร้อยละ 36.24 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 36.24



รูปที่ 4.43 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

จากรูปที่ 4.42 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.43 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบที่ PT3 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS2 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด

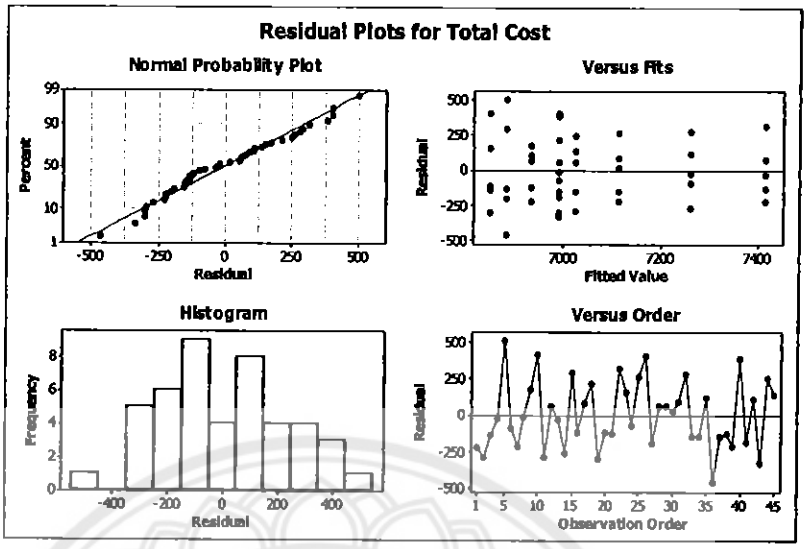


รูปที่ 4.44 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1

จากรูปที่ 4.42 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.42 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS2 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน ดังรูปที่ 4.43 จะเห็นว่า PT3LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.44 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัยจะเห็นว่า LS มีผลต่อการหาคำตอบมากที่สุดส่วน PT มีผลน้อย เนื่องจากค่า P-value ใกล้ 0.05 ดังนั้น ควรกำหนดพารามิเตอร์ PT เป็น PT2 หรือ PT3 ก็ได้ และควรกำหนดพารามิเตอร์ LS เป็น LS2 เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.8.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาใหญ่ที่ 2



รูปที่ 4.45 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.45 พบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะระฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่ได้มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติฐานที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus PT, LS

Factor	Type	Levels	Values
PT	fixed	3	PI1, PI2, PI3
LS	fixed	3	LS2, LS3, LS4

Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
PT	2	764960	764960	382480	5.85	0.006
LS	2	302297	302297	151149	2.31	0.113
PI*LS	4	308056	308056	77014	1.18	0.337
Error	36	2351922	2351922	65331		
Total	44	3727235				

S = 255.600 R-Sq = 36.90% R-Sq(adj) = 22.88%

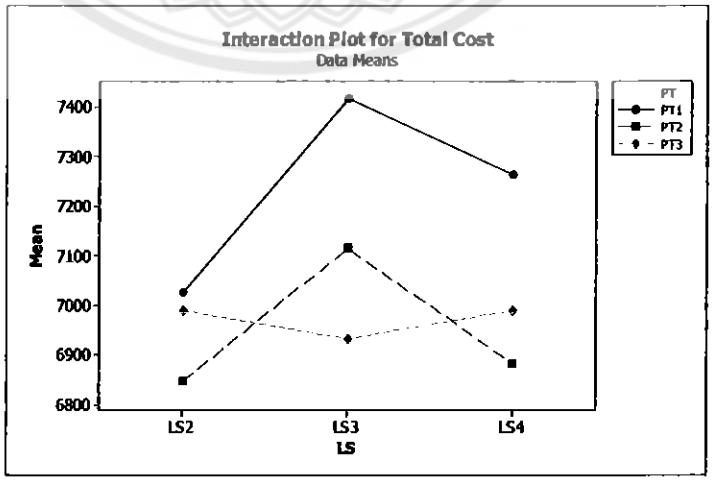
รูปที่ 4.46 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.46 แสดงให้เห็นถึงค่า P-value ที่ได้จากการวิเคราะห์ปัญหาในโจทย์ขนาดใหญ่ที่ 2 โดยใช้วิธีการหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ แก้ปัญหา พบว่า ค่าพารามิเตอร์ PT มีค่า P-value เท่ากับ 0.006 ซึ่งน้อยกว่าระดับนัยสำคัญ ดังนั้น ค่าพารามิเตอร์ PT มีผลในการแก้ปัญหาที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 สำหรับพารามิเตอร์อื่นๆ ที่มีค่าแตกต่างกันไม่มีผลให้คำตอบ

ที่แตกต่างกัน และพบว่า R-Square เท่ากับร้อยละ 36.90 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 36.90

รูปที่ 4.47 แสดง Main Effects Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.46 จะพบว่า เมื่อพิจารณาปัจจัยหลัก คือ วิธีการรบกวนคำตอบ และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 หลักการ การเปลี่ยนแปลงของวิธีการรบกวนคำตอบ จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.47 ควรกำหนดวิธีการรบกวนคำตอบ ที่ PT2 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ ที่ LS2 เป็นหลักการสลับที่ เนื่องจากทำให้มีค่าใช้จ่ายในการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับการส่งสินค้าต่ำที่สุด



รูปที่ 4.48 แสดง Interaction Plot for Total Cost ของปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2

จากรูปที่ 4.46 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยที่ส่งผลกระทบได้อย่างชัดเจน และจากรูปที่ 4.48 ควรกำหนดให้ใช้ PT2 และ LS2 เป็นหลักการสลับที่จะให้ค่าคำตอบต่ำที่สุด

ดังนั้น พารามิเตอร์ที่เหมาะสมกับโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 เมื่อแยกพิจารณา 2 ปัจจัยแยกกัน ดังรูปที่ 4.47 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด แต่เมื่อพิจารณา 2 ปัจจัยร่วมกัน ดังรูปที่ 4.48 จะเห็นว่า PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด และเมื่อทำการพิจารณาค่า P-value ของแต่ละปัจจัย จะเห็นว่า PT มีผลต่อการหาคำตอบมากที่สุดส่วน PT ดังนั้น ควรกำหนดพารามิเตอร์ PT เป็น PT2 ก็ได้ และควรกำหนดพารามิเตอร์ LS เป็น LS2 เพราะฉะนั้น เมื่อพิจารณาทั้ง P-value, Main Effects และ Interaction ร่วมกัน ควรกำหนดพารามิเตอร์เป็น PT2LS2 จะทำให้ค่าใช้จ่ายในการจัดยานพาหนะต่ำที่สุด

4.9 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลอง

ในโครงงานนี้ ได้มีการสร้างโจทย์ เพื่อทำการทดลองปัญหาขนาดละ 2 โจทย์ นั่นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ ซึ่งมีจำนวนลูกค้า 25 ราย จำนวนยานพาหนะ 3 คัน ปัญหาขนาดกลาง 2 โจทย์ ซึ่งมีจำนวนลูกค้า 50 ราย จำนวนยานพาหนะ 7 คัน ปัญหาขนนาดใหญ่ 2 โจทย์ ซึ่งมีจำนวนลูกค้า 100 ราย จำนวนยานพาหนะ 15 คัน โดยมีพารามิเตอร์ทั้งหมด 2 ตัว คือ วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งมี 3 วิธี ได้แก่ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 2 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 3 และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่วิธีที่ 4 และวิธีการการรบกวนคำตอบ ซึ่งมี 3 วิธี ได้แก่ วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 1 วิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 2 และวิธีการรบกวนคำตอบวิธีที่ 3 ในแต่ละโจทย์จะทำการรันพารามิเตอร์ทั้งหมด 9 ชุด ได้แก่ PT1LS2, PT1LS3, PT1LS4, PT2LS2, PT2LS3, PT2LS4, PT3LS2, PT3LS3 และ PT3LS4 จะมีการทำซ้ำทั้งหมด 5 ครั้ง

4.9.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็กทั้งหมด 2 ปัญหา

การแสดงผลลัพธ์เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำของปัญหาขนาดเล็ก เป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่าพารามิเตอร์ คือ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ และวิธีการรบกวนคำตอบ ซึ่งผู้ดำเนินโครงงาน ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยให้มีจำนวนคำตอบทั้งหมดเท่ากัน คือ 2,000 คำตอบ ซึ่งต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดเล็ก

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดเล็ก : โจทย์ปัญหาที่ 1				
PT1LS2	1,872.200	1,707.188	36.840	32.370
PT1LS3	1,961.575	1,853.313	40.006	32.380
PT1LS4	1,943.525	1,803.500	39.184	32.600
PT2LS2	1,846.575	1,759.063	38.656	32.540
PT2LS3	1,756.025	1,653.250	33.054	32.330
PT2LS4	1,865.013	1,737.563	41.660	32.670
PT3LS2	1,761.450	1,649.938	33.802	32.420
PT3LS3	1,899.663	1,781.063	41.758	32.260
PT3LS4	1,884.363	1,778.063	36.500	32.640

ตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS3 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,756.025 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น แสดงดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดเล็ก

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดเล็ก : โจทย์ปัญหาที่ 2				
PT1LS2	1,242.850	1,092.250	32.768	32.450
PT1LS3	1,187.063	1,087.688	32.966	32.590
PT1LS4	1,173.788	1,096.102	32.746	32.560
PT2LS2	1,124.225	1,062.250	32.780	32.470
PT2LS3	1,114.235	1,059.375	32.936	32.360
PT2LS4	1,134.288	1,067.188	32.820	32.570
PT3LS2	1,185.013	1,118.438	32.746	32.460
PT3LS3	1,147.325	1,059.250	32.846	32.430
PT3LS4	1,198.088	1,059.375	32.926	32.220

ตารางที่ 4.5 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดเล็ก ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS3 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,114.235 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น

4.9.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดกลางทั้งหมด 2 ปัญหา

การแสดงผลลัพธ์เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำของปัญหาขนาดกลาง เป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่าพารามิเตอร์ คือ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ และวิธีการรบกวนคำตอบ ซึ่งผู้ดำเนินโครงงาน ได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยให้มีจำนวนคำตอบทั้งหมดเท่ากัน คือ 2,000 คำตอบ ซึ่งต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดกลาง

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดกลาง : โจทย์ปัญหาที่ 1				
PT1LS2	3,850.738	3,702.500	62.362	52.740
PT1LS3	3,924.225	3,849.125	63.882	59.880
PT1LS4	4,027.525	3,873.810	71.606	59.740
PT2LS2	3,640.438	3,308.563	72.756	59.890
PT2LS3	3,830.250	3,695.750	74.270	61.260
PT2LS4	3,802.163	3,325.688	60.452	59.600
PT3LS2	4,045.088	3,559.875	60.576	59.450
PT3LS3	3,729.375	3,493.000	72.910	60.420
PT3LS4	3,840.338	3,713.000	78.416	59.750

ตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดกลาง ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS2 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 3,640.437 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น แสดงดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดกลาง

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดกลาง : โจทย์ปัญหาที่ 2				
PT1LS2	3,419.713	3,015.750	64.778	60.090
PT1LS3	3,480.300	3,354.625	69.442	60.970
PT1LS4	3,415.963	3,271.500	65.120	60.060
PT2LS2	3,092.213	2,733.125	60.796	60.250
PT2LS3	3,232.963	2,944.625	68.668	59.980
PT2LS4	3,215.688	2,944.438	66.354	60.420
PT3LS2	3,346.088	3,190.250	65.444	60.170
PT3LS3	3,321.413	3,053.688	69.386	59.910
PT3LS4	3,218.150	3,015.875	66.120	60.020

ตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดกลาง ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายที่รวมน้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS2 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 3,092.213 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น

4.9.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดใหญ่ทั้งหมด 2 ปัญหา

การแสดงผลลัพธ์เมื่อมีการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำของปัญหาขนาดใหญ่ เป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรมกับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยค่าพารามิเตอร์ คือ วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ และวิธีการรบกวนคำตอบ ซึ่งผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ โดยให้มีจำนวนคำตอบทั้งหมดเท่ากัน คือ 2,000 คำตอบ ซึ่งต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ของโปรแกรม แสดงดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดใหญ่

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดใหญ่ : โจทย์ปัญหาที่ 1				
PT1LS2	7,296.900	7,062.375	140.192	113.410
PT1LS3	7,351.451	7,252.750	140.186	113.420
PT1LS4	7,648.588	7,287.438	134.104	112.130
PT2LS2	6,918.138	6,669.875	152.822	146.620
PT2LS3	7,456.875	6,923.750	148.058	146.720
PT2LS4	7,270.013	6,973.000	140.424	112.940
PT3LS2	7,024.189	6,710.563	147.416	146.600
PT3LS3	7,098.575	6,962.313	133.922	113.070
PT3LS4	7,475.825	7,031.063	148.080	146.740

ตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 1 ของปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย และค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS2 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 6,918.138 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น

ตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดใหญ่

พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายรวม		เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)	
	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด	ค่าเฉลี่ย	น้อยที่สุด
ปัญหาขนาดใหญ่ : โจทย์ปัญหาที่ 2				
PT1LS2	7,025.138	6,731.688	127.606	113.720
PT1LS3	7,416.887	7,192.563	128.010	113.760
PT1LS4	7,262.488	6,994.375	127.556	113.700
PT2LS2	6,846.775	6,548.750	121.072	113.760
PT2LS3	7,113.910	6,894.500	114.210	113.800
PT2LS4	6,882.475	6,418.563	141.820	115.410
PT3LS2	6,989.225	6,653.250	127.749	113.960
PT3LS3	6,933.613	6,712.438	127.720	113.690
PT3LS4	6,989.525	6,689.813	134.198	113.750

ตารางที่ 4.9 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาที่ 2 ของปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งแสดงทั้งค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ทั้งค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ย ค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุด เวลาที่ใช้ในการประเมินผลโปรแกรม ทั้งเวลาเฉลี่ย และเวลาที่น้อยที่สุด

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งสินค้า พบว่า จากพารามิเตอร์ PT2LS2 จะให้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 6,846.775 ซึ่งบ่งบอกว่าคำตอบนั้นมีความแม่นยำของคำตอบมากกว่าแบบอื่น

4.10 การวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการเปรียบเทียบกับงานวิธีอื่น

การวิเคราะห์ผลการทดลอง และสรุปผลการเปรียบเทียบกับงานวิธีอื่น โดยจะนำค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด และค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำสุด เวลาที่ใช้ในการแก้ปัญหา การลู่ข้าวของแต่ละวิธี มาเปรียบเทียบกับวิธีอื่น 4 วิธี ได้แก่ วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO), วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) ว่าวิธีใดที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

4.10.1 การเปรียบเทียบของค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ย ของค่าใช้จ่ายรวมที่ได้กับงานวิธีอื่น และเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบ

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบของค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดที่ได้กับงานวิธีอื่น

ลักษณะของปัญหา	ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด				
	ILS	ACO	GA	SA	PSO
เล็ก 1	1,649.938	1,132.500	1,598.375	1,634.063	1,588.060
เล็ก 2	1,059.250	1,047.000	1,027.000	1,017.125	1,042.750
กลาง 1	3,308.563	3,055.500	3,502.313	3,176.000	3,683.880
กลาง 2	2,733.125	2,546.630	2,804.563	2,826.250	2,985.690
ใหญ่ 1	6,669.875	5,871.813	6,697.563	6,081.500	7,468.250
ใหญ่ 2	6,418.563	5,208.440	6,650.875	5,831.125	6,630.440

จากตารางที่ 4.10 สรุปได้ว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 1 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 1,132.500 ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 2 พบว่า วิธี SA ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 1,017.125 ในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง ปัญหาที่ 1 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 3,043.375 ในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง ปัญหาที่ 2 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 2,546.630 ในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ปัญหาที่ 1 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 5,871.813 และในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ปัญหาที่ 2 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 5,208.440 ดังนั้น พบว่า วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธี ACO เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 5 โจทย์ปัญหา และวิธี SA เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 1 โจทย์ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมที่ได้กับงานวิธีอื่น

ลักษณะของปัญหา	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม				
	ILS	ACO	GA	SA	PSO
เล็ก 1	1,756.025	1,539.030	1,742.040	1,721.288	1,682.560
เล็ก 2	1,114.235	1,079.000	1,064.950	1,078.763	1,120.780
กลาง 1	3,640.438	3,279.610	3,692.600	3,352.250	3,907.880
กลาง 2	3,092.213	2,767.960	3,083.190	2,924.275	3,120.130
ใหญ่ 1	6,918.138	6,149.610	7,248.760	6,231.900	7,633.990
ใหญ่ 2	6,846.775	5,447.840	6,979.700	6,052.7625	7,237.980

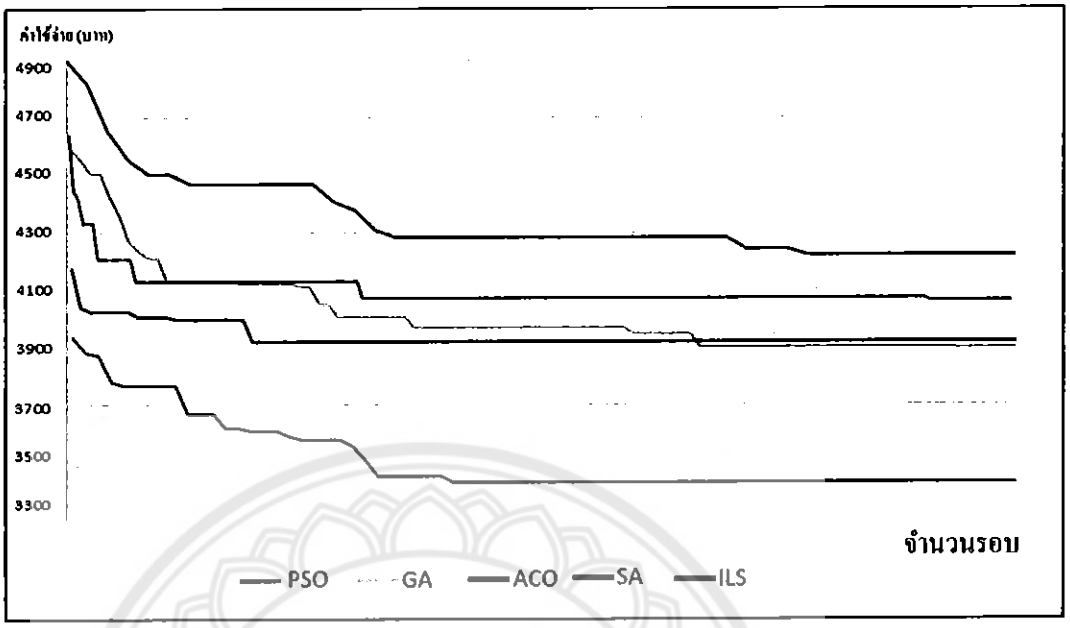
จากตารางที่ 4.11 สรุปได้ว่า ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 1 พบว่า วิธี ACO ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 1,539.030 ในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาที่ 2 พบว่า วิธี GA ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 1,064.950 ในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง ปัญหาที่ 1 งานวิธี ACO ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 3,279.610 ในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง ปัญหาที่ 2 งานวิธี ACO ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 2,767.960 ในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ปัญหาที่ 1 วิธี ACO ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 6,149.610 และในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ปัญหาที่ 2 วิธี ACO ให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำที่สุด คือ 5,447.840 ดังนั้น พบว่า วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธี ACO เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 5 โจทย์ปัญหา และวิธี GA เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 1 โจทย์ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งน้อยที่สุด

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี ILS กับวิธีอื่นๆ

ลักษณะของปัญหา	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)				
	ILS	ACO	GA	SA	PSO
เล็ก 1	16.880	23.760	40.700	21.830	37.640
เล็ก 2	17.120	30.640	41.200	16.070	38.670
กลาง 1	30.650	46.650	72.350	28.760	91.640
กลาง 2	30.570	38.500	74.440	29.410	92.360
ใหญ่ 1	74.020	124.020	175.370	56.640	175.220
ใหญ่ 2	57.230	75.400	175.070	61.980	176.170

จากตารางที่ 4.12 จะเห็นได้ว่า วิธี ILS จะใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่า วิธีอื่นๆ ทั้งหมด 2 ปัญหา คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 1 และปัญหาขนาดใหญ่ 2 ส่วน SA จะใช้เวลาน้อยสุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดกลาง 1 ปัญหาขนาดกลาง 2 ในปัญหาขนาดใหญ่ 1

4.10.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์การลู่เข้าของวิธี ILS กับวิธีอื่น



รูปที่ 4.49 กราฟแสดง Convergence ของแต่ละวิธี

จากรูปที่ 4.49 จะแสดงความเร็วในการลู่เข้าหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของแต่ละวิธี ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการประมวลผล 2,000 คำตอบ ใน 1 Period พบว่า วิธีที่ลู่เข้าเร็วที่สุดเป็นอันดับ 1 คือ วิธีอาณานิคมมด อันดับ 2 คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง อันดับ 3 คือ วิธีการรบกวนคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ 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

การการเปรียบเทียบผลต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยอื่น ซึ่งในโครงงานนี้ทางคณะผู้ดำเนินโครงงานได้นำผลการวิจัยของ การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ และคณะ (2557), การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน และคณะ (2557), การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวศิริวิมล แสนกงพลี และคณะ (2557), แก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวชนม์นิภา คำฤกษ์ และคณะ (2557) เพื่อมาเปรียบเทียบกับการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอาณานิคมมด ดังตารางที่ 4.10, 4.11 และ 4.12

4.11 สรุป

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ในบทนี้จะอธิบายถึงการสร้างตัวแทนคำตอบ และหาค่าคำตอบ ซึ่งในการสร้างตัวแทนคำตอบแต่ละครั้งหากตรวจสอบแล้วว่ามียานพาหนะคันใดเกินความจุ ต้องมีการซ่อมแซมคำตอบ เมื่อซ่อมค่าคำตอบเรียบร้อยแล้ว ก็จะนำคำตอบนั้นมาปรับปรุงเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในการรับสินค้า เพื่อลดจำนวนลูกค้าที่ได้รับสินค้าไม่ตรงกรอบเวลา จากนั้นมีการทำโครงสร้างของ ILS เพื่ออธิบายการทำงานว่าแต่ละส่วนทำงานอย่างไร ในการทำงานของ ILS จะมีพารามิเตอร์ที่ทำการออกแบบไว้ทั้งหมด 2 ตัว คือ วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งมี 4 วิธี คือ LS1, LS2, LS3 และ LS4 และวิธีการรบกวนคำตอบ ซึ่งมี 3 วิธี คือ PT1, PT2 และ PT3 เมื่อทำการออกแบบการทำงานของวิธีต่างๆแล้วทำการทดสอบโปรแกรม เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม โดยมีการหาคำตอบทั้งหมด 6 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาเล็ก 1 ปัญหาเล็ก 2 ปัญหากลาง 1 ปัญหากลาง 2 ปัญหาใหญ่ 1 และปัญหาใหญ่ 2 โดยมีการทำซ้ำในแต่ละโจทย์ทั้งหมด 5 ครั้ง ในการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมจะเลือกจากค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยต่ำสุด และทำการเลือกจากการทำ Minitab 16 ดูว่าสอดคล้องกันหรือไม่ และยังได้นำผลที่ได้ไปเปรียบเทียบกับวิธีอื่นอีก 4 วิธี คือ ACO, GA, PSO และ SA เพื่อดูว่าวิธีของผู้ดำเนินโครงงานอยู่ที่ลำดับที่เท่าไร และวิธีการใดเหมาะสมที่สุดในการใช้หาคำตอบในของแต่ละโจทย์ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

บทที่ 5

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

จากการดำเนินโครงงาน การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ สามารถสรุปผลการดำเนินโครงงาน ได้ดังนี้

ในการดำเนินโครงงานผู้วิจัยได้ทำการออกแบบ และสร้างโปรแกรมที่แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้า เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุด

จากนั้นผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการเขียนโปรแกรม เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ โดยใช้ VBA บน Microsoft Excel ซึ่งโปรแกรมที่ได้จะเป็นโปรแกรมที่มีการหาหาเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการขนส่งสินค้า เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบจากโจทย์ปัญหา 3 ประเภท จำนวน 6 ข้อ สามารถสรุปได้ว่าค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดของ ILS นี้ พบว่า

ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT3LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS3 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT3LS3 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS3 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

ปัญหาขนาดกลางที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

ปัญหาขนาดกลางที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด และถ้าพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุด จะเห็นว่า วิธี PT2LS2 จะให้ค่าคำตอบดีที่สุด

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุดกับโครงงานอื่น ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีอาณานิคมมด พบว่า

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.69 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีการอบอ่อนจำลอง ถึง 0.96 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.92 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 2 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.93 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.88 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.81 เท่า

ดังนั้น พบว่า วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธี ACO เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 5 โจทย์ปัญหา และวิธี GA เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 1 โจทย์ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งน้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยรวมที่ต่ำที่สุดกับโครงงานอื่น ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีอาณานิคมมด พบว่า

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 5 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.88 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดเล็กที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีการเชิงพันธุกรรม ถึง 0.96 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีการอบอ่อนจำลอง ถึง 0.90 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดกลางที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 4 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.90 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 1 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีการอบอ่อนจำลอง ถึง 0.89 เท่า

โจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ที่ 2 วิธีที่ค่าคำตอบรวมที่ต่ำที่สุด คือ วิธีอาณานิคมมด ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับงานของผู้ดำเนินโครงงานแล้ว พบว่า งานของผู้ดำเนินโครงงานมีประสิทธิภาพในการหาค่าคำตอบอยู่ในลำดับที่ 3 ซึ่งมีประสิทธิภาพด้อยกว่าวิธีอาณานิคมมด ถึง 0.90 เท่า

ดังนั้น พบว่า วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธี ACO เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 5 โจทย์ปัญหา และวิธี GA เหมาะสมกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 1 โจทย์ปัญหา เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมเฉลี่ยในการขนส่งน้อยที่สุด

จากการเปรียบเทียบเวลาในการหาคำตอบ จะเห็นว่า วิธี ILS ให้เวลาลาในการหาคำตอบน้อยสุด 2 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ปัญหาที่ 1 และปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ปัญหาที่ 2 ส่วนวิธี SA ให้เวลาลาในการหาคำตอบน้อยสุด 4 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ปัญหาที่ 2 ปัญหาขนาดกลางโจทย์ปัญหาที่ 1 ปัญหาขนาดกลางโจทย์ปัญหาที่ 2 และปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ปัญหาที่ 1

จากการเปรียบเทียบการลู่เข้า จะเห็นว่า วิธีอาณานิมดใช้จำนวนรอบในการลู่เข้าที่ไวกว่างานวิจัยอื่น คือ วิธีระบบมดลู่เข้ารอบที่ 20 วิธี SA ลู่เข้ารอบที่ 32 วิธี ILS ลู่เข้ารอบที่ 37 วิธี PSO ลู่เข้ารอบที่ 63 และวิธี GA ลู่เข้ารอบที่ 67

5.2 ปัญหาที่พบระหว่างดำเนินโครงงาน

5.2.1 เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานไม่มีความรู้เกี่ยวกับเมตาฮิวริสติก ทำให้ใช้เวลาในขั้นตอนการออกแบบเมตาฮิวริสติกพอสมควร

5.2.2 เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานไม่มีความรู้ในเรื่องการเขียนโปรแกรม VBA จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลอง

5.2.3 การเขียนโปรแกรม และทดสอบโปรแกรมต้องใช้เวลามาก

5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

5.3.1 ขอคำชี้แนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา และค้นคว้าจากผลงานวิจัยต่างๆ รวมถึงสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากอินเตอร์เน็ต

5.3.2 สอบถามจากผู้ที่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรม VBA ค้นคว้าจากผลงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และศึกษาจากหนังสือที่เขียนเกี่ยวกับ VBA รวมถึงสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากอินเตอร์เน็ต

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ในการดำเนินการปรับปรุงคำตอบให้ดีกว่า ACO ได้นั้น อาจจะมีรูปแบบที่หลากหลายที่จะทำให้ได้คำตอบที่ดีกว่า สะดวกกว่า และรวดเร็วกว่าในการประเมินผล โดยการใช้ประโยชน์จากโจทย์ คือ คำนึงถึงระยะทางระหว่างลูกค้ามาใช้ (แยกลูกค้าที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน) เช่น การหาลูกค้า 2 รายที่มีระยะทางติดกันมากที่สุด 2 คู่ เพื่อแยกลูกค้าที่มีระยะทางมากที่สุดออกจากกัน เป็นต้น ซึ่งอาจจะเป็นสาเหตุที่ต้องมีการศึกษาการปรับปรุงคำตอบหลายๆ แบบต่อไป

5.4.2 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้ได้กับกรณีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุ โดยที่ความจุนั้นต้องไม่เกินความจุสูงสุดของยานพาหนะเท่านั้น หากผู้ใช้จะนำไปใช้กับการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ สามารถนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาของท่านได้

5.4.3 ผู้ใช้ที่นำโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำไปใช้ ควรตรวจสอบก่อนว่าจำนวนความต้องการสินค้ารวมของลูกค้าทั้งหมดเพียงพอต่อจำนวนยานพาหนะหรือไม่

เอกสารอ้างอิง

ฐิตินนท์ ศรีสุวรรณดี และคณะ. (2555). **การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะด้วยวิธีการอาณานิคมมด กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด.** ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี. สืบค้นเมื่อ 1 กันยายน 2557, จาก http://www.resjournal.kku.ac.th/abstract/17_5_706.pdf.

ปิ่นนภา เกตุศรี และคณะ. (2555). **การหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุโดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

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

สายสัมพันธ์ ชุ้นเจริญ และคณะ. (2555). **การหาคำตอบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายโดยวิธีฮิวริสติก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Thomas Stützle and Luis Paquete. (2004). Iterated Local Search. สืบค้นเมื่อ 4 กันยายน 2557, จาก http://www.metaheuristics.net/index.php?main=3&sub=33.

ภาคผนวก ก

Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

ก. Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ

เพื่อสะดวกแก่ความเข้าใจ จะขอแบ่งการแสดงคำสั่งหรือ Source Code ตามลักษณะของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งดังนี้

ก.1 โค้ดการทำงานของปุ่ม OK

```
Private Sub CommandButton1_Click()

Unload ILS

Range("E4").Value = TextBox1.Text

If ILS_OptLocalSearch1 Then Range("E5") = "Local Search 1"

If ILS_OptLocalSearch2 Then Range("E5") = "Local Search 2"

If ILS_OptLocalSearch3 Then Range("E5") = "Local Search 3"

If ILS_OptLocalSearch4 Then Range("E5") = "Local Search 4"

If OptionButton6 Then Range("E6") = "Perturbation 1"

If OptionButton7 Then Range("E6") = "Perturbation 2"

If OptionButton8 Then Range("E6") = "Perturbation 3"

TextBox1.Value = "100"

End Sub
```

รูปที่ ก.1 แสดงคำสั่งเมื่อกดปุ่ม OK ให้โชว์วิธีการหาคำตอบใน Worksheet ILS

```
Private Sub UserForm_Initialize()

TextBox1.Value = "100"

ILS_OptLocalSearch2.Value = True

OptionButton6.Value = True

End Sub
```

รูปที่ ก.2 การล็อกค่าต่างๆในหน้า User form

ก.2 โค้ดการทำงานของปุ่ม Cancel

```
Private Sub CommandButton2_Click()

Unload ILS

End Sub
```

รูปที่ ก.3 แสดงคำสั่งเมื่อกดปุ่ม OK เพื่อให้หน้า User form หายไป

ก.3 โค้ดการทำงานของปุ่ม Run ILS

```
Private Sub ILS_run_Click()

Dim StartTime As Double

Dim FinishTime As Double

StartTime = Timer

Range("E27") = 0

Application.ScreenUpdating = False

Application.Calculation = xlCalculationManual

Randomize (1111)

'Randomize (2222)

'Randomize (3333)

'Randomize (4444)

'Randomize (5555)

Call Event_Manager
```

รูปที่ ก.4 การทำงานของปุ่ม Run ILS

```
Application.ScreenUpdating = True

Application.Calculation = xlCalculationAutomatic

FinishTime = Timer - StartTime

MsgBox "Finish!!!!!!!"

Range("E27") = FinishTime

End Sub
```

รูปที่ ก.4 (ต่อ) การทำงานของปุ่ม Run ILS

```
Private Sub Worksheet_Activate()

ILS.Show

Worksheets("ILS").Range("E11") = "0"

Worksheets("ILS").Range("E13") = "0"

Worksheets("ILS").Range("E20") = "0"

Worksheets("ILS").Range("E22") = "0"

End Sub
```

รูปที่ ก.5 การล็อกค่าเลข 0 ในหน้า Worksheet ILS

ก.4 โค้ดการทำงานใน ILS_Module

ก.4.1 การเรียกใช้โปรแกรม

```
Option Explicit

การประกาศตัวแปร

Dim ILS_CurSol() As Integer

Dim ILS_RndPos As Integer

Dim ILS_Temp As Integer
```

รูปที่ ก.6 การทำงานใน ILS_Module

```
Dim ILS_CurSolObj() As Double
Dim ILS_NewSol() As Integer
Dim ILS_NewSolObj() As Double
Dim ILS_LSMethod As String
Dim ILS_PTMethod As String
Dim ILS_NumIt As Integer
Dim ILS_MinObj As Double
Dim ILS_MinObjPos As Integer
Dim ILS_BestSolObj As Double
Dim ILS_BestSol() As Integer
Dim ILS_NumRes() As Integer
Dim ILS_Number() As Integer
Dim i As Integer
Dim j As Integer
Dim a As Integer
```

รูปที่ ก.6 (ต่อ) การทำงานใน ILS_Module

```
Public Sub ILS1()

ILS_LSMethod = Worksheets("ILS").Range("E5").Value
ILS_PTMethod = Worksheets("ILS").Range("E6").Value
ILS_NumIt = Int(2000 / (UBound(NowSol) + 1 - 3)) + 1

ReDim ILS_CurSol(0 To UBound(NowSol))
ReDim ILS_CurSolObj(1)
ReDim ILS_BestSol(0 To UBound(NowSol))
ReDim ILS_NumRes(0 To ILS_NumIt)
ReDim ILS_Number(1 To ILS_NumIt)

Call Paint
```

รูปที่ ก.7 แสดงการเรียกใช้งานโค้ดสี

```
'การสร้างคำตอบเริ่มต้น

For J = 0 To UBound(NowSol)
    ILS_CurSol(j) = NowSol(j)
    Worksheets("ILS").Range("O6").Offset(0, j) = ILS_CurSol(j)
Next j
```

รูปที่ ก.8 แสดงการการสร้างคำตอบเริ่มต้น

```
การนำคำตอบปัจจุบันไปแทนในช่องคำตอบที่ดีที่สุด
For i = 0 To UBound(NowSol)
    ILS_BestSol(i) = ILS_CurSol(i)
    Worksheets("ILS").Range("O4").Offset(0, i) = ILS_BestSol(i) Next i
    ILS_BestSolObj = ILS_CurSolObj(1)
    Worksheets("ILS").Range("M4").Offset(0) = ILS_BestSolObj
ILS_LSMethod = Worksheets("ILS").Range("E5")
ILS_PTMethod = Worksheets("ILS").Range("E6")
```

รูปที่ ก.9 แสดงการนำคำตอบปัจจุบันไปแทนในช่องคำตอบที่ดีที่สุด

```
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 = True Then Exit Sub
```

รูปที่ ก.10 แสดงการตรวจสอบการโอนค่าคำตอบ

```
'.....การรัน ILS.....
For a = 1 To ILS_NumIt
    ILS_Number(a) = a
    Worksheets("ILS").Range("E20").Offset(0) = ILS_Number(a) 'การนับจำนวนรอบในการ Run
    For j = 0 To UBound(NowSol) - 3
        Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(j, 0).Interior.Color = 14281213
    Next j
    ' เป็นขั้นตอนการเลือก Local Search
    Select Case ILS_LSMethod
    Case "Local Search 1"
        Call ILS_LS1
    Case "Local Search 2"
        Call ILS_LS2
    Case "Local Search 3"
        Call ILS_LS3
    Case "Local Search 4"
        Call ILS_LS4
   Case Else
        MsgBox "Please Enter Only Local Search 1, 2 ,3 or 4 and Start Again"
        Exit For
    End Select
```

รูปที่ ก.11 แสดงการเรียกใช้ Local Search

```
'โชว์จำนวนคำตอบที่สร้างจากวิธี LS
   ILS_NumRes(a) = ILS_NumRes(a - 1) + UBound(ILS_CurSol) - 2
   Worksheets("ILS").Range("E22").Offset(0) = ILS_NumRes(a)
```

รูปที่ ก.12 แสดงการโชว์จำนวนคำตอบที่ได้จากวิธี Local Search

```
Call ILS_Best
```

รูปที่ ก.13 แสดงการใช้งานการเช็คค่าคำตอบที่ดีที่สุด

```
'เป็นขั้นตอนการเลือก Perturbation
   Select Case ILS_PTMethod
      Case "Perturbation 1"
         Call ILS_PT1
      Case "Perturbation 2"
         Call ILS_PT2
      Case "Perturbation 3"
         Call ILS_PT3
      Case Else
       MsgBox "Please Enter Only Perturbation 1, 2 or 3 and Start Again"
         Exit For
      End Select
       For i = 0 To UBound(NowSol)
         Worksheets("ILS").Range("O2").Offset(0, i) = ILS_BestSol(i) 'ตรวจสอบว่าโอนไปให้พี่ปุ้ยถูกต้องหรือไม่
       Next i
Next a
For i = 0 To UBound(NowSol) 'โอนค่าที่ดีที่สุดให้พี่ปุ้ย
   NowSol(i) = ILS_BestSol(i)
Next i
Call Evaluate_count_vehicle

End Sub
```

รูปที่ ก.14 แสดงการใช้งานวิธี Perturbation

ก.4.2 ขั้นการทำงานของวิธีการ Local Search 1

```
Public Sub ILS_LS1()
ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3), 0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_MaxPair(0 To 1) As Integer
Dim ILS_MaxPairPos(0 To 1) As Integer
Dim Max As Double
Max = 0

For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      ILS_NewSol(i, j) = ILS_CurSol(j)
      Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
Next i
```

รูปที่ ก.15 แสดงการคัดลอกคำตอบเริ่มต้นของวิธี Local Search 1

```
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 2
   If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) > Max Then
      Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1))
      ILS_MaxPair(0) = ILS_CurSol(i)
      ILS_MaxPair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
      ILS_MaxPairPos(0) = i
      ILS_MaxPairPos(1) = i + 1
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.16 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 2 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Local Search 1

```
'การสลับตำแหน่ง
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   If i < ILS_MaxPairPos(0) - 1 Then
      ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 1)
      ILS_NewSol(i, i + 1) = ILS_NewSol(i, ILS_MaxPairPos(0))
      ILS_NewSol(i, ILS_MaxPairPos(0)) = ILS_Temp
   Else
       ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 2)
      ILS_NewSol(i, i + 2) = ILS_NewSol(i, ILS_MaxPairPos(0))
      ILS_NewSol(i, ILS_MaxPairPos(0)) = ILS_Temp
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.17 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 1

```
'โชว์ค่าการสลับ
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
Next i
```

รูปที่ ก.18 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 1

```
For i = 0 To UBound(NowSol) - 3
   For j = 0 To UBound(NowSol)
      NowSol(j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
   Call Evaluate_count_vehicle
   ILS_NewSolObj(i) = Objective
   Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(i, 0) = ILS_NewSolObj(i)
Next i

End Sub
```

รูปที่ ก.19 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Local Search 1

ก.4.3 ขั้นการทำงานของวิธีการ Local Search 2

```
.....เช็คระยะทาง 3 ตัวติดกัน ระทางมากที่สุด นำตัวกลางไปสลับกับทุกตำแหน่ง.....
Public Sub ILS_LS2()
'จำนวนคำตอบใหม่ จะเท่ากับ ILS_CurSol-2 คือไม่นับหัว และ ท้ายในการสลับ
ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3), 0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_TreePair(0 To 2) As Integer 'เก็บคู่ลูกค้าที่ระยะทางมากสุด
Dim ILS_TreePairPos(0 To 2) As Integer 'เก็บเลขตำแหน่งคู่ลูกค้าที่ระยะทางมากสุด
Dim Max As Double
Dim ILS_Keep As Double
Max = 0
'การก็อบคำตอบเริ่มต้น
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
        ILS_NewSol(i, j) = ILS_CurSol(j)
        Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
    Next j
Next i
```

รูปที่ ก.20 แสดงการคัดลอกคำตอบเริ่มต้นของวิธี Local Search 2

```
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i + 2)) >
Max Then
        Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i
+ 2))
        ILS_TreePair(0) = ILS_CurSol(i)
        ILS_TreePair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
        ILS_TreePair(2) = ILS_CurSol(i + 2)
        ILS_TreePairPos(0) = i
        ILS_TreePairPos(1) = i + 1
        ILS_TreePairPos(2) = i + 2
    End If
Next i
```

รูปที่ ก.21 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Local Search 2

```
'การนำตัวกลางสลับกับทุกตำแหน่ง
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   If i < ILS_TreePairPos(1) - 1 Then
      ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 1)
      ILS_NewSol(i, i + 1) = ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1))
      ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1)) = ILS_Temp
   Else
      ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 2)
      ILS_NewSol(i, i + 2) = ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1))
      ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1)) = ILS_Temp
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.22 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 2

```
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
Next i
```

รูปที่ ก.23 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 2

```
For i = 0 To UBound(NowSol) - 3
   For j = 0 To UBound(NowSol)
      NowSol(j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
   Call Evaluate_count_vehicle
   ILS_NewSolObj(i) = Objective
   Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(i, 0) = ILS_NewSolObj(i)
Next i

End Sub
```

รูปที่ ก.24 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Local Search 2

4.4 ขั้นการทำงานของวิธีการ Local Search 3

```
Public Sub ILS_LS3()
ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3), 0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_TwoPair(0 To 1) As Integer
Dim ILS_TwoPairPos(0 To 1) As Integer
Dim Max As Double
Dim ILS_Rnd As Double
Max = 0

For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      ILS_NewSol(i, j) = ILS_CurSol(j)
      Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
Next i
```

รูปที่ ก.25 แสดงการคัดลอกคำตอบเริ่มต้นของวิธี Local Search 3

```
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 2
   If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) > Max Then
      Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1))
      ILS_TwoPair(0) = ILS_CurSol(i)
      ILS_TwoPair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
      ILS_TwoPairPos(0) = i
      ILS_TwoPairPos(1) = i + 1
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.26 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 2 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Local Search 3

```
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   If i < ILS_TreePairPos(1) - 1 Then
      ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 1)
      ILS_NewSol(i, i + 1) = ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1))
      ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1)) = ILS_Temp
   Else
      ILS_Temp = ILS_NewSol(i, i + 2)
      ILS_NewSol(i, i + 2) = ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1))
      ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1)) = ILS_Temp
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.27 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 3

```
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
Next i
```

รูปที่ ก.28 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 3

```
For i = 0 To UBound(NowSol) - 3
   For j = 0 To UBound(NowSol)
      NowSol(j) = ILS_NewSol(i, j)
   Next j
   Call Evaluate_count_vehicle
   ILS_NewSolObj(i) = Objective
   Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(i, 0) = ILS_NewSolObj(i)
Next i

End Sub
```

รูปที่ ก.29 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Local Search 3

ก.4.5 ขั้นการทำงานของวิธีการ Local Search 4

```
Public Sub ILS_LS4()
ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3), 0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_TreePair(0 To 2) As Integer
Dim ILS_TreePairPos(0 To 2) As Integer
Dim Max As Double
Dim ILS_Keep As Double
Dim ILS_Rnd As Double
Max = 0

For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
        ILS_NewSol(i, j) = ILS_CurSol(j)
        Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
    Next j
Next i
```

รูปที่ ก.30 แสดงการคัดลอกคำตอบเริ่มต้นของวิธี Local Search 4

```
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i + 2)) >
Max Then
        Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i
+ 2))
        ILS_TreePair(0) = ILS_CurSol(i)
        ILS_TreePair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
        ILS_TreePair(2) = ILS_CurSol(i + 2)
        ILS_TreePairPos(0) = i
        ILS_TreePairPos(1) = i + 1
        ILS_TreePairPos(2) = i + 2
    End If
Next i
```

รูปที่ ก.31 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 2 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Local Search 4

```
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    ILS_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1
    ILS_Temp = ILS_NewSol(i, ILS_Rnd)
    ILS_NewSol(i, ILS_Rnd) = ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1))
    ILS_NewSol(i, ILS_TreePairPos(1)) = ILS_Temp
Next i
```

รูปที่ ก.32 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 4

```
For i = 0 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
        Worksheets("ILS").Range("O9").Offset(i, j) = ILS_NewSol(i, j)
    Next j
Next i
```

รูปที่ ก.33 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Local Search 4

```
For i = 0 To UBound(NowSol) - 3
    For j = 1 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = ILS_NewSol(i, j)
    Next j
    Call Evaluate_count_vehicle
    ILS_NewSolObj(i) = Objective
    Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(i, 0) = ILS_NewSolObj(i)
Next i
```

รูปที่ ก.34 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Local Search 4

ก.4.5 วิธีการ Perturbation 1

```
Public Sub ILS_PT1()
ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_ThirdPair(0 To 2) As Integer
Dim ILS_ThirdPairPos(0 To 2) As Integer
Dim Max As Double
Dim ILS_Keep As Double
Dim ILS_Rnd As Double
Max = 0
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i + 2))
> Max Then
      Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1),
 ILS_CurSol(i + 2))
      ILS_ThirdPair(0) = ILS_CurSol(i)
      ILS_ThirdPair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
      ILS_ThirdPair(2) = ILS_CurSol(i + 2)
      ILS_ThirdPairPos(0) = i
      ILS_ThirdPairPos(1) = i + 1
      ILS_ThirdPairPos(2) = i + 2
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.35 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Perturbation 1

```
ILS_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1 'ÒÃÊØèÁ
ILS_Temp = ILS_CurSol(ILS_Rnd)
ILS_CurSol(ILS_Rnd) = ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(0))
ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(0)) = ILS_Temp
'ÍÓµÑÇËÅÑ§ÊÅÑº¡Ñº¡µÓáË¹è§·ÖèÊØèÁ
ILS_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1
ILS_Temp = ILS_CurSol(ILS_Rnd)
ILS_CurSol(ILS_Rnd) = ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(2))
ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(2)) = ILS_Temp
```

รูปที่ ก.35 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 1

```
For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
   Worksheets("ILS").Range("O8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, j) = ILS_CurSol(j)
Next j
```

รูปที่ ก.36 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 1

```
For j = 0 To UBound(NowSol)
   NowSol(j) = ILS_CurSol(j)
Next j
Call Evaluate_count_vehicle
ILS_CurSolObj(1) = Objective
Worksheets("ILS").Range("M8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0) = ILS_CurSolObj(1)

End Sub
```

รูปที่ ก.37 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Perturbation 1

ก.4.6 วิธีการ Perturbation 2

```
Public Sub ILS_PT2()

ReDim ILS_NewSol(0 To UBound(ILS_CurSol))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_SecondPair(0 To 1) As Integer
Dim ILS_SecondPairPos(0 To 1) As Integer
Dim Max As Double
Dim ILS_Rnd As Double
Max = 0
```

รูปที่ ก.38 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Perturbation 2

```
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 2
   If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) > Max Then
      Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1))
      ILS_SecondPair(0) = ILS_CurSol(i)
      ILS_SecondPair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
      ILS_SecondPairPos(0) = i
      ILS_SecondPairPos(1) = i + 1
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.38 (ต่อ) แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Perturbation 2

```
ILS_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1
ILS_Temp = ILS_CurSol(ILS_Rnd)
ILS_CurSol(ILS_Rnd) = ILS_CurSol(ILS_SecondPairPos(1))
ILS_CurSol(ILS_SecondPairPos(1)) = ILS_Temp
```

รูปที่ ก.39 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 2

```
For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
   Worksheets("ILS").Range("O8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, j) = ILS_CurSol(j)
Next j
```

รูปที่ ก.40 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 2

```
For j = 0 To UBound(NowSol)
   NowSol(j) = ILS_CurSol(j)
Next j
Call Evaluate_count_vehicle
ILS_CurSolObj(1) = Objective
Worksheets("ILS").Range("M8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0) = ILS_CurSolObj(1)

End Sub
```

รูปที่ ก.41 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Perturbation 2

ก.4.7 วิธีการ Perturbation 3

```
Public Sub ILS_PT3()

ReDim ILS_NewSol(0 To (UBound(ILS_CurSol)))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))
Dim ILS_ThirdPair(0 To 2) As Integer
Dim ILS_ThirdPairPos(0 To 2) As Integer
Dim Max As Double
Dim ILS_Keep As Double
Dim ILS_Rnd As Double
Max = 0

For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 3
   If Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i + 2)) >
Max Then
      Max = Cust_Distance(ILS_CurSol(i), ILS_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(ILS_CurSol(i + 1), ILS_CurSol(i
+ 2))
```

รูปที่ ก.42 แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Perturbation 3

```
 ILS_ThirdPair(0) = ILS_CurSol(i)
      ILS_ThirdPair(1) = ILS_CurSol(i + 1)
      ILS_ThirdPair(2) = ILS_CurSol(i + 2)
      ILS_ThirdPairPos(0) = i
      ILS_ThirdPairPos(1) = i + 1
      ILS_ThirdPairPos(2) = i + 2
   End If
Next i
```

รูปที่ ก.42 (ต่อ) แสดงการตรวจสอบระยะทาง 3 ตัวที่อยู่ติดกันของวิธี Perturbation 3

```
ILS_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1 'ÒÃÊØèÀ
ILS_Temp = ILS_CurSol(ILS_Rnd)
ILS_CurSol(ILS_Rnd) = ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(0))
ILS_CurSol(ILS_ThirdPairPos(0)) = ILS_Temp
```

รูปที่ ก.43 แสดงการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 3

```
For j = 0 To UBound(ILS_CurSol)
    Worksheets("ILS").Range("O8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, j) = ILS_CurSol(j)
Next j
```

รูปที่ ก.44 แสดงการโชว์ค่าการสลับตำแหน่งของวิธี Perturbation 3

```
For j = 0 To UBound(NowSol)
    NowSol(j) = ILS_CurSol(j)
Next j
Call Evaluate_count_vehicle
ILS_CurSolObj(1) = Objective
Worksheets("ILS").Range("M8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0) = ILS_CurSolObj(1)

End Sub
```

รูปที่ ก.45 แสดงการประเมินค่าคำตอบของวิธี Perturbation 3

ก.4.8 แสดงโค้ดการหาคำตอบที่ดีที่สุด

```
'การเช็คค่าคำตอบที่ดีที่สุด (ดูว่าค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด)
Public Sub ILS_Best()
ILS_MinObj = ILS_NewSolObj(0) ให้คำตอบใหม่แถวแรกเป็นคำตอบที่น้อยที่สุด
ILS_MinObjPos = 0  ให้คำตอบใหม่แถวแรกเป็นตำแหน่งที่ 0

'ตรวจค่าคำตอบว่าตัวไหนน้อยที่สุดในการทำ LS
For i = 1 To UBound(ILS_CurSol) - 3
    If ILS_NewSolObj(i) < ILS_MinObj Then
        ILS_MinObj = ILS_NewSolObj(i)
        ILS_MinObjPos = i
    End If
Next i

    Worksheets("ILS").Range("M9").Offset(ILS_MinObjPos).Interior.Color = 6737151
    Worksheets("ILS").Range("E13").Offset(0) = ILS_MinObj 'คำตอบใหม่
```

รูปที่ ก.46 แสดงการตรวจสอบค่าคำตอบที่น้อยที่สุด

```
เปรียบเทียบคำตอบใหม่ที่น้อยที่สุดกับคำตอบปัจจุบัน
If ILS_MinObj <= ILS_CurSolObj(1) Then
   For i = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      ILS_CurSol(i) = ILS_NewSol(ILS_MinObjPos, i)
   Next i
   ILS_CurSolObj(1) = ILS_MinObj
```

รูปที่ ก.47 แสดงการเปรียบเทียบคำตอบใหม่กับคำตอบเก่า

```
โอนค่าลูกค้าแต่ละรายไปยัง Best Answer
   For i = 0 To UBound(ILS_CurSol)
      Worksheets("ILS").Range("O6").Offset(0, i) = ILS_CurSol(i)
   Next i
     Worksheets("ILS").Range("M6").Value = ILS_CurSolObj(1)

  If ILS_CurSolObj(1) <= ILS_BestSolObj Then
     For i = 0 To UBound(NowSol)
        ILS_BestSol(i) = ILS_CurSol(i)
        Worksheets("ILS").Range("O4").Offset(0, i) = ILS_BestSol(i)
     Next i
     ILS_BestSolObj = ILS_CurSolObj(1)
  End If
     Worksheets("ILS").Range("M4").Offset(0) = ILS_BestSolObj
End If
  Worksheets("ILS").Range("E11").Offset(0) = ILS_MinObj 'คำตอบเก่า

End Sub
```

รูปที่ ก.48 แสดงการโอนลูกค้าไปยังคำตอบที่ดีที่สุด

ก.4.9 แสดงโค้ดการเทสี

```
'.....โค้ดสี.....
Public Sub Paint()
ReDim ILS_NewSol(0 To UBound(ILS_CurSol))
ReDim ILS_NewSolObj(0 To (UBound(ILS_CurSol) - 3))

Worksheets("ILS").Range("M4:BY1000").ClearContents
Worksheets("ILS").Range("L2:BY1000").Clear
Worksheets("ILS").Range("J10:K500").Clear
```

รูปที่ ก.50 แสดงโค้ดการเทสี

มหาวิทยาลัยนเรศวร

```
.....การใส่สีพื้นหลังสีเขียว....
With Worksheets("ILS").Range("L2")
    Worksheets("ILS").Range(.Offset(0, 0), .Offset((UBound(ILS_CurSol) + 50), (UBound(ILS_CurSol) +
50))).Select
End With
  With Selection.Interior
      .Pattern = xlSolid
      .PatternColorIndex = xlAutomatic
      .Color = 15853276
      .TintAndShade = 0
      .PatternTintAndShade = 0
  End With

.....การใส่พื้นลังสีเทา.....
Worksheets("ILS").Range("J10:K500").Select
  With Selection.Interior
      .Pattern = xlSolid
      .PatternColorIndex = xlAutomatic
      .Color = 14277081
      .TintAndShade = 0
      .PatternTintAndShade = 0
  End With
  .....เทสีช่วงคำตอบที่ดีที่สุด.....
Worksheets("ILS").Range("M4").Offset(0, 0).Interior.Color = 13434879

With Worksheets("ILS").Range("O4")
    Worksheets("ILS").Range(.Offset(0, 0), .Offset(0, (UBound(ILS_CurSol)))).Select
End With

  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
  End With
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
End With
With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
End With

With Selection.Interior
    .Pattern = xlSolid
    .PatternColorIndex = xlAutomatic
    .Color = 13434879
End With
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
.....เทสีช่องคำตอบเริ่มต้น.....
Worksheets("ILS").Range("M6").Offset(0, 0).Interior.Color = 6737151

With Worksheets("ILS").Range("O6")
    Worksheets("ILS").Range(.Offset(0, 0), .Offset(0, (UBound(ILS_CurSol)))).Select
End With
   With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
   End With
   With Selection.Borders(xlEdgeTop)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
   End With
   With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
   End With
   With Selection.Borders(xlEdgeRight)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
   End With
With Selection.Borders(xlInsideVertical)
      .LineStyle = xlContinuous
      .ThemeColor = 1
      .TintAndShade = -0.349986266670736
      .Weight = xlThin
   End With
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With

    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 6737151
    End With

For j = 0 To UBound(NowSol) + 2 '....ªèÍ§ÇÍº¹ÊÕªÁ¾Ù
    Worksheets("ILS").Range("N8").Offset(0, j).Interior.Color = 16751103
    Worksheets("ILS").Range("N8").Offset(UBound(ILS_CurSol) - 1, j).Interior.Color = 16751103
Next j

For j = 0 To UBound(NowSol) - 3 + 2 'ªèÍ§ÇÍºÇéÓ§ÊÕªÁ¾Ù
    Worksheets("ILS").Range("N8").Offset(j, 0).Interior.Color = 16751103
    Worksheets("ILS").Range("N8").Offset(j, UBound(ILS_CurSol) + 2).Interior.Color = 16751103
Next j
.....เทสีช่อง Local Search.....
With Worksheets("ILS").Range("O9")
    Range(.Offset(0, 0), .Offset((UBound(ILS_CurSol) - 3), (UBound(ILS_CurSol)))).Select
End With

    With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeTop)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlEdgeRight)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With

    With Selection.Borders(xlInsideVertical)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With

    With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 14281213
    End With
.....เทสีช่อง Perturbation.....
Worksheets("ILS").Range("J8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0) = "Perturbation"
Worksheets("ILS").Range("J8:K8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0).Interior.Color = 14281213
Worksheets("ILS").Range("J8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0).Select
Selection.Font.Bold = True
Worksheets("ILS").Range("M8").Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0).Interior.Color = 16764159
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
With Worksheets("ILS").Range("O8")
    Range(.Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1, 0), .Offset(UBound(ILS_CurSol) + 1,
UBound(ILS_CurSol))).Select
End With

  With Selection.Borders(xlEdgeLeft)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeTop)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeBottom)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
  End With
  With Selection.Borders(xlEdgeRight)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
  End With
  With Selection.Borders(xlInsideVertical)
    .LineStyle = xlContinuous
    .ThemeColor = 1
    .TintAndShade = -0.349986266670736
    .Weight = xlThin
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี

```
    End With
    With Selection.Borders(xlInsideHorizontal)
        .LineStyle = xlContinuous
        .ThemeColor = 1
        .TintAndShade = -0.349986266670736
        .Weight = xlThin
    End With

      With Selection.Interior
        .Pattern = xlSolid
        .PatternColorIndex = xlAutomatic
        .Color = 16764159
        End With

End Sub
```

รูปที่ ก.50 (ต่อ) แสดงโค้ดการเทสี