การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง

SOLVING THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING PROBLEM BY SIMULATED ANNEALING

นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน รหัส 54361893

นางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์ รหัส 54365891

i68761 46

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง

คณะผู้จัดทำโครงงาน นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน รหัส 54361893

นางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์ รหัส 54365891

ที่ปรึกษาโครงงาน ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง

สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหการ

ปีการศึกษา 2557

.....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์**ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง**ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

.....ที่ปรึกษาโครงงาน

(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง
คณะผู้จัดทำโครงงาน	นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน รหัส 54361893
	นางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์ รหัส 54365891
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

.....

บทคัดย่อ

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

สำหรับวิธีอบอ่อนจำลอง ที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นเป็นวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่มเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ใช้เวลารวดเร็ว แต่ไม่รับรองว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด วิธีอบอ่อนจำลองเป็นวิธีที่มีแนวคิดมาจากการเลียนแบบกรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นลงช้าๆ โดยลดอุณหภูมิลงเรื่อยๆ ซึ่งวิธีอบอ่อนจำลองนี้มีหลักการ คือ คำตอบปัจจุบันที่จะยอมรับให้เป็นคำตอบใหม่จะไม่ใช่แต่เฉพาะคำตอบที่ดีขึ้นเท่านั้นแต่บางครั้งสามารถยอมรับคำตอบปัจจุบันที่มีคุณภาพคำตอบแย่ลงมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไปได้ โดยวิธีอบอ่อนจำลอง มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนดซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ ได้แก่ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่

วิธีอบอ่อนจำลอง ที่คณะผู้จัดทำโครงงานได้นำมาประยุกต์ใช้ได้มีการนำมาทดสอบกับปัญหาสามขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และได้มีการนำไปเปรียบเทียบกลับวิธีการอื่นๆ ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่แบบทำซ้ำ วิธีหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค และวิธีอาณานิคมมด

Project title	Solving the Dynamic Vehicle Routing Problem By Simulated Annealing	
Aothor	Ms. Jantima Timtuan	ID 54361893
	Ms. Benya Luasrijan	ID 54365891
Project advisor	Dr. Kwanniti Khammuang	
Major	Industrial Engineering	
Department	Industrial Engineering	
Academic year	2014	

Abstract

This project proposes a Simulated Annealing 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.

Simulated Annealing algorithm is one of the metaheuristics method which usually acquires fast computation time but does not guarantee optimal solution. Simulated Annealing algorithm is inspired by Simulated Annealing algorithm is simulation of Processes controlling the temperature of baking and let cool down slowly by cooling. The principle of Simulated Annealing algorithm has the answer is to accept a new answer will not only answer best, but sometimes can accept the current quality answers worse for a new answer. Parameters, which are Maximum Temperature, Eq, Cooling Rate and Local Search method, are important for Simulated Annealing 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, Ant Colony Optimization, Particle Swarm Optimization and Iterated Local Search

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี ด้วยความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร. ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้ให้ความรู้ คำแนะนำ และข้อคิดเห็นต่างๆ อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการทำปริญญานิพนธ์ฉบับนี้ อีกทั้งช่วยตรวจทานและแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ ด้วยความเอาใจใส่ในทุกขั้นตอน เพื่อให้การเขียนรายงานค้นคว้าฉบับนี้สมบูรณ์ที่สุด ขอขอบคุณ อาจารย์กานต์ ลี่วัฒนายิ่งยง ที่ให้คำแนะนำและตรวจทาน เพื่อแก้ไขข้อบกพร่องต่างๆ นอกจากนี้ ขอขอบคุณ คณะกรรมการทั้งสองท่าน อันประกอบไปด้วย ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ ที่กรุณาให้ความช่วยเหลือในการแก้ไข และให้คำแนะนำที่มีประโยชน์ ทำให้งานวิจัยครั้งนี้มีคุณค่ามากยิ่งขึ้น จนสามารถสำเร็จเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอขอบคุณ บิดา มารดา และครอบครัว ซึ่งได้เปิดโอกาสให้ได้รับการศึกษาเล่าเรียน และให้กำลังใจในทุกๆ เรื่อง ตลอดมาจนสำเร็จการศึกษาขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูง ไว้ ณ ที่นี้ ด้วย

คณะผู้จัดทำโครงงาน
นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน
นางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์
เมษายน 2558

สารบัญ

หน้า

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

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

บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น 5
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP) 5
2.1.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า (Demand) 5
2.1.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) 6
2.1.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon) 9
2.1.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number Of Origin Points) 9
2.2 ตัวอย่างของ VRP 11
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP) 18
2.4 ตัวอย่างของ DVRP 19
2.5 วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) 25

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก 26
2.5.2 ข้อดีของวิธีการเมตาฮิวริสติกที่ทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก 27
2.6 การจำลองการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA) 27
2.6.1 แนวคิดหลักของวิธีการอบอ่อนจำลอง 28
2.6.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาของวิธีการอบอ่อนจำลอง 29
2.7 โปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel 31

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน 32
3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ 33
3.2 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต 33
3.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการเมตาฮิวริสติก 34
3.4 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการอบอ่อนจำลอง 34
3.5 ศึกษาโปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel 34
3.6 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง และเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel 34
3.7 ทดสอบโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง 35
3.8 แก้ไขและปรับปรุงการใช้งานของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง 35
3.9 สรุปผล 35

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน 36
4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต 36
4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน 38
4.3 การสร้างคำตอบเริ่มต้น การซ่อมแซมคำตอบ การปรับปรุงกรอบเวลา และการประเมินค่าคำตอบ 39
4.3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น 39
4.3.2 การซ่อมแซมคำตอบ 40
4.3.3 การปรับปรุงกรอบเวลา 41

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3.4 การประเมินค่าคำตอบ 42
4.4 การออกแบบการทำงานของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search : LS) 44
4.4.1 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1 (Local Search 1) 44
4.4.2 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 (Local Search 2) 45
4.5 การออกแบบวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 47
4.6 รายละเอียดโปรแกรมและวิธีการใช้งานโปรแกรมอย่างย่อ 51
4.6.1 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output) 51
4.6.2 ส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม 52
4.6.3 ส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง 57
4.6.4 ส่วนประมวลผล 58
4.7 ผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง 60
4.7.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก 61
4.7.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง 63
4.7.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่ 65
4.8 การแสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่นๆ 67
4.8.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ 68
4.8.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ 68
4.8.3 การเปรียบเทียบการลู่เข้าของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ 69
4.8.4 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ 69
4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ 70
4.9.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 71
4.9.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 74
4.9.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 77
4.9.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 79
4.9.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 81

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.9.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 84
4.10 สรุปผล 86

บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 88
5.1 บทสรุป 88
5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน 90
5.3 ข้อเสนอแนะ 90

เอกสารอ้างอิง 92

ภาคผนวก ก Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต
โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง 93

ประวัติคณะผู้จัดทำโครงงาน 108

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน 3

2.1 สรุปการจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP ตามลักษณะ 10

2.2 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของตัวอย่าง VRP 11

2.3 ความต้องการของลูกค้าทั้ง 7 ราย 11

2.4 ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้าและค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทัน ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 7 ราย 12

2.5 เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชั่วโมง) ของลูกค้าทั้ง 7 ราย 12

2.6 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของตัวอย่าง DVRP 19

2.7 ความต้องการของลูกค้าทั้ง 5 ราย 19

2.8 ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้าและค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทันช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 5 ราย 20

2.9 เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชั่วโมง) ของลูกค้าทั้ง 5 ราย 20

2.10 ความจุของรถแต่ละคัน ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะและค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง 20

4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย 37

4.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่างๆ 43

4.3 แสดงระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย 43

4.4 แสดงลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ 60

4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ 60

4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด 61

4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 62

4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 63

4.9 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 64

4.10 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 65

4.11 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 66

4.12 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 67

4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ 68

4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายกับวิธีต่างๆ 68

4.15 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ 70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ หน้า
4.16 แสดงการสรุปผลค่าใช้จ่ายต่ำสุดและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด..... 86
4.17 แสดงการสรุปพารามิเตอร์ที่ควรใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
จากผลการทดสอบโปรแกรมในหัวข้อ 4.7..... 87
4.18 แสดงการสรุปพารามิเตอร์ที่ควรใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆ เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด
จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ในหัวข้อ 4.9..... 87

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 การขนส่งสินค้าแบบค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน 5

2.2 การส่งสินค้าแบบค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน 6

2.3 การส่งสินค้าแบบไม่ทราบความต้องการของลูกค้า 6

2.4 การขนส่งสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา 7

2.5 การขนส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด 7

2.6 การส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด 8

2.7 การส่งสินค้างแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัด และไม่เคร่งครัด 9

2.8 การส่งสินค้าแบบมีจุดเริ่มต้นเดียว 9

2.9 การส่งสินค้าแบบมีจุดเริ่มต้นหลายจุด 10

2.10 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 ของเส้นทางที่ 1 13

2.11 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 ของเส้นทางที่ 1 13

2.12 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 ของเส้นทางที่ 1 14

2.13 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 ของเส้นทางที่ 2 15

2.14 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 ของเส้นทางที่ 2 15

2.15 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 ของเส้นทางที่ 2 16

2.16 ระยะทางรวมของรถขนส่งสินค้าทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 1 17

2.17 ระยะทางรวมของรถขนส่งสินค้าทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 2 17

2.18 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 18

2.19 การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คันก่อนออกจากศูนย์กระจายสินค้า 22

2.20 เส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 1 ของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คัน 23

2.21 เส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 2 ของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คัน 25

2.22 ขั้นตอนการอบอ่อนจำลอง 30

3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน 32

4.1 แสดงการขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic 38

4.2 แสดงคำตอบเริ่มต้น n=5, m=1 และ p=1 39

4.3 แสดงตัวอย่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น 40

4.4 แสดงวิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้ 41

4.5 แสดงการปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ 42

4.6 แสดงค่าคำตอบ 43

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.7 แสดงตัวแทนคำตอบปัจจุบัน 44

4.8 แสดงการหาระยะทางของลูกค้า 3 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด 45

4.9 แสดงสุ่มแทนค่าปรับปรุงคำตอบของ Local Search 1 45

4.10 แสดงการหาระยะทางของลูกค้า 2 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด 46

4.11 แสดงสุ่มแทนค่าปรับปรุงคำตอบของ Local Search 2 46

4.12 แสดงการทำงานของวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต 47

4.13 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output) 52

4.14 แสดงส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม 52

4.15 แสดง Select input data 53

4.16 แสดง Working Time (Second) 53

4.17 แสดงข้อความเมื่อเลือก Working Time (Second) เป็น Fill by User 53

4.18 แสดงช่อง Working Time (min) 54

4.19 แสดง Number of period 54

4.20 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง 54

4.21 แสดงค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องกรอกเมื่อเลือก Select vehicle 55

4.22 แสดงเลือกวิธีการอบอ่อนจำลอง 55

4.23 แสดงหน้าต่างว่านำเข้าข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ 55

4.24 แสดงหน้า InputTable 56

4.25 แสดงผู้ใช้ทำการเลือก SA Page เพื่อเรียกหน้า SA ขึ้นมา 56

4.26 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่กรอกเข้าทั้งหมด 57

4.27 แสดงส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง 57

4.28 แสดงส่วนประมวลผล 58

4.29 แสดงข้อความเตือนว่าไม่ควรกรอกค่าอื่นนอกจาก LocalSearch 1 หรือ LocalSearch 2 59

4.30 แสดงกราฟแสดง Convergence 69

4.31 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 71

4.32 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 72

4.33 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 72

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.34 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 73

4.35 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 74

4.36 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 74

4.37 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 75

4.38 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 76

4.39 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 76

4.40 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 77

4.41 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 77

4.42 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 78

4.43 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 79

4.44 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 79

4.45 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 80

4.46 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 81

4.47 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 81

4.48 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 82

4.49 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 82

4.50 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 83

4.51 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 84

4.52 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 84

4.53 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 85

4.54 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 85

ก.1 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม Cancel ในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง 94

ก.2 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม OK ในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง 94

ก.3 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกเลือก Local Search 1 95

ก.4 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกเลือก Local Search 2 95

ก.5 แสดงค่าตามที่กำหนดในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง 95

ก.6 แสดงโค้ดการทำงานของปุ่ม RUN ใน Worksheets “SA” 96

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

ก.7 แสดงการประกาศตัวแปร 97
ก.8 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA” 98
ก.9 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_LS1” 101
ก.10 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_LS2” 103
ก.11 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_Best” 105
ก.12 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_Prob” 107

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันการขนส่งของประเทศไทย โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าเริ่มมีทิศทางที่ชัดเจนขึ้น ซึ่งหน่วยงานภาครัฐเองก็ได้พยายามที่จะพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าให้มีศักยภาพมากขึ้น ทั้งพัฒนาระบบโครงสร้างพื้นฐานด้านการขนส่ง การสนับสนุน และส่งเสริมศักยภาพผู้ประกอบการขนส่งรวมถึงการพัฒนาระบบเทคโนโลยีที่อำนวยความสะดวกในด้านการขนส่งให้มีประสิทธิภาพทัดเทียมสากล ทั้งนี้แม้ว่าระบบขนส่งของประเทศไทยจะมีทิศทางที่ชัดเจนมากขึ้น แต่การลงมือปฏิบัติร่วมกันของหลายหน่วยงานอย่างเป็นรูปธรรมคงเป็นสิ่งสะท้อนอนาคตของระบบขนส่งไทยได้ชัดเจนที่สุด การขนส่งภายในประเทศโดยส่วนใหญ่จะใช้รูปแบบทางการขนส่งทางถนนถึงร้อยละ 86 เพราะโครงสร้างพื้นฐานการขนส่งรูปแบบอื่นๆ ที่นอกเหนือจากถนนไม่ได้มีนโยบายการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง และชัดเจน

การทำธุรกิจในปัจจุบันปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญมากต่อการขนส่งสินค้า และการทำธุรกิจในประเทศไทย ทั้งในภาคอุตสาหกรรม ภาคการขนส่ง ภาคเกษตรกรรม ฯลฯ ซึ่งการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่ยุ่งยาก มีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ขีดจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ และจำนวนศูนย์กระจายสอนค้า เป็นต้น อีกทั้งค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งสินค้ามีราคาสูงขึ้นทุกวันเพราะค่าใช้จ่ายด้านเชื้อเพลิงมีราคาสูงขึ้นตามตลาดโลก ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้เลือกปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้มาทำ โดยจะนำหลักการของการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นกลวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมมาประยุกต์ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ และใช้การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา Visual Basic for Applications : VBA บน Microsoft Excel เป็นเครื่องมือในการประมวลผลตัวแบบของปัญหา ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้ คณะผู้จัดทำโครงงานได้เลือกให้เป็นปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งโดยที่ขณะเวลาไปส่งสินค้าจะมีลูกค้ารายอื่นเข้ามาสั่งสินค้าเพิ่มได้ โดยจะมีการนำลูกค้าที่เพิ่งเข้ามาสั่งสินค้าใหม่รวมกับเส้นทางการขนส่งสินค้าเดิมที่ยังไม่ได้ไปส่งสินค้าตั้งแต่ต้นแล้วทำการจัดเส้นทางใหม่ และมีเป้าหมายของโครงงาน คือ เพื่อพยายามทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา

ดังนั้น การบริหารจัดการด้านการขนส่งสินค้าโดยการจัดเส้นทางยานพาหนะให้มีประสิทธิภาพ มีความสำคัญมาก เพื่อให้ได้ตามเป้าหมายที่คณะผู้จัดทำโครงงานได้กำหนดไว้ข้างต้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงงานจึงได้ใช้วิธีอบอ่อนจำลองในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างโปรแกรมในการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต โดยการประยุกต์ใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

โปรแกรมช่วยในการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลองในการแก้ไขปัญหา และใช้การเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel เป็นเครื่องมือในการประมวลผลตัวแบบของปัญหา

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

วิธีการอบอ่อนจำลอง และโปรแกรมที่สร้างขึ้นสามารถนำไปช่วยในการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต ช่วยหาเส้นทางที่ระยะทางสั้น และค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด มีเงื่อนไขตรงกับปัญหาที่พิจารณา

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

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 มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว และมีสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด

1.5.5 ยานพาหนะทุกคันจอดอยู่ที่คลังสินค้า และยานพาหนะจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

1.5.6 ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าในเวลาเริ่มต้นของวันทำงาน และจะกลับมาที่คลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ

1.5.7 เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าไปแล้ว 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 (ในกรณีนี้จะมีค่าปรับ ซึ่งค่าปรับไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา)

1.5.13 ยานพาหนะในการขนส่งสินค้ามี 3 ขนาด และมีจำนวนไม่จำกัด

1.5.14 ใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel ในการเขียนโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

1.5.15 การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลองจะมีอัตราการเย็นตัวทั้งคงที่

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

ตั้งแต่เดือน สิงหาคม พ.ศ. 2557 ถึง เมษายน 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	ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะประเภทต่างๆ	↔								
1.8.2	ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต	↔	↔							
1.8.3	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการเมตาฮิวริสติก		↔							
1.8.4	ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการอบอ่อนจำลอง			↔						

ตารางที่ 1.1 (ต่อ) ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.5	ศึกษาโปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel				↔					
1.8.6	**ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อน** จำลองและเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel					↔	↔			
1.8.7	ทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง							↔		
1.8.8	แก้ไขและปรับปรุงการใช้งานของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง							↔	↔	
1.8.9	สรุปผล									↔

บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

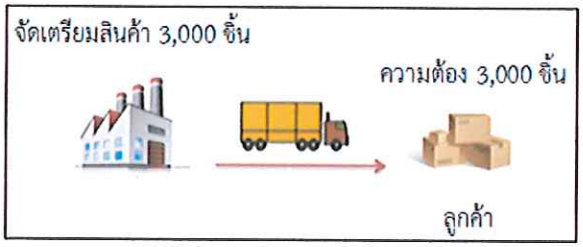
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problems : VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นปัญหาด้านการขนส่ง และลอจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่มีการศึกษามายาวนานกว่า 40 ปี และมีการค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการเพิ่มเงื่อนไข และข้อจำกัดต่างๆ

แนวคิดพื้นฐานของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง เป็นการพยายามออกแบบเส้นทางเดินรถในแต่ละคันให้เหมาะสมที่สุด ทั้งในแง่ของค่าใช้จ่ายต่างๆ และความสอดคล้องตามข้อจำกัดต่างๆ ที่มี เช่น ปริมาณความจุ เวลาในการขนสินค้าลงจากรถ เป็นต้น เส้นทางการขนส่งจะเริ่มต้นจากคลังสินค้า (ต้นทาง) ไปสู่กลุ่มลูกค้าที่ทราบจำนวน ตำแหน่งที่ตั้งในแต่ละราย ทราบปริมาณความต้องการสินค้าที่แน่นอนล่วงหน้า และกลับมาสิ้นสุดเส้นทางที่คลังสินค้าเริ่มต้น โดยมีข้อจำกัดที่ว่าลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากรถขนส่งสินค้าคันเดียว หรือหลายคัน และปริมาณสินค้าที่จะส่งต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก หรือความจุของรถขนส่งคันนั้นๆ รวมทั้งมีเวลาในการเดินทางเพื่อส่งสินค้าหรือไปให้บริการลูกค้าที่จำกัดด้วย สามารถจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP ตามลักษณะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

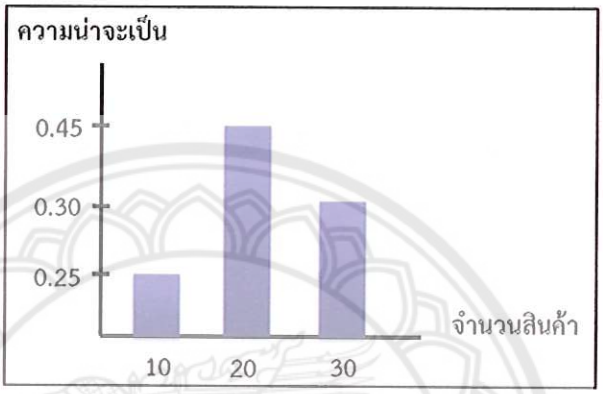
2.1.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า (Demand)

2.1.1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน (Deterministic Demand) งานวิจัยจำนวนหนึ่งดำเนินการภายใต้ความต้องการที่ทราบค่าแน่นอนของลูกค้า โดยมีการเก็บข้อมูลอาจจะเป็นความต้องการที่แน่นอนโดยมีการสั่งสินค้าก่อน และจัดเส้นทางการขนส่ง หรือทำการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ย หรือค่าทางสถิติอย่างใดอย่างหนึ่ง ตัวอย่างเช่น ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้ลูกค้าเป็นจำนวน 3,000 ชิ้น โดยทางบริษัทได้ทราบค่าของจำนวนสินค้าก่อนที่จะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า โดยจำนวนสินค้านี้ทราบค่าแน่นอน และไม่มีการเปลี่ยนแปลง แสดงดังรูปที่ 2.1



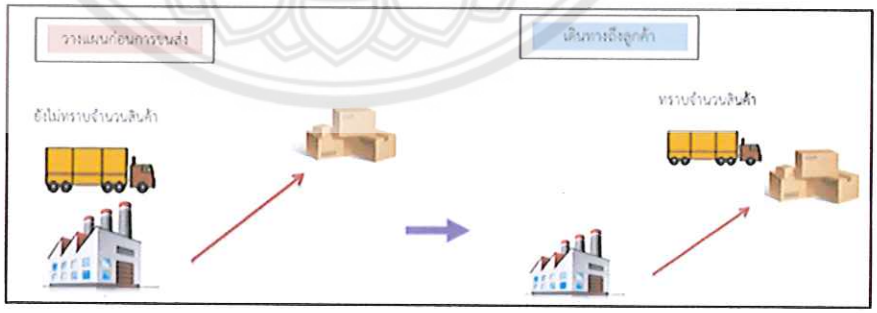
รูปที่ 2.1 การขนส่งสินค้าแบบค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน

2.1.1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand) ในกลุ่มนี้ความต้องการของลูกค้าจะทราบค่าแต่อาจจะมีความไม่แน่นอนซึ่งจะทำให้ต้องใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาที่ต่างออกไปจากข้อ 2.1 เช่น ลูกค้ารายหนึ่งอาจจะมีประมาณความต้องการสินค้าอยู่ระหว่าง 5-10 ชิ้น แต่มีความน่าจะเป็นที่จะเกิดขึ้นเท่ากัน ตัวอย่างเช่น ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้ลูกค้าเป็นจำนวนไม่แน่นอน โดยมีโอกาสเป็นจำนวน 10 ชิ้น ร้อยละ 25 จำนวน 20 ชิ้น ร้อยละ 45 และจำนวน 30 ชิ้น ร้อยละ 30 ตามลำดับ เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 2.2



รูปที่ 2.2 การส่งสินค้าแบบค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน

2.1.1.3 ไม่ทราบความต้องการของลูกค้าซึ่งเป็นความต้องการที่ไม่ทราบค่าขณะวางแผนแต่ทราบเมื่อไปถึงลูกค้า ตัวอย่างเช่น ทางบริษัทจะไม่ทราบค่าว่าทางลูกค้าต้องการสินค้าเท่าไร แต่ทางลูกค้าจะบอกจำนวนสินค้าในขณะที่รถขนส่งสินค้าถึงลูกค้าแล้ว แสดงดังรูปที่ 2.3

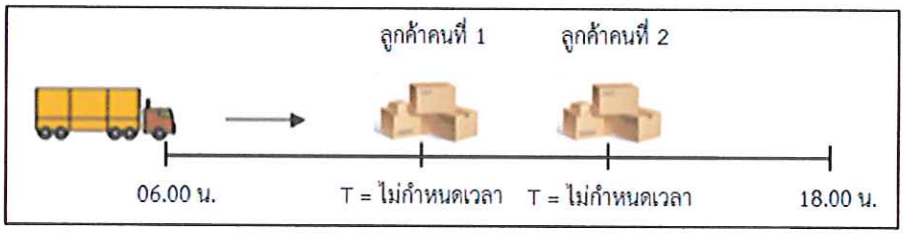


รูปที่ 2.3 การส่งสินค้าแบบไม่ทราบความต้องการของลูกค้า

2.1.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows)

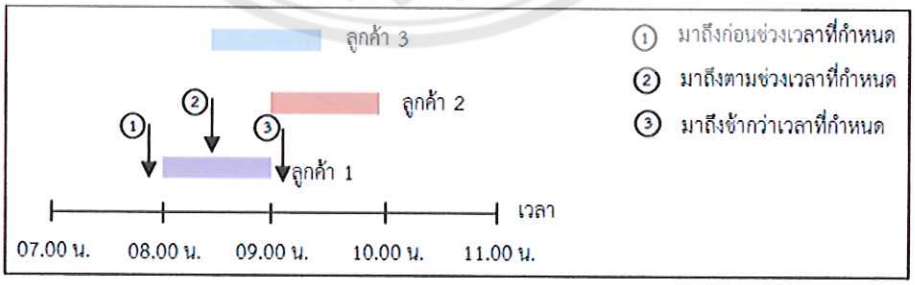
ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่มีความสำคัญกับการจัดเส้นทางเนื่องจากบางครั้งเวลาให้บริการลูกค้าหรือเวลาในการเดินทางจะมีผลต่อเส้นทางที่ได้จากการจัดด้วยวิธีการต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังนี้

2.1.2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows) ในกลุ่มนี้ งานวิจัยจะไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาต่างๆ โดยจะทำการจัดเฉพาะเส้นทางการเดินทาง ตัวอย่างเช่น ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้ลูกค้าภายช่วงเวลาไหนก็ได้เพราะไม่มีการกำหนดช่วงเวลาการส่งสินค้า เพียงแต่พิจารณาว่าจะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนใดก่อนหรือหลัง แสดงดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การขนส่งสินค้าแบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา

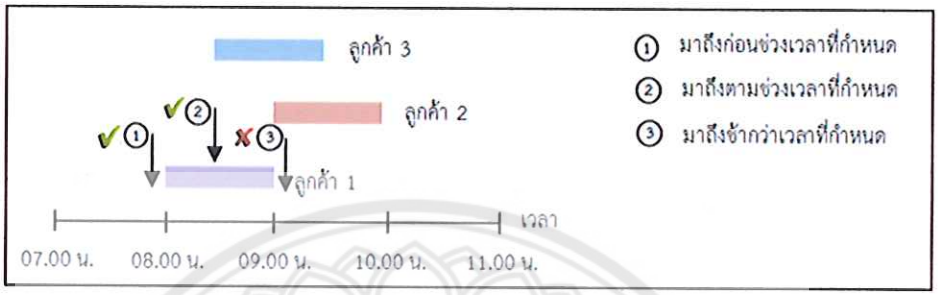
2.1.2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows) ในกลุ่มนี้จะมีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนักสามารถส่งสินค้าช้า หรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านเวลานี้ก็มีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ลูกค้าจะมีช่วงเวลาในการส่งสินค้า ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ แต่ยานพาหนะสามารถมาถึงก่อน หรือถึงช้ากว่าเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ได้ ดังเช่น ลูกค้าคนที่ 1 มีช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ คือ 08.00-09.00 น. ถ้าถึงก่อนยานพาหนะก็อาจจะต้องรอเพื่อให้ถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนดแล้วถึงทำการขนถ่ายสินค้าให้กับลูกค้า หรือทางลูกค้าอาจมีข้อยกเว้นโดยให้ขนถ่ายสินค้าลงได้เลยโดยไม่ต้องรอให้ถึงช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ แต่สำหรับถึงช้ากว่าเวลาที่ลูกค้ากำหนดทางบริษัทจะต้องเสียค่าปรับให้กับลูกค้า แสดงดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การขนส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด

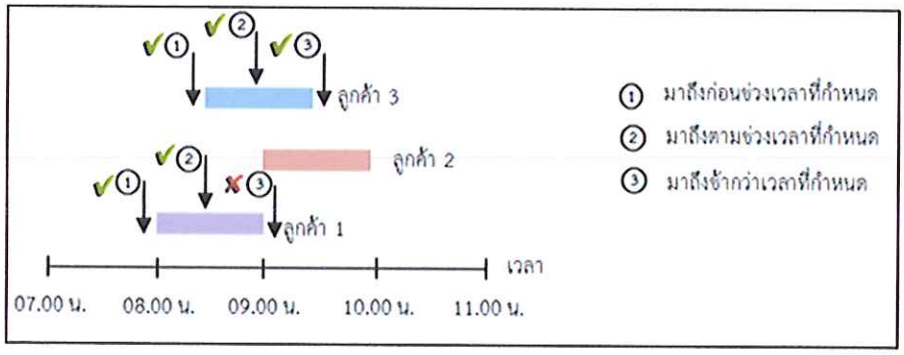
2.1.2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Hard Time Windows) กลุ่มนี้ การจัดเส้นทางจะคำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทาง และระยะเวลาในการให้บริการอย่างเคร่งครัดหากเดินทางผิดเวลา หรือไปถึงลูกค้าผิดเวลาจะทำให้เส้นทางนั้นเป็นเส้นทางที่ไม่ถูกต้องไม่สามารถ

ให้บริการลูกค้าได้ ตัวอย่างเช่น ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้ถึงภายในเวลาที่ลูกค้ากำหนดเท่านั้น เช่น ลูกค้าคนที่ 1 ต้องส่งสินค้าภายในช่วงเวลา 08.00-09.00 น. เท่านั้น ถ้ายานพาหนะไปส่งสินค้าก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนดยานพาหนะจำเป็นต้องรอให้ถึงช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ก่อน ถึงจะทำการขนถ่ายสินค้า แต่ถ้ายานพาหนะไปส่งสินค้าช้ากว่าที่ลูกค้ากำหนด ทางลูกค้ามีสิทธิ์จะปฏิเสธสินค้าได้ แสดงดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด

2.1.2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัดและไม่เคร่งครัด (Mixed) งานวิจัยบางงาน จะมีลูกค้าทั้งที่เคร่งครัดเรื่องเวลาที่มาถึงของรถบรรทุก หรือเวลาในการให้บริการ และไม่เคร่งครัดเรื่องเวลาในปัญหาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การดำเนินการด้วยวิธีการต่างๆ มีความแตกต่างกันออกไป และมีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน ตัวอย่างเช่น ลูกค้าคนที่ 1 เป็นการขนส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้ถึงภายในเวลาที่ลูกค้ากำหนดเท่านั้น คือ ต้องส่งสินค้าภายในช่วงเวลา 08.00-09.00 น. เท่านั้น ถ้ายานพาหนะไปส่งสินค้าก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนดยานพาหนะจำเป็นต้องรอให้ถึงช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ก่อน ถึงจะทำการขนถ่ายสินค้า แต่ถ้ายานพาหนะไปส่งสินค้าช้ากว่าที่ลูกค้ากำหนด ทางลูกค้ามีสิทธิ์จะปฏิเสธสินค้าได้ ส่วนลูกค้าคนที่ 3 เป็นการขนส่งสินค้าแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด ทางบริษัทจะต้องไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ คือ ช่วงเวลา 08.30-09.30 น. ถ้าถึงก่อนยานพาหนะก็อาจจะต้องรอเพื่อให้ถึงเวลาที่ลูกค้ากำหนดแล้วถึงทำการขนถ่ายสินค้าให้กับลูกค้า หรือทางลูกค้าอาจมีข้อยกเว้นโดยให้ขนถ่ายสินค้าลงได้เลยโดยไม่ต้องรอให้ถึงช่วงเวลาที่ลูกค้ากำหนดไว้ แต่สำหรับถึงช้ากว่าเวลาที่ลูกค้ากำหนดทางบริษัทจะต้องเสียค่าปรับให้กับลูกค้า แสดงดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 การส่งสินค้างแบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัด และไม่เคร่งครัด

2.1.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon)

ในกลุ่มนี้จะเน้นการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบครั้งเดียวในการวางแผนหนึ่งครั้ง เช่น การเดินทางส่งสินค้าทุกวันจะเดินทางด้วยเส้นทางเดียวกัน และการจัดแบบหลายครั้ง เช่น วางแผนเป็นเดือน หรือปี โดยในแต่ละวันอาจจะมีการเดินทางที่ไม่เหมือนกัน

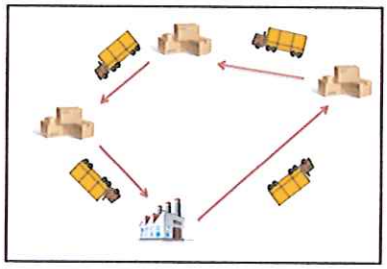
2.1.3.1 แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) กลุ่มนี้จะวางแผนครั้งเดียว และดำเนินการเช่นเดียวกันในทุกคาบเวลา

2.1.3.2 แบบหลายคาบเวลา (Muti Period) เป็นการวางแผนแบบหลายคาบเวลา และมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา

2.1.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number of Origin Points)

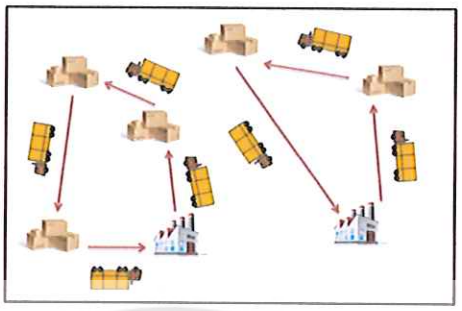
จุดเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางที่แตกต่างกันไป การวางแผนการจัดเส้นทางบางครั้งอาจจะมีจุดเริ่มต้นเดียว บางครั้งจะต้องวางแผนให้กับศูนย์กระจายสินค้าหลายจุดไปพร้อมๆ กัน สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้นได้เป็น

2.1.4.1 มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single Origin or Depot) การเริ่มต้นของทุกเส้นทางจะเริ่มต้นจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว แสดงดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 การส่งสินค้าแบบมีจุดเริ่มต้นเดียว

2.1.4.2 มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Origin or Depot) ในกลุ่มนี้ จะต้องวางแผนให้มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่งโดยทำการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กัน แสดงดังรูปที่ 2.9 (ระพีพันธ์, 2554)



รูปที่ 2.9 การส่งสินค้าแบบมีจุดเริ่มต้นหลายจุด

จากการแบ่งกลุ่มทั้งหมดสามารถสรุปการจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP ตามลักษณะได้ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สรุปการจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP ตามลักษณะ

ลักษณะ	ประเภท
1. จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า	1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน 1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน 1.3 ไม่ทราบความต้องการของลูกค้า
2. จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา	2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา 2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด 2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด 2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่ง และไม่เคร่ง
3. จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง	3.1 แบบคาบเวลาเดียว 3.2 แบบหลายคาบเวลา
4. จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น	4.1 มีจุดเริ่มต้นเดียว 4.2 มีจุดเริ่มต้นหลายจุด

2.2 ตัวอย่างของ VRP

บริษัทหนึ่งต้องการให้รถขนส่งสินค้าจำนวน 3 คัน เดินทางไปเพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 7 ราย ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายแสดงได้ดังตารางที่ 2.2 โดยที่เมืองที่ 0 คือ เมืองที่บริษัทแห่งนี้ตั้งอยู่ และบริษัทแห่งนี้ออกแบบการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้า 3 คัน 2 เส้นทางด้วยกัน โดยรถแต่ละคันมีความจุเท่ากัน คือ 25 ตัน ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้า ดังตารางที่ 2.3 และมีการพิจารณาด้านเวลาในการเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้า ซึ่งจะกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้า และค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทันช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 7 ราย ดังตารางที่ 2.4 และกำหนดเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ดังตารางที่ 2.5 เส้นทางใดคือเส้นทางที่มีระยะทางในการเดินทางต่ำที่สุด และสามารถส่งสินค้าได้ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด

โจทย์ปัญหานี้เป็นปัญหา VRP แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด มีจุดเริ่มต้นเดียว และความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน

ตารางที่ 2.2 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของตัวอย่าง VRP

i/j	0	1	2	3	4	5	6	7
0	0	56	30	51	41	95	36	34
1	56	0	29	64	23	70	64	20
2	30	29	0	73	50	90	78	60
3	51	64	73	0	18	37	81	60
4	41	23	50	18	0	65	94	68
5	95	70	90	37	65	0	80	75
6	36	64	78	81	94	80	0	45
7	34	20	60	60	68	75	45	0

ตารางที่ 2.3 ความต้องการของลูกค้าทั้ง 7 ราย

ลูกค้ารายที่	ความต้องการสินค้า (ตัน)
1	3
2	5
3	2
4	8
5	7
6	9
7	5

ตารางที่ 2.4 ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้า และค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทันช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 7 ราย

ลูกค้าที่	ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า	เวลาในการขนถ่ายสินค้า (นาที)	ค่าปรับ (บาท)
1	08.00-18.00 น.	30	100
2	06.00-12.00 น.	30	100
3	09.00-16.00 น.	30	100
4	07.00-14.00 น.	30	100
5	06.00-18.00 น.	30	100
6	08.00-10.00 น.	30	100
7	06.00-18.00 น.	30	100

ตารางที่ 2.5 เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชั่วโมง) ของลูกค้าทั้ง 7 ราย

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

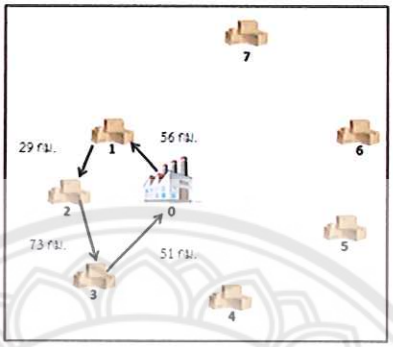
แสดงเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 1 ของรถส่งสินค้าทั้ง 3 คัน แสดงดังรูปที่ 2.10, 2.11 และ 2.12

เส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 1 รถเริ่มออกจากคลังสินค้า เวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 09.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 1

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 09.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 10.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 2 เวลา 11.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 3 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 3 เวลา 14.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 3 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 15.30 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-1-2-3-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 เท่ากับ 56+29+73+51=209 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.10

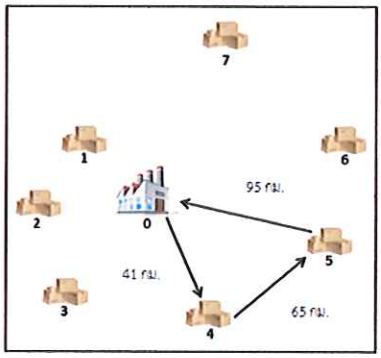


รูปที่ 2.10 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 ของเส้นทางที่ 1

เส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 2 รถเริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 4 ใช้เวลา 1 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 4 เวลา 07.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 4

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 4 เวลา 07.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 10.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 5 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 13.00 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-4-5-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 เท่ากับ 41+65+95=201 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.11

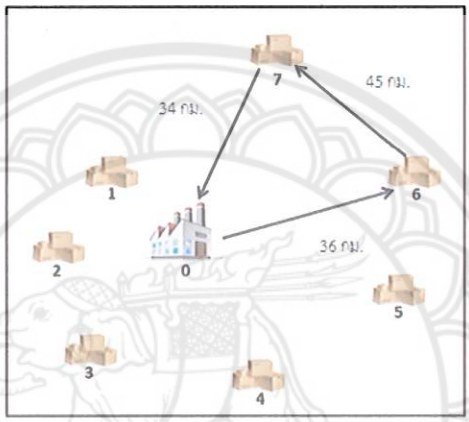


รูปที่ 2.11 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 ของเส้นทางที่ 1

เส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 3 รถเริ่มออกจากคลังสินค้า เวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 6 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 6 เวลา 09.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 6

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 6 เวลา 09.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 7 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 7 เวลา 12.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 7 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 16.00 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-6-7-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 เท่ากับ 36+45+34=115 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.12



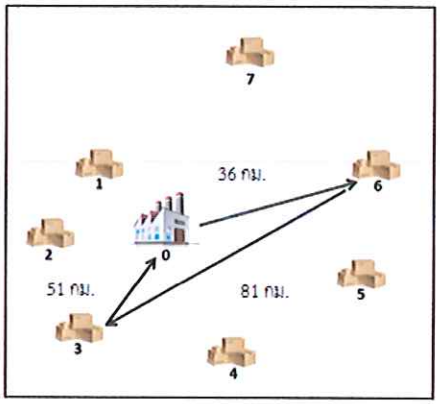
รูปที่ 2.12 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 ของเส้นทางที่ 1

แสดงเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 2 ของรถส่งสินค้าทั้ง 3 คัน แสดงดังรูปที่ 2.4, 2.5 และ 2.6

เส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 1 รถเริ่มออกจากคลังสินค้า เวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 6 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 6 เวลา 09.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 6

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 6 เวลา 09.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 3 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 3 เวลา 12.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 3 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 14.00 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-6-3-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 เท่ากับ 36+81+51=168 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.13



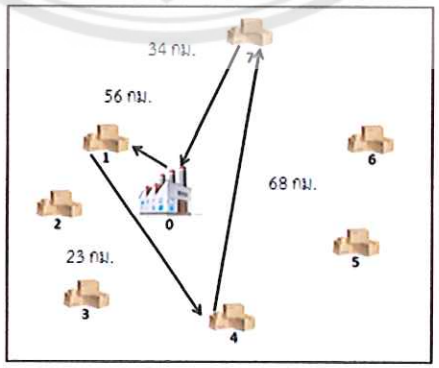
รูปที่ 2.13 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 ของเส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 2 รถเริ่มออกจากคลังสินค้า เวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 09.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 1

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 09.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 4 ใช้เวลา 3 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 4 เวลา 12.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 4

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 4 เวลา 13.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 7 ใช้เวลา 1 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 7 เวลา 14.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 7 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 17.00 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-1-4-7-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 เท่ากับ 56+23+68+34=181 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.14

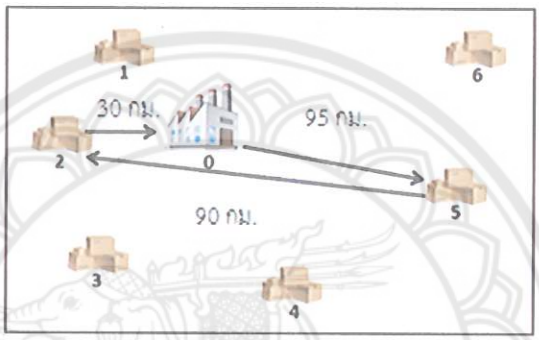


รูปที่ 2.14 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 2 ของเส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 3 รถเริ่มออกจากคลังสินค้า เวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 2 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 08.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 5

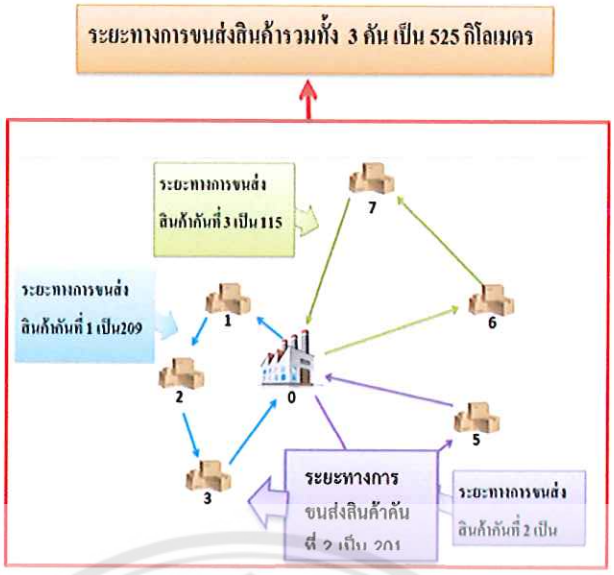
รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 5 เวลา 08.30 น. จากนั้นไปยังลุกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมงจะถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 09.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2 และกลับถึงคลังสินค้าเวลา 12.00 น.

มีการเดินทางดังนี้ 0-5-2-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 เท่ากับ 95+90+30=215 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 เส้นทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 ของเส้นทางที่ 2

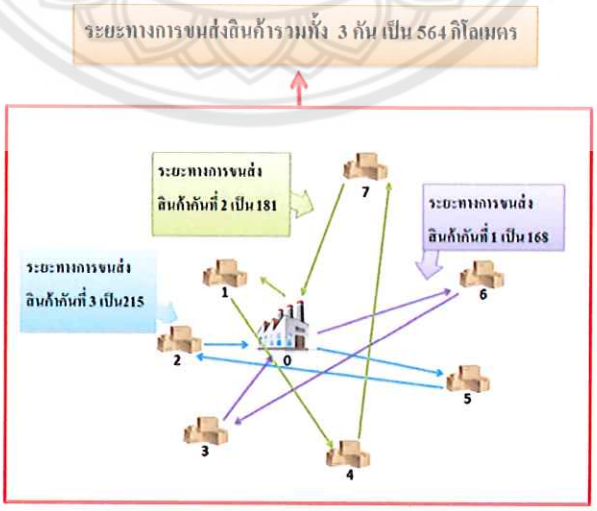
สรุประยะทางการขนส่งสินค้ารวมทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 1 มีการเดินทาง ดังนี้ 0-1-2-3-0, 0-4-5-0 และ 0-6-7-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 เป็น 209 กิโลเมตร รถขนส่งสินค้าคันที่ 2 เป็น 201 กิโลเมตร และรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 เป็น 115 กิโลเมตร ดังนั้น รวมระยะทางการเดินทาง 525 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ระยะทางรวมของรถขนส่งสินค้าทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 1

สรุประยะทางการขนส่งสินค้ารวมทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 2 มีการเดินทาง ดังนี้ 0-6-3-0, 0-1-4-7-0 และ 0-5-2-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งที่ค้าคันที่ 1 เป็น 168 กิโลเมตร รถขนส่งสินค้าคันที่ 2 เป็น 181 กิโลเมตร และรถขนส่งสินค้าคันที่ 3 เป็น 215 กิโลเมตร ดังนั้น รวมระยะทางการเดินทาง 564 กิโลเมตร

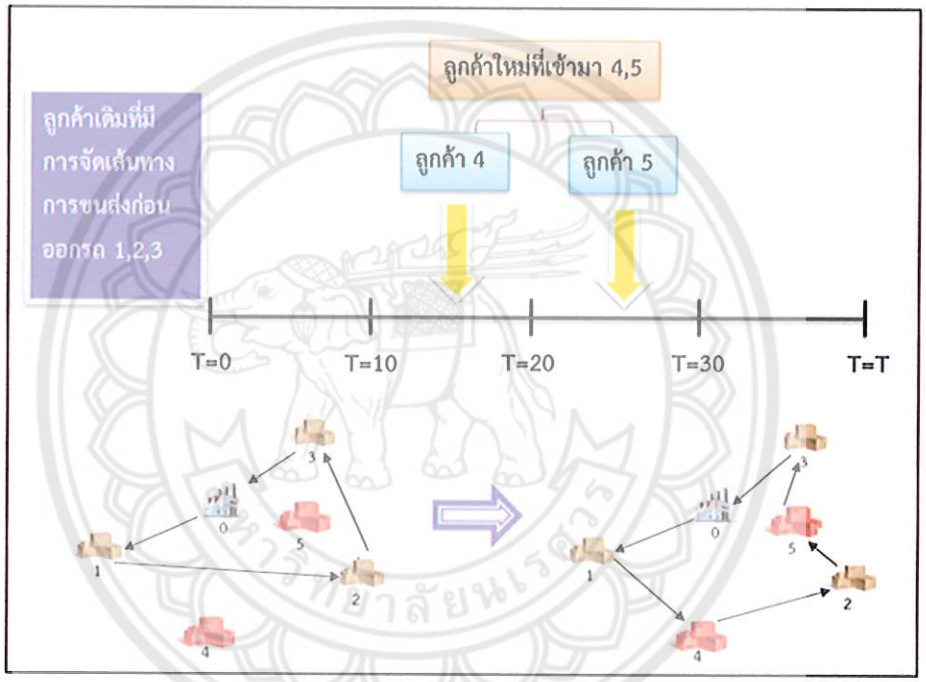
ดังนั้น จะเห็นว่าบริษัทควรจะเลือกเส้นทางที่ 1 เพื่อใช้เป็นเส้นทางในการขนส่งสินค้า เพราะมีระยะทางในการขนส่งสินค้าน้อยกว่าเส้นทางที่ 2 เป็นระยะทาง 39 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ระยะทางรวมของรถขนส่งสินค้าทั้ง 3 คันของเส้นทางที่ 2

2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP)

ปัญหา DVRP ต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางแบบ VRP คือ เงื่อนไขการมาถึงของลูกค้าของปัญหา VRP จะไม่สามารถไปส่งของให้กับลูกค้าที่เพิ่งเข้ามาสั่งในช่วงระหว่างการขนส่งได้ จะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่ได้จัดเส้นทางการขนส่งมาตั้งแต่ต้นแล้วเท่านั้นซึ่งจะทราบจำนวนของลูกค้าอย่างแน่นอนแล้ว ส่วนปัญหา DVRP นั้นเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งโดยที่ขณะเวลาไปส่งสินค้าจะมีลูกค้ารายอื่นเข้ามาสั่งสินค้าได้ และจะมีการนำลูกค้าที่เพิ่งเข้ามาสั่งสินค้ารวมกับเส้นทางการขนส่งสินค้าเดิมที่ที่ยังไม่ได้ไปส่งสินค้าตั้งแต่ต้นแล้วทำการจัดเส้นทางใหม่ แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่าตอนแรกเราได้มีการจัดเส้นทางการขนส่งไปที่ลูกค้าคนที่ 1, 2, 3 และกลับมาที่จุดกระจายสินค้า 0 เมื่อมีการส่งสินค้าให้กับลูกค้าคนที่ 1 แต่ระหว่างทางขนส่งสินค้าไปให้ลูกค้าคนที่ 2 ได้มีลูกค้าคนที่ 4 เข้ามาสั่งสินค้า เราจึงต้องมีการจัดเส้นทางใหม่เพื่อไปส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 4 เพิ่มเข้าไป เช่นเดียวกับขณะที่ทำการขนส่งสินค้าไปที่ลูกค้าคนที่ 3 ก็มีลูกค้าคนที่ 5 เข้ามาสั่งสินค้าเพิ่มจึงได้มีการจัดเส้นทางใหม่อีก

2.4 ตัวอย่างของ DVRP

บริษัทหนึ่งต้องการให้รถขนส่งสินค้าจำนวน 2 คัน เดินทางไปเพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า 4 ราย แต่ระหว่างทางมีลูกค้าสั่งสินค้าเพิ่มอีก 1 ราย ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายแสดงได้ดังตารางที่ 2.6 โดยที่เมืองที่ 0 คือ เมืองที่บริษัทแห่งนี้ตั้งอยู่ บริษัทแห่งนี้ได้ออกแบบเส้นทางการขนส่งออกเป็น 2 เส้นทาง และทำการเปรียบเทียบเส้นทางการขนส่ง 2 เส้นทางโดยแต่ละเส้นทางมีรถขนส่งสินค้า 2 คัน ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการสินค้า ดังตารางที่ 2.7 และมีการพิจารณาด้านเวลาในการเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้า ซึ่งจะกำหนดช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้า และค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทันช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 5 ราย ดังตารางที่ 2.8 กำหนดเวลาที่ใช้ในการเดินทาง ดังตารางที่ 2.9 มีข้อมูลความจุของรถแต่ละคัน ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง ดังตารางที่ 2.10 เส้นทางใดคือเส้นทางที่มีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด

โจทย์ปัญหานี้เป็นปัญหา VRP แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด และมีจุดเริ่มต้นเดียว

ตารางที่ 2.6 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายของตัวอย่าง DVRP

I/J	0	1	2	3	4	5
0	0	50	90	60	55	30
1	50	0	45	65	40	95
2	90	45	0	70	35	75
3	60	65	70	0	80	85
4	55	40	35	80	0	50
5	30	95	75	85	50	0

ตารางที่ 2.7 ความต้องการของลูกค้าทั้ง 5 ราย

ลูกค้ารายที่	ความต้องการสินค้า (ตัน)
1	4
2	5
3	3
4	8
5	7

ตารางที่ 2.8 ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า เวลาที่ใช้ขนถ่ายสินค้า และค่าปรับเนื่องจากส่งสินค้าไม่ทันช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้าของลูกค้าทั้ง 5 ราย

ลูกค้าที่	ช่วงเวลาเปิด-ปิดรับสินค้า	เวลาในการขนถ่ายสินค้า (นาที)	ค่าปรับ (บาท)
1	06.00-10.00 น.	30	200
2	08.00-10.00 น.	30	100
3	06.00-11.00 น.	30	500
4	10.00-13.00 น.	30	100
5	09.00-18.00 น.	30	200

ตารางที่ 2.9 เวลาที่ใช้ในการเดินทาง (ชั่วโมง) ของลูกค้าทั้ง 5 ราย

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

ตารางที่ 2.10 ความจุของรถแต่ละคัน ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะ และค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง

รถขนส่งสินค้า	ความจุ (ตัน)	ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะ (บาท/คัน)	ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (บาท/กิโลเมตร)
คันที่ 1	20	100	10
คันที่ 2	30	200	15

แสดงการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คันก่อนออกจากศูนย์กระจายสินค้า

รถคันที่ 1 เริ่มแรกรถเริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 1

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 08.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2 จากนั้นเดินทางกลับถึงศูนย์กระจายสินค้าเวลา 11.00 น.ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง

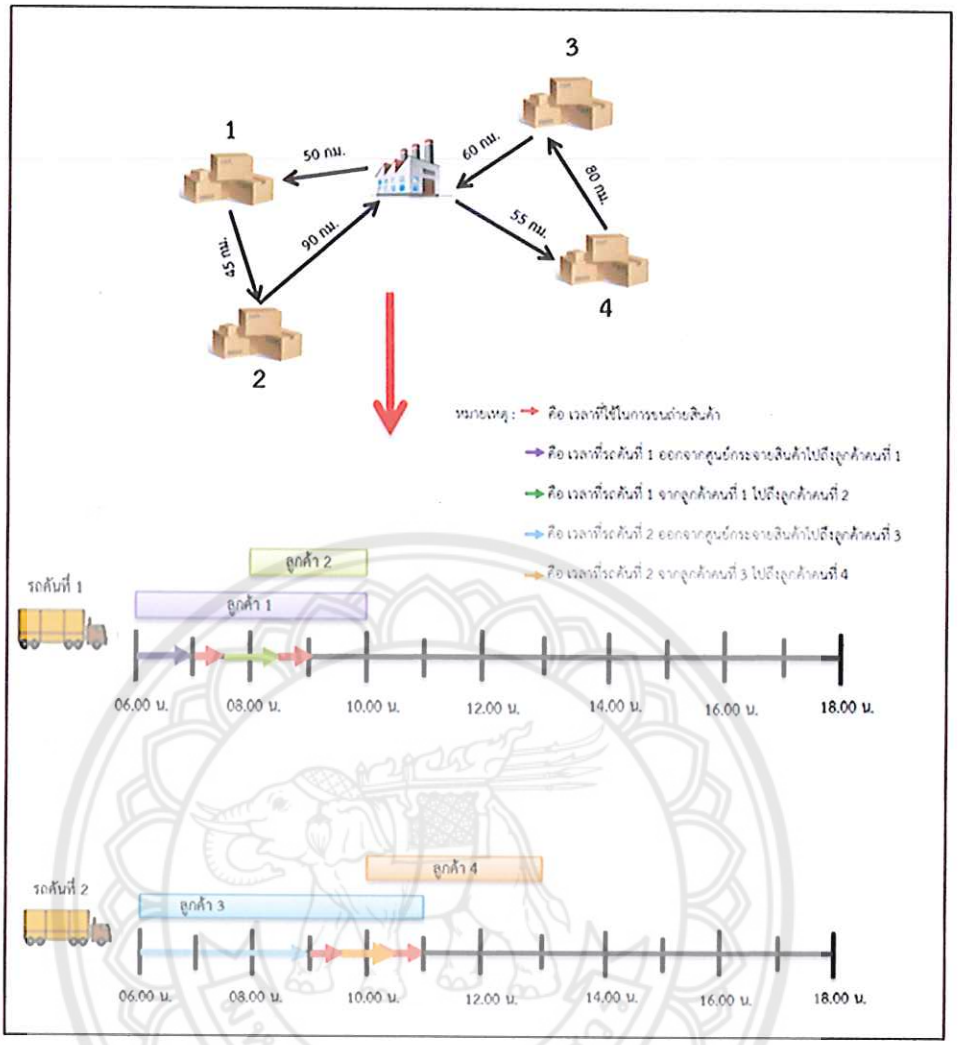
รถคันที่ 1 มีการเดินทางดังนี้ 0-1-2-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าเท่ากับ 50+45+90=185 กิโลเมตร ความต้องการสินค้าทั้งหมดเท่ากับ 4+5=9 ตัน ซึ่งไม่เกินความจุของรถคันที่ 1 และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเท่ากับ 100+(10×185)=1,950 บาท

รถคันที่ 2 เริ่มแรกรถเริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 3 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 3 เวลา 09.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 3

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 3 เวลา 09.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 4 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 4 เวลา 10.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 4

รถคันที่ 2 มีการเดินทางดังนี้ 0-3-4-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าเท่ากับ 55+80+60=195 กิโลเมตร ความต้องการสินค้าทั้งหมดเท่ากับ 3+8=11 ตัน ซึ่งไม่เกินความจุของรถคันที่ 2 และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเท่ากับ 200+(15×195)=3,125 บาท

ดังนั้น รวมค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้ง 2 คัน เท่ากับ 1,950+3,125=5,075 บาท แสดงดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คันก่อนออกจากศูนย์กระจายสินค้า

แต่ระหว่างทางที่รถขนส่งสินค้าเดินทางไปที่ลูกค้าคนที่ 2 ได้มีลูกค้าคนที่ 5 เข้ามาสั่งสินค้าจึงต้องมีการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ โดยทางบริษัทแห่งนี้ได้ออกแบบเส้นทางการขนส่งออกเป็น 2 เส้นทาง ดังนี้

เส้นทางที่ 1 มีเส้นทางการเดินทาง ดังนี้

โดยที่รถคนที่ 1 เริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาทีซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 1

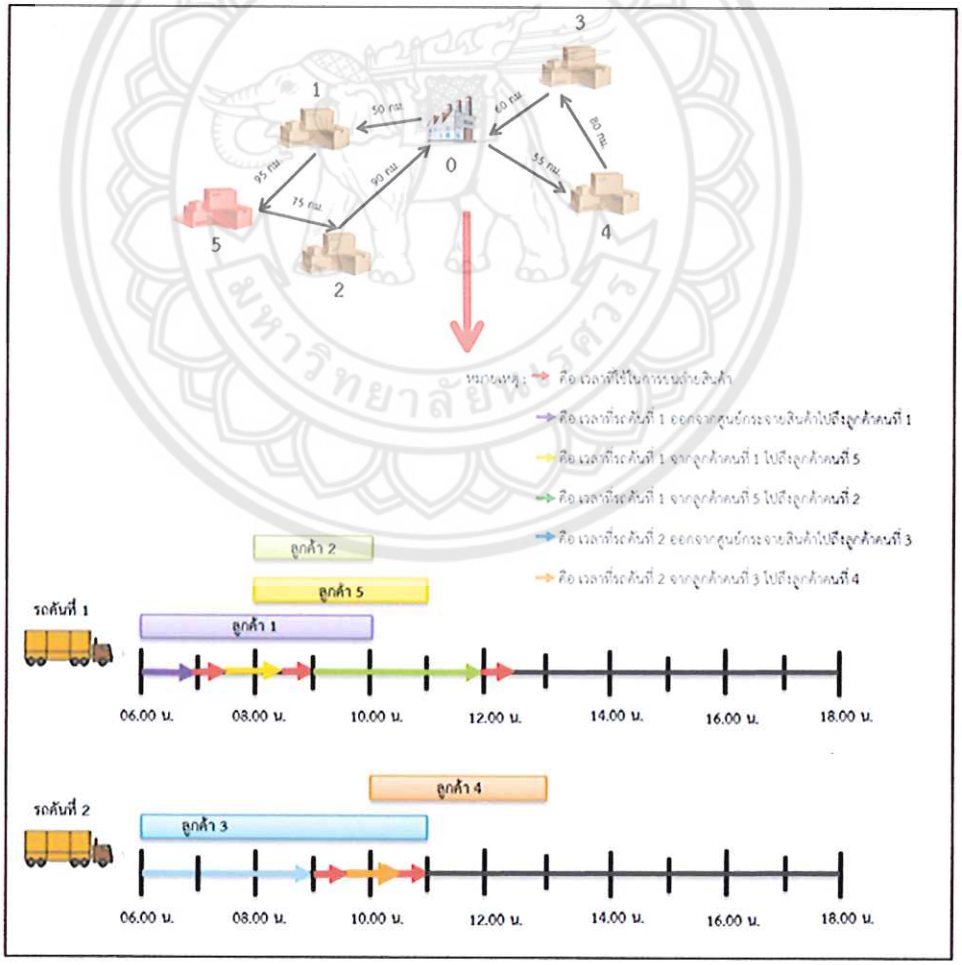
รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 08.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 5

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 5 เวลา 09.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 12.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งไม่อยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2 จึงต้องมีการเสียค่าปรับเป็นเงิน 100 บาท จากนั้นเดินทางกลับถึงศูนย์กระจายสินค้าเวลา 14.30 น.ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง

รถคันที่ 1 มีการเดินทางดังนี้ 0-1-5-2-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าเท่ากับ 50+95+75+90=310 กิโลเมตร ความต้องการสินค้าทั้งหมดเท่ากับ 4+7+5=16 ตัน ซึ่งไม่เกินความจุของรถคันที่ 1 และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเท่ากับ 100+ (10×310)=3,200 บาท

รถคันที่ 2 ไม่มีลูกค้าใหม่เข้ามาสั่งของเพิ่มระหว่างการเดินทาง จึงทำให้มีเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางเหมือนเดิม และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ 3,125 บาท

ดังนั้น เส้นทางที่ 1 มีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า เท่ากับ 3,200+3,125=6,325 บาท แสดงดังรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แสดงเส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 1 ของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คัน

เส้นทางที่ 2 มีเส้นทางการเดินทาง ดังนี้

โดยที่รถคนที่ 1 เริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 06.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 1 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาทีซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 1

รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 07.30 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 2 ใช้เวลา 1 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 08.30 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งอยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 2

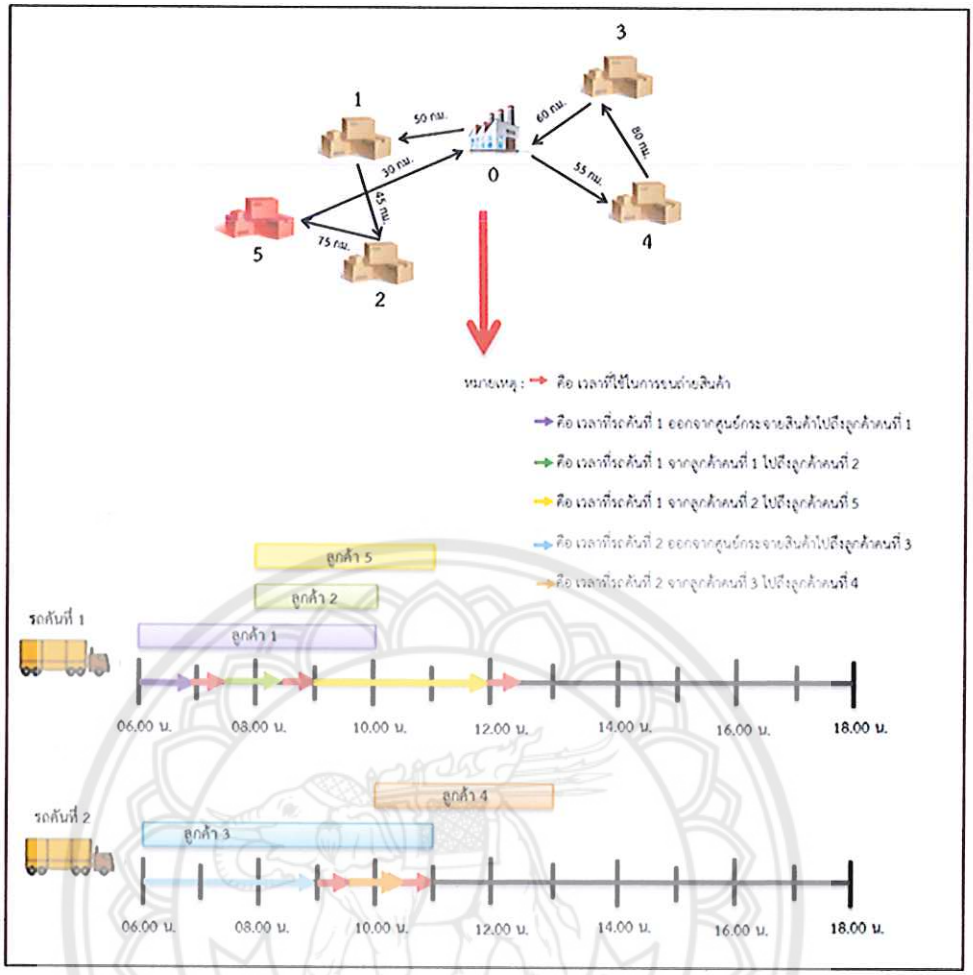
รถเริ่มออกจากลูกค้าคนที่ 2 เวลา 09.00 น. จากนั้นไปยังลูกค้าคนที่ 5 ใช้เวลา 3 ชั่วโมง จะถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 12.00 น. และเวลาขนถ่ายสินค้าเสร็จ 30 นาที ซึ่งไม่อยู่ในช่วงเวลาเปิดรับสินค้าของลูกค้าคนที่ 5 จึงต้องมีการเสียค่าปรับเป็นเงิน 200 บาท จากนั้นเดินทางกลับถึงศูนย์กระจายสินค้าเวลา 14.30 น. ใช้เวลาในการเดินทาง 2 ชั่วโมง

รถคันที่ 1 มีการเดินทางดังนี้ 0-1-2-5-0 ซึ่งมีระยะทางในการเดินทางสำหรับรถขนส่งสินค้าเท่ากับ 50+45+75+30=200 กิโลเมตร ความต้องการสินค้าทั้งหมดเท่ากับ 4+5+7=16 ตัน ซึ่งไม่เกินความจุของรถคันที่ 1 และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ ค่าใช้จ่ายในการเลือกยานพาหนะกับค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางเท่ากับ 200+(10×200)=2,200 บาท

รถคันที่ 2 ไม่มีลูกค้าใหม่เข้ามาสั่งของเพิ่มระหว่างการเดินทาง จึงทำให้มีเส้นทางที่ใช้ในการเดินทางเหมือนเดิม และมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า คือ 3,125 บาท

ดังนั้น เส้นทางที่ 2 มีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้า เท่ากับ 2,200+3,125=5,325 บาท แสดงดังรูปที่ 2.21

1.6876146



รูปที่ 2.21 เส้นทางการเดินทางเส้นทางที่ 2 ของรถส่งสินค้าทั้ง 2 คัน

สรุปได้ว่า ทางบริษัทควรเลือกเส้นทางที่ 2 เพราะมีค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง**น้อยกว่าเส้นทางที่ 1 เป็นเงิน** 6,325-5,325=1,000 บาท

2.5 วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

วิธีการเมตาฮิวริสติก คือ วิธีการที่ออกแบบมาเพื่อหาคำตอบที่ดี สำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุดที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ปัญหา มักจะถูกใช้ในการหาคำตอบภายใต้การหาคำตอบที่ขึ้นอยู่กับเลขสุ่มเพื่อให้เกิดการค้นหาพื้นที่ของคำตอบที่มีคำตอบที่เป็นไปได้ให้กว้างที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้หากพื้นที่คำตอบมีเนื้อที่กว้างมาก หรือมีจำนวนคำตอบที่เป็นไปได้มาก ก็อาจแยกย่อยพื้นที่ออกเป็นพื้นที่เล็กๆ และคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ที่ถูกแบ่งนั้น จะเรียกว่า คำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ย่อย ซึ่งวิธีการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ที่ถูกแยกย่อยนั้น จะเรียกว่า การค้นหา หรือปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้จะมีคำตอบหนึ่งที่เป็นคำตอบที่มีค่าที่ดีที่สุด เรียกว่า คำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เมตาฮิวริสติกที่กล่าวมานี้เป็นลำดับวิธีการหาคำตอบที่ดี

ภายในระยะเวลาจำกัดแต่คำตอบที่ได้มากจากวิธีการเมตาฮิวริสติกไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเหมือนคำตอบที่ได้จากปัญหาที่ได้จากวิธีแม่นตรง (Exact Method)

วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่พัฒนามาเพื่อแก้ปัญหาที่มีความยากซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีการแม่นตรงได้ หรือถ้าแก้ได้ก็อาจจะต้องใช้เวลานานในการแก้ปัญหา ดังนั้น วิธีการเมตาฮิวริสติกจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นเพื่อลดเวลาในการคำนวณ จุดประสงค์ของการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติกคือการหาคำตอบที่ดีที่สุด ดังนั้น ในการเปรียบเทียบวิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนาเพื่อแก้ปัญหาเดียวกัน การที่จะบอกได้ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพมากกว่าวิธีการใดมักจะเปรียบเทียบคุณภาพของคำตอบเมื่อทำการประมวลผลหรือดำเนินการวิธีการในเวลาเท่าๆ กัน

การทำงานของเมตาฮิวริสติกแบบต่างๆ เริ่มจากวิธีการค้นหา หรือปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นี้ดำเนินการได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหาที่จะแก้ไข โดยหลักการเริ่มต้นของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ คือ จะยอมรับคำตอบปัจจุบันเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไป ก็ต่อเมื่อคำตอบปัจจุบันนั้นดีกว่าคำตอบเดิมเท่านั้น ซึ่งจะเป็นพื้นฐานของเมตาฮิวริสติกอื่นๆ ที่จะอธิบายรายละเอียดเบื้องต้นในลำดับถัดไป เช่น การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ วิธีการเชิงพันธุกรรม และการอบอ่อนจำลอง เป็นต้น

การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำเป็นเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ โดยที่แนวคิดของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ คือ ค้นหาจุดที่ดีที่สุดในพื้นที่ที่เป็นไปได้การค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ นำขอดีของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่มาใช้ คือ หาคำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละพื้นที่ หลังจากนั้นจะรบกวนคำตอบ (Perturbation) เพื่อให้ออกจากพื้นที่เดิม (Escape) แล้วค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ใหม่ จากนั้นทำซ้ำไปเรื่อยๆ จนกระทั่งพึงพอใจจึงหยุดการรบกวน และการค้นหาคำตอบเฉพาะที่

วิธีการเชิงพันธุกรรมเป็นวิธีการเมตาฮิวริสติกที่จำลองการสืบพันธุกรรมของสิ่งมีชีวิตมาไว้ในกลไกของวิธีการ เพื่อให้มีการคัดเลือกคำตอบที่ดีหรือไม่ดี และมีวิวัฒนาการจากรุ่นสู่รุ่นเพื่อพัฒนาไปสู่คำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งเป็นเป้าหมายหลักของการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติก (ระพีพันธ์, 2554)

การอบอ่อนจำลอง เป็นวิธีการที่คณะผู้จัดทำโครงงานได้เลือกใช้ในการการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตซึ่งจะขอกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

2.5.1 หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก

2.5.1.1 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีการในการหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้

2.5.1.2 เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด หรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุดภายในระยะเวลาอันสั้น

2.5.1.3 เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ

2.5.1.4 เมตาฮิวริสติกอาจจะเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิค เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.5.1.5 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอน แม้ว่าเมื่อนำไปประยุกต์ใช้ในปัญหาที่แตกต่างกันจะมีรายละเอียดของขั้นตอนย่อยที่แตกต่างกัน

2.5.1.6 เมตาฮิวริสติกต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

2.5.1.7 เมตาฮิวริสติกอาจจะมีลักษณะเป็นเป็นคำบรรยายโดยย่อก็ได้ หรือไม่จำเป็นต้องมีหลักการทางคณิตศาสตร์

2.5.1.8 วิธีการเมตาฮิวริสติกอาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อนตัวอย่าง เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการอบอ่อนจำลอง เป็นต้น

2.5.1.9 ปัจจุบันนี้เมตาฮิวริสติกใช้ความจำชั่วคราวมากขึ้นในการจำคำตอบเดิม เพื่อค้นหาคำตอบที่ไม่ซ้ำเดิม หรือแตกต่างไปจากเดิม เช่น วิธีระบบมด เป็นต้น (ระพีพันธ์, 2554)

2.5.2 ข้อดีของวิธีการเมตาฮิวริสติกที่ทำให้ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก

2.5.2.1 คำตอบที่ได้จากวิธีการนี้ให้ผลที่ดี

2.5.2.2 แก้ปัญหาได้รวดเร็ว

2.5.2.3 ใช้งานได้ง่าย

2.6 วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA)

วิธีการอบอ่อนจำลองเป็นเทคนิคการค้นหาคำตอบแบบสุ่ม ซึ่งเลียนแบบกรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะให้ร้อนแล้วปล่อยให้เย็นลงช้าๆ เพื่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางโครงสร้างผลึกที่มีพลังงานภายในน้อยที่สุด ลักษณะดังกล่าวจะทำให้โลหะมีคุณสมบัติทางกายภาพที่แข็งแกร่งและทนทานในทางตรงกันข้ามถ้าไม่ทำการควบคุมการทำให้เย็นของโลหะร้อนแล้วโครงสร้างที่ได้จะมีจุดตำหนิ หรือบกพร่องเป็นโลหะมีความแข็งแต่เปราะกรรมวิธีการควบคุมอุณหภูมิของการอบโลหะดังกล่าว เรียกว่า การอบอ่อน (Annealing Process)

ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี 1983 โดย Kirkpatrick และคณะ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่ไม่เป็นเชิงเส้นวิธีการอบอ่อนจำลองทำให้ระบบได้รับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) โดยการเลียนแบบธรรมชาติของกระบวนการอบอ่อนเหล็ก กระบวนการดังกล่าวเริ่มต้นจากการเผาเหล็กด้วยอุณหภูมิสูงจนเกินจุดหลอมเหลว ซึ่งทำให้เหล็กอยู่ในสภาวะของเหลว และมีโครงสร้างระดับโมเลกุลที่มีพลังงานสูง สามารถมีปริมาณการเคลื่อนที่ที่สูงได้ ซึ่งจุดนี้เปรียบได้กับการที่ค้นหาคำตอบ มีพลังงานมากพอที่จะสามารถก้าวหลุดพ้นจากคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่นได้ (Local Optimum) เมื่อทำการลดอุณหภูมิของระบบลง โมเลกุลโครงสร้างของเหล็กจะไม่สามารถเคลื่อนที่ได้เท่าเดิม และจะถูกจำกัดในช่วงคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น เมื่อพิจารณาใน

ระดับโครงสร้างผลึกของเหล็ก การลดอุณหภูมิลงอย่างช้าๆ ทำให้เหล็กมีโครงสร้างผลึกที่แข็งแกร่ง ในขณะเดียวกันถ้าอุณหภูมิลดลงอย่างไม่เหมาะสมโครงสร้างผลึกดังกล่าวจะมีการจัดตัวที่ไม่เหมาะสม ส่งผลให้เกิดข้อบกพร่องหรือมีตำหนิในโครงสร้างผลึก ซึ่งจะทำให้เหล็กที่ได้มีความแข็งแกร่งแต่เปราะ เหล็กที่ไม่มีข้อบกพร่องในโครงสร้างผลึกเลยเปรียบได้กับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงกว้าง กระบวนการอบอ่อนเหล็กดังกล่าวเปรียบเทียบได้กับการเขย่ากล่องที่มีพื้นผิวการค้นหาคำตอบ และมีลูกบอลกลิ้งไปมาบนพื้นผิวนั้นๆ เมื่อลูกบอลกลิ้งไปติดกับร่อง เราจำเป็นต้องเขย่ากล่องให้แรงขึ้น เพื่อให้ลูกบอลหลุดออกจากร่องให้ได้ร่องดังกล่าวเปรียบได้กับคำตอบที่เหมาะที่สุดแบบวงแคบเฉพาะถิ่น ร่องที่ลึกย่อมต้องการการเขย่าที่แรงกว่าในการที่จะทำให้ลูกบอลหลุดออกจากร่องได้ การเขย่าที่แรงคือการให้พลังงานกับลูกบอลที่มากขึ้นเทียบได้กับการให้อุณหภูมิที่สูงกับโมเลกุลของเหล็ก อุณหภูมิที่ลดลง คือ การเขย่ากล่องด้วยแรงที่ลดลง ทำให้ลูกบอลเคลื่อนที่ได้ราบเรียบ และเข้าสู่เป้าหมายได้ดีขึ้น (Wongsanga)

วิธีการอบอ่อนจำลองเกิดจากการพัฒนาของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ โดยหลักการเริ่มต้นของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ คือ จะยอมรับคำตอบปัจจุบันเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไป ก็ต่อเมื่อคำตอบปัจจุบันนั้นดีกว่าคำตอบเดิมเท่านั้น แต่หลักการของวิธีการอบอ่อนจำลอง คือ คำตอบปัจจุบันที่จะยอมรับให้เป็นคำตอบใหม่จะไม่ใช่แต่เฉพาะคำตอบที่ดีขึ้นเท่านั้นแต่บางครั้งสามารถยอมรับคำตอบปัจจุบันที่มีคุณภาพคำตอบแย่ลงมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไปได้

2.6.1 แนวคิดหลักของวิธีการอบอ่อนจำลอง

2.6.1.1 การอบอ่อนจำลองมีแนวคิดพื้นฐานจากการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่

2.6.1.2 การอบอ่อนจำลองอาจจะยอมรับคำตอบที่แย่ลงมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปพัฒนา เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดในพื้นที่ย่อยต่อไปได้

2.6.1.3 ในการพิจารณาว่าจะยอมรับหรือไม่ยอมรับคำตอบที่แย่ลงนั้นใช้หลักการความน่าจะเป็น

2.6.1.4 อุณหภูมิจะลดลงตามจำนวนรอบการค้นหาคล้ายกับอุณหภูมิในการอบอ่อน

2.6.1.5 การอบอ่อนจะสำเร็จเมื่ออุณหภูมิเทียบเท่าอุณหภูมิห้องเช่นเดียวกับเมื่ออุณหภูมิในรอบการวนซ้ำใดๆ ลดลงถึงอุณหภูมิที่กำหนดการวนรอบจะหยุดลง หรืออาจจะหยุดด้วยเหตุผลอื่นๆ ก็ได้ เช่น จำนวนรอบเท่ากับจำนวนที่ตั้งไว้หรือไม่มีคำตอบที่ดีขึ้นเป็นจำนวนเท่ากับจำนวนรอบวนที่ตั้งไว้ เป็นต้น (ระพีพันธ์, 2554)

2.6.2 ขั้นตอนการแก้ปัญหาของวิธีการอบอ่อนจำลอง

กำหนดให้

S_1 คือ คำตอบเริ่มต้น

S_{new} คือ คำตอบใหม่

S_{best} คือ คำตอบที่ดีที่สุดในปัจจุบัน

S_{cur} คือ คำตอบที่พิจารณาอยู่ ณ ปัจจุบัน

T_{max} คือ อุณหภูมิเริ่มต้น

T_{min} คือ อุณหภูมิสุดท้าย

T คือ อุณหภูมิปัจจุบัน

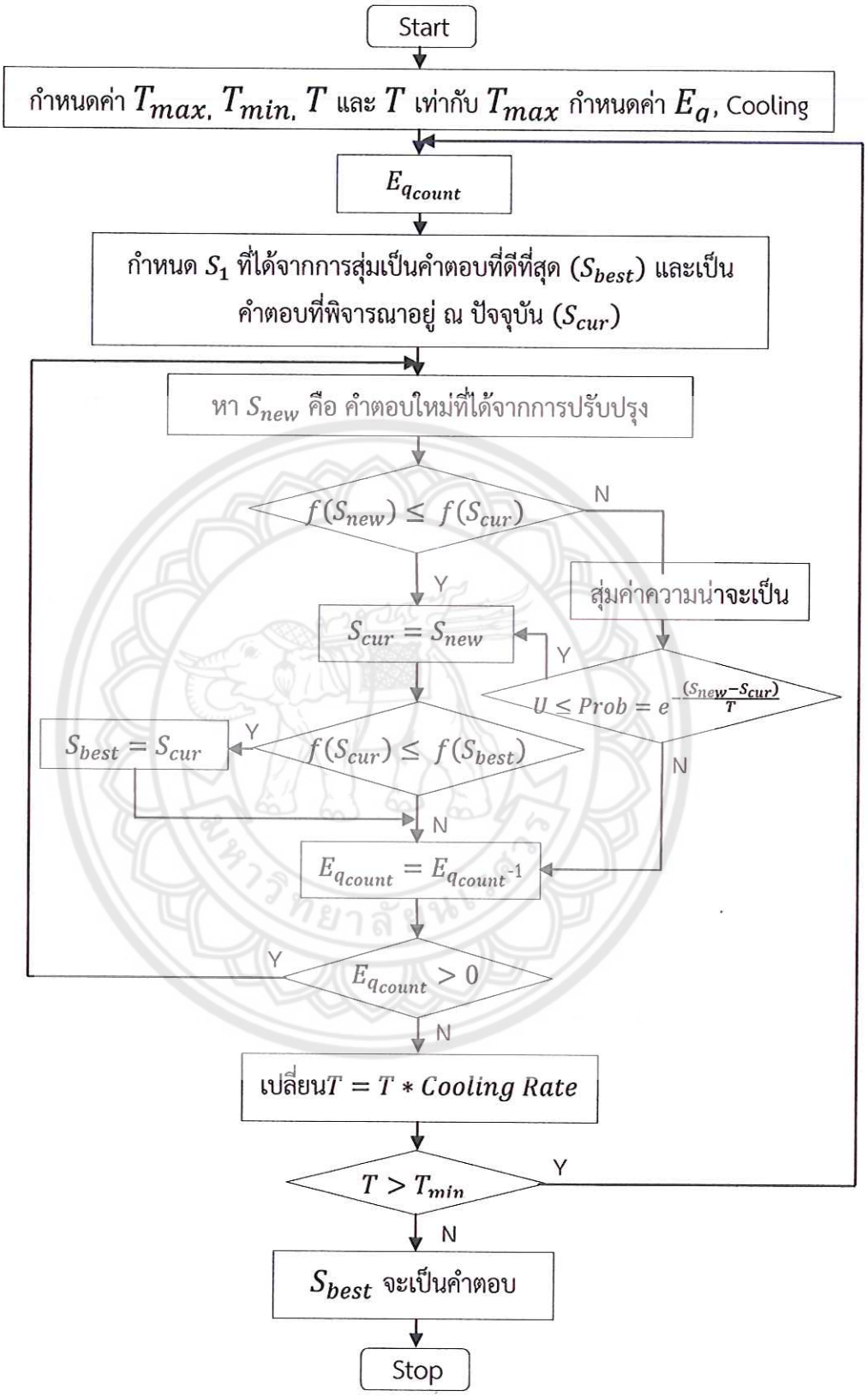
$f(\cdot)$ คือ ฟังก์ชันค่าคำตอบ หรือค่าฟิตเนส

E_q คือ จำนวนการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิ

$E_{q_{count}}$ คือ ค่าจำนวนการค้นหา ที่เหลืออยู่ในระดับอุณหภูมิ

$Cooling\ Rate$ คือ อัตราการเย็นตัว (0, 1)

สามารถแสดงเป็นแผนผัง แสดงดังรูปที่ 2.22



รูปที่ 2.22 ขั้นตอนการอบอ่อนจำลอง

ที่มา : สุกัญญา และสุปราณี (2555)

2.7 โปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel

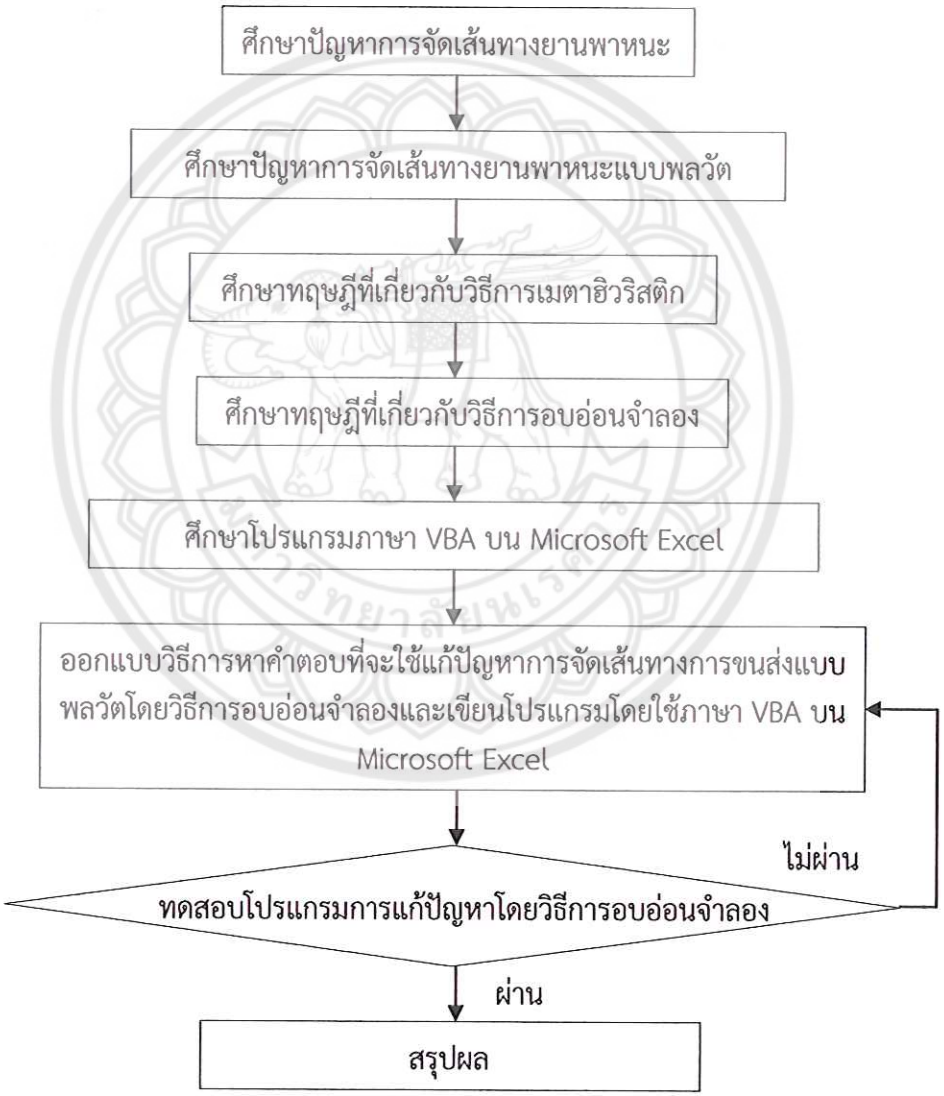
Microsoft Excel เป็นโปรแกรมประเภทแผ่นตารางการทำงาน ที่มีความสามารถในการทำงานที่เกี่ยวข้องกับคณิตศาสตร์ ข้อมูลทางธุรกิจ และสถิติ เป็นต้น ที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมาก นอกจากการทำงานในลักษณะของโปรแกรมประเภทแผ่นตารางแล้ว เรายังสามารถพัฒนาขีดความสามารถของ Microsoft Excel ได้อีกหลากหลายเพื่อตอบสนองความต้องการของผู้ใช้ได้มากขึ้น นั่นก็ คือ การเขียนโปรแกรมให้เหมาะสมกับความต้องการ จากการที่ Microsoft Excel ที่เป็นโปรแกรมผู้ใช้งานคอมพิวเตอร์ทุกคนนิยม และคุ้นเคยทำให้การเขียนโปรแกรมบน Microsoft Excel ทำได้ง่าย ไม่ยุ่งยาก แก้ไขปัญหาได้ง่าย ปรับปรุงเปลี่ยนแปลงได้ง่าย และโปรแกรมที่ใช้มีความยืดหยุ่นสูง นั้นเป็นอีกเหตุผลหนึ่งที่มีคนจำนวนมากนิยมเขียนโปรแกรมบน Microsoft Excel เช่น การเขียนโปรแกรมกับงานที่ต้องการสั่งทำอัตโนมัติตามเวลาที่ตั้งไว้ งานที่เปิดโอกาสให้ผู้ใช้ข้อมูลเลือก Option ได้ตามต้องการ งานที่ต้องการใช้งานร่วมกับแหล่งข้อมูลสารพัดรูปแบบ หรืองานที่ต้องเชื่อมประสานข้อมูลระหว่างโปรแกรมต่างๆ ใน Microsoft Office อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นโปรแกรมที่ถูกเขียนขึ้น และใช้งานบน Microsoft Excel จะเรียกว่า VBA

VBA คือ โปรแกรม Visual Basic ที่ถูกฝังไว้ใน Microsoft Excel เป็นส่วนที่สามารถใช้งานได้โดยการเขียนโปรแกรม ซึ่งรูปแบบการเขียนโปรแกรมนั้นไม่แตกต่างจากการเขียนโปรแกรม Visual Basic เท่าใดนั้น เพียงแต่สามารถเข้าใจ และเขียนโปรแกรมได้ง่ายกว่าภาษาไม่ซับซ้อนมากนัก นอกจากการเขียนโปรแกรมโดยผู้ใช้งานแล้ว ในส่วนนี้ยังเก็บคำสั่งที่เกิดจากการบันทึกขั้นตอนต่างๆ ในการเขียนโปรแกรมด้วย VBA ซึ่งการบันทึกนี้ จะเรียกว่า Macro นอกจากนี้ VBA ยังสามารถเขียนโปรแกรมต่างๆ ได้ด้วยคำสั่งหรือ Code ต่างๆ และมีหน้าต่างการทำงานการเขียน และแก้ไขคำสั่ง VBA คือ Visual Basic Editor : VBE อีกด้วย

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel ตัวอย่างเช่น การทำให้ Microsoft Excel ทำงานตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้น การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยมีเงื่อนไขในการค้นหาข้อมูล การสร้างเมนูเพิ่มขึ้นใน Microsoft Excel และการสร้างระบบงานใน Microsoft Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้น VBA จึงมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีใช้ทั่วไปในเครื่องคอมพิวเตอร์แทบจะทุกเครื่อง โดยเฉพาะในงานวางแผน และบริหารจะช่วยให้ทำงานได้ง่าย และรวดเร็วยิ่งขึ้น (ปิ่นนภา และสุวรรณา, 2555)

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

หลังจากที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าข้อมูล และงานวิจัยที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบ DVRP ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และบทที่ 2 แล้ว เพื่อทำให้การศึกษาวิธีการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบ DVRP โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลองให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น จึงมีการดำเนินงานที่เป็นลำดับขั้นตอน แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงงาน

3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

สามารถจัดกลุ่มของปัญหา VRP ตามลักษณะแบ่งออกเป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

3.1.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า

3.1.1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน

3.1.1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน

3.1.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา

3.1.2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา

3.1.2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด

3.1.2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด

3.1.2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัดและไม่เคร่งครัด

3.1.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง

3.1.3.1 แบบคาบเวลาเดียว

3.1.3.2 แบบหลายคาบเวลา

3.1.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น

3.1.4.1 มีจุดเริ่มต้นเดียว

3.1.4.2 มีจุดเริ่มต้นหลายจุด

3.2 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

ปัญหา DVRP ซึ่งเป็นการจัดเส้นทางการขนส่งโดยที่ขณะเวลาไปส่งสินค้าจะมีลูกค้ารายอื่นเข้ามาสั่งสินค้าเพิ่มได้ โดยจะมีการนำลูกค้าที่เพิ่งเข้ามาสั่งสินค้าใหม่รวมกับเส้นทางการขนส่งสินค้าเดิมที่ยังไม่ได้ไปส่งสินค้าตั้งแต่ต้น แล้วทำการจัดเส้นทางใหม่จึงค่อยเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามเส้นทางใหม่ที่ทำการจัดขึ้น

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งขนสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตนี้มีเป้าหมาย เพื่อพยายามลดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุดซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย

3.2.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะแบบคงที่ คือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีขนาดบรรจุต่างกันโดยแต่ละขนาดจะมีค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน

3.2.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางแบบแปรผัน คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระยะทางของการขนส่งสินค้าโดยค่าใช้จ่ายจะแปรผันตามระยะทางของการขนส่งสินค้า

3.2.3 ค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา คือ ค่าใช้จ่ายเมื่อส่งสินค้าเกินกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดจะมีการเสียค่าปรับเท่ากันทุกช่วงเวลาของการขนส่ง ซึ่งขอบเขตในการดำเนินโครงงานต่างๆ ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 1 ในข้อ 1.5

3.3 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการเมตาฮิวริสติก

วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีภายในระยะเวลาจำกัดแต่คำตอบที่ได้มาจากวิธีการเมตาฮิวริสติกไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะเป็นคำตอบที่ดีที่สุดเหมือนคำตอบที่ได้จากปัญหาที่ได้จากวิธีแม่นตรง วิธีการเมตาฮิวริสติกเป็นวิธีการที่พัฒนามา เพื่อแก้ปัญหาที่มีความยากซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีการแม่นตรงได้ หรือถ้าแก้ได้ก็อาจจะต้องใช้เวลานานในการแก้ปัญหา ดังนั้นวิธีการเมตาฮิวริสติกจึงได้ถูกพัฒนาขึ้น เพื่อลดเวลาในการคำนวณ การทำงานของเมตาฮิวริสติกแบบต่างๆ เริ่มจากวิธีการค้นหา หรือปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นี้ดำเนินการได้หลายวิธี ขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหาที่จะแก้ไข ซึ่งการปรับปรุงเฉพาะที่จะเป็นพื้นฐานของเมตาฮิวริสติกอื่นๆ ในที่นี้ทางคณะผู้จัดทำโครงงานได้เลือกวิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นเมตาฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่ทางคณะผู้จัดทำโครงงานได้เลือกมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะแบบพลวัต

3.4 ศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวกับวิธีการอบอ่อนจำลอง

การเลียนแบบการอบอ่อนเกิดจากการพัฒนาของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ โดยหลักการเริ่มต้นของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ คือ จะยอมรับคำตอบปัจจุบันเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไป ก็ต่อเมื่อคำตอบปัจจุบันนั้นดีกว่าคำตอบเดิมเท่านั้น แต่หลักการของวิธีการอบอ่อนจำลอง คือ คำตอบปัจจุบันที่จะยอมรับให้เป็นคำตอบใหม่จะไม่ใช่แต่เฉพาะคำตอบที่ดีขึ้นเท่านั้นแต่บางครั้งสามารถยอมรับคำตอบปัจจุบันที่มีคุณภาพคำตอบแย่ลงมาเป็นคำตอบใหม่ที่จะนำไปดำเนินการต่อไปได้

3.5 ศึกษาโปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel

3.5.1 ศึกษาวิธีการทำงานของโปรแกรมภาษา VBA

3.5.2 ศึกษาฟังก์ชันการทำงาน และการกำหนดค่าต่างๆ

3.6 ออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลองและเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel

ทำการออกแบบวิธีการหาคำตอบที่จะใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง และเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel

3.7 ทดสอบโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง

นำโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลองการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลองมาทดสอบว่าสามารถใช้งานได้จริง ถ้าใช้งานไม่ได้ก็ทำการแก้ไข

3.8 แก้ไขและปรับปรุงการใช้งานของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง

ถ้าโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยวิธีการอบอ่อนจำลองได้ไม่สามารถใช้งานได้จริงก็ทำการแก้ไขและปรับปรุงต่อไป

3.9 สรุปผล

สรุปผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบกับปัญหา

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการออกแบบการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel และผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการทดลองกับงานวิธีอื่นๆ ด้วย ซึ่งจะสามารถแบ่งหัวข้อของผลการทดลองและการวิเคราะห์ได้ ดังต่อไปนี้

4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน

4.3 การสร้างคำตอบเริ่มต้น การซ่อมแซมคำตอบ การปรับปรุงกรอบเวลาและการประเมินค่าคำตอบ

4.4 การออกแบบการทำงานของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search : LS)

4.5 การออกแบบวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

4.6 รายละเอียดโปรแกรมและวิธีการใช้งานโปรแกรมอย่างย่อ

4.7 ผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

4.8 การแสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่นๆ

4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

4.10 สรุปผล

4.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง โดยลักษณะปัญหานั้นจะเป็นการหาเส้นทางในการเดินทางไปพบลูกค้ายังสถานที่ต่างๆ ตามคำขอของลูกค้า โดยทำให้มีระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดต่ำที่สุด ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้พัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย และได้ถูกศึกษาอย่างแพร่หลายในสาขาของการวิจัยการดำเนินงาน ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะถูกนำมาวิจัยครั้งแรก โดย Dantzig และ Ramser ศึกษาการจัดเส้นทางของยานพาหนะสำหรับบรรทุกเชื้อเพลิงจากสถานีกลางไปยังสถานีย่อยต่างๆ โดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงหลังจากนั้นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะก็ได้รับการวิจัยอย่างมาก โดยที่มีการเพิ่มเติมเงื่อนไขต่างๆ เข้าไปให้สมจริงมากขึ้น เช่น การที่ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการปริมาณสินค้าที่ไม่เท่ากัน มีเงื่อนไขเรื่องกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีความจุไม่เท่ากัน และมีการเสียค่าปรับเนื่องจากการส่งสินค้าไม่ทันกรอบเวลา เป็นต้น ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันอุปกรณ์การสื่อสารถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการขนส่งมากขึ้น ผู้ให้บริการสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่เข้ามาระหว่างการขนส่ง

ได้ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเดิมจึงกลายมาเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต ซึ่ง Pillac และคณะ ได้แบ่งปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัยไว้ 4 รูปแบบ ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย

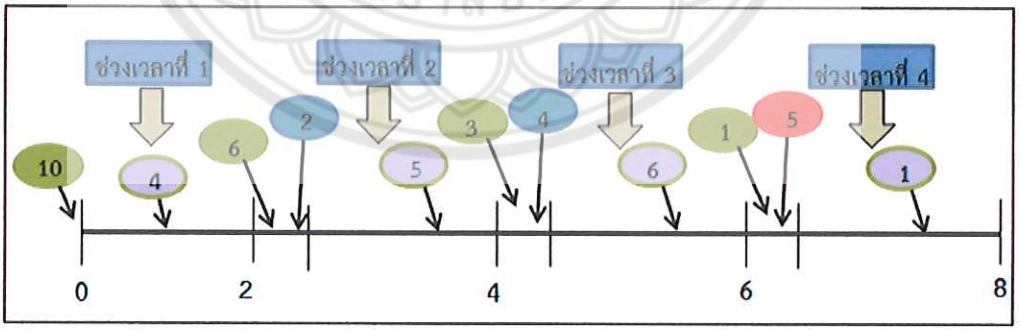
1. Static and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าอย่างแน่นอน จำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา เส้นทางยานพาหนะจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงในช่วงการขนส่ง
2. Static and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าล่วงหน้าแน่นอน จำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา แต่ข้อมูลของลูกค้ามีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมี 3 กรณี คือ ความไม่แน่นอนของลูกค้าที่จะรับบริการ เวลารับสินค้าไม่แน่นอน และปริมาณความต้องการสินค้าไม่แน่นอน เส้นทางของยานพาหนะอาจมีการปรับเปลี่ยนเล็กน้อยในระหว่างการทำงาน
3. Dynamic and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางราย คำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามา เมื่อกำลังดำเนินการขนส่ง เส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงาน และจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารช่วยในการขนส่ง
4. Dynamic and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางราย ข้อมูลของลูกค้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไป อีกทั้งคำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามาในช่วงกำลังขนส่ง เส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงาน และจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในการสนับสนุนการขนส่ง

ในส่วนของโครงงานที่เป็นปัญหาแบบพลวัต เงื่อนไขต่างๆ 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 (ยุทธพงษ์, 2557)

4.2 ลักษณะปัญหาในโครงงาน

รูปแบบของปัญหาในโครงงานนี้จัดเป็นปัญหาแบบ Dynamic and Deterministic กล่าวคือ ก่อนเริ่มการขนส่งสินค้าผู้ให้บริการจะทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าเพียงบางราย หลังจากได้เริ่มการขนส่งไปแล้ว ก็จะมีลูกค้ารายใหม่ๆ ร้องขอสินค้าเข้ามา ซึ่งรายละเอียดของลูกค้าแต่ละรายหรือข้อมูลนำเข้านั้นจะทราบค่าแน่นอนและจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก โดยที่ข้อมูลนำเข้านั้นจะประกอบไปด้วย ตำแหน่งรับสินค้าของลูกค้า ปริมาณความต้องการเวลาเริ่มรับสินค้าและเวลาสุดท้ายที่จะสามารถรับสินค้าได้ ช่วงก่อนเริ่มต้นการส่งสินค้า คลังสินค้าจะทราบจำนวนลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าให้แน่นอนจากการร้องขอของลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า จากนั้นก็จะทำการวางแผนจัดเส้นทางยานพาหนะเพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้วมอบหมายเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นให้กับยานพาหนะแต่ละคัน ยานพาหนะก็จะออกเดินทางจากคลังสินค้าเพื่อไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามลำดับที่ได้จัดไว้ ระหว่างที่ยานพาหนะกำลังเดินทางเพื่อส่งสินค้าอยู่นั้น ลูกค้ารายใหม่ๆ จะติดต่อเข้ามากับคลังสินค้าเพื่อร้องขอสินค้า ดังนั้นคลังสินค้าจะต้องจัดการวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่ แล้วมอบหมายเส้นทางใหม่นั้นให้กับยานพาหนะผ่านทางเทคโนโลยีที่ช่วยในการสื่อสาร สุดท้ายเมื่อยานพาหนะขนส่งสินค้าเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วก็จะกลับมายังคลังสินค้า จะเห็นว่าจำนวนลูกค้าใหม่และปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายที่ปรากฏขึ้นมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา นับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งที่คลังสินค้าจะต้องวางแผนเส้นทางและตัดสินใจมอบหมายงานให้กับยานพาหนะ การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic โดยมีข้อกำหนดว่าเมื่อมีลูกค้าเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 จะไม่ทำการจัดส่งสินค้าในช่วงเวลาที่ 4 ทันที แต่จะนำไปส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไป แสดงดังรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 แสดงการขนส่งสินค้าแบบปัญหา 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

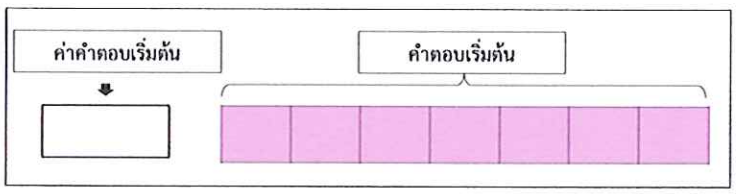
ช่วงเวลาที่ 3 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 3 ราย และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 4 ราย เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 3 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 7 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งของให้ลูกค้าไปจำนวน 6 ราย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

ช่วงเวลาที่ 4 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 1 ราย และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 5 ราย แต่ลูกค้าที่เพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 5 รายนี้ จะไม่ทำการจัดส่งในช่วงเวลาที่ 4 เราจะไปจัดส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไปตามข้อกำหนดที่ได้กล่าวไว้ข้างต้น เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 4 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 1 ราย เมื่อทำการส่งสินค้าเรียบร้อยแล้วยานพาหนะก็จะกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า (ยุทธพงษ์, 2557)

4.3 การสร้างคำตอบเริ่มต้น การซ่อมแซมคำตอบ การปรับปรุงกรอบเวลาและการประเมินค่าคำตอบ

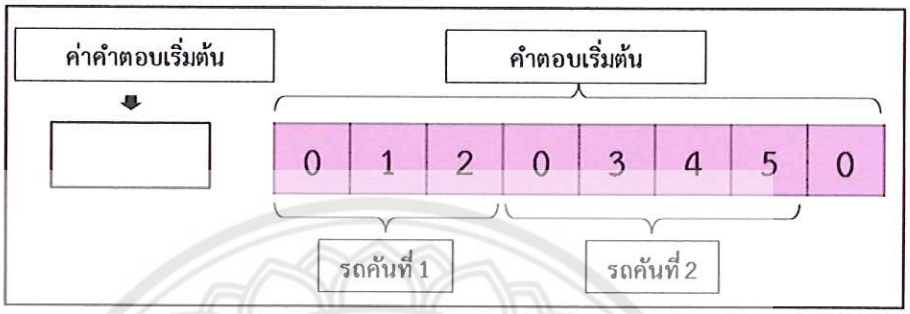
4.3.1 การสร้างคำตอบเริ่มต้น

การสร้างคำตอบเริ่มต้น จะได้มาจากการสุ่มคำตอบเริ่มต้นขึ้นมา 1 ชุด จะสร้างเป็นช่องตามจำนวนลูกค้าที่ผู้ใช้กำหนด หรือ n (n คือ จำนวนลูกค้า) จำนวนรถที่ผู้ใช้กำหนด หรือ m (m คือ จำนวนรถ) และจำนวนศูนย์กระจายสินค้า (p คือ ศูนย์กระจายสินค้า) และจะแสดงค่าคำตอบซึ่งก็คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง แสดงอยู่ทางซ้ายมือของช่องตัวแทนคำตอบ ตัวอย่างเช่น คำตอบเริ่มต้น n=5, m=1 และ p=1 แสดงดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 แสดงคำตอบเริ่มต้น n=5, m=1 และ p=1

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



รูปที่ 4.3 แสดงตัวอย่างการสร้างคำตอบเริ่มต้น

4.3.2 การซ่อมแซมคำตอบ

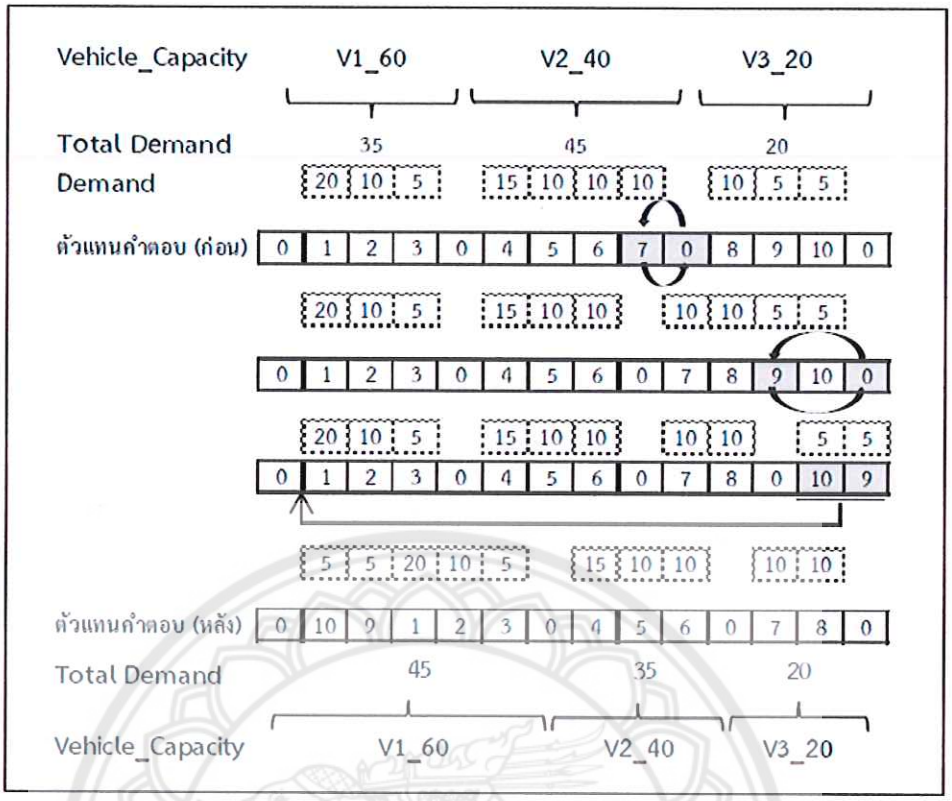
การซ่อมแซมคำตอบ สำหรับส่วนของขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไขและการซ่อมแซมคำตอบหลังจากสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ในกระบวนการนี้จะมีจุดประสงค์เพื่อปรับปรุงให้คำตอบเริ่มต้นนั้นเป็นคำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบความจุของยานพาหนะทุกคันตามตัวแทนคำตอบ ถ้าหากมียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความจุก็จะทำการซ่อมแซมคำตอบนั้น แสดงดังรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างวิธีการซ่อมแซมคำตอบไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้

ขั้นที่ 1 ได้ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่มาจากการสุ่ม

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบความจุของยานพาหนะแต่ละคันตามตัวแทนคำตอบ โดยการบวกปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่อยู่ในเส้นทางเดียวกัน ถ้าหากพบว่ามียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความสามารถ (Infeasible Solution) ให้นำหมายเลขลูกค้ารายที่เกินรายแรกที่พบไปสลับกับหมายเลขศูนย์ตัวถัดไปในตัวแทนคำตอบ

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบความจุจนครบจำนวนยานพาหนะทุกคันถ้าหากมีการละเมิดความจุที่ยานพาหนะคันสุดท้ายให้เก็บจำนวนลูกค้ารายที่เกินความจุทั้งหมดแล้วนำมาแทรกไว้ที่ยานพาหนะคันแรก

ขั้นที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกว่ายานพาหนะทุกคันไม่บรรทุกสินค้าเกิน (Feasible Solution)



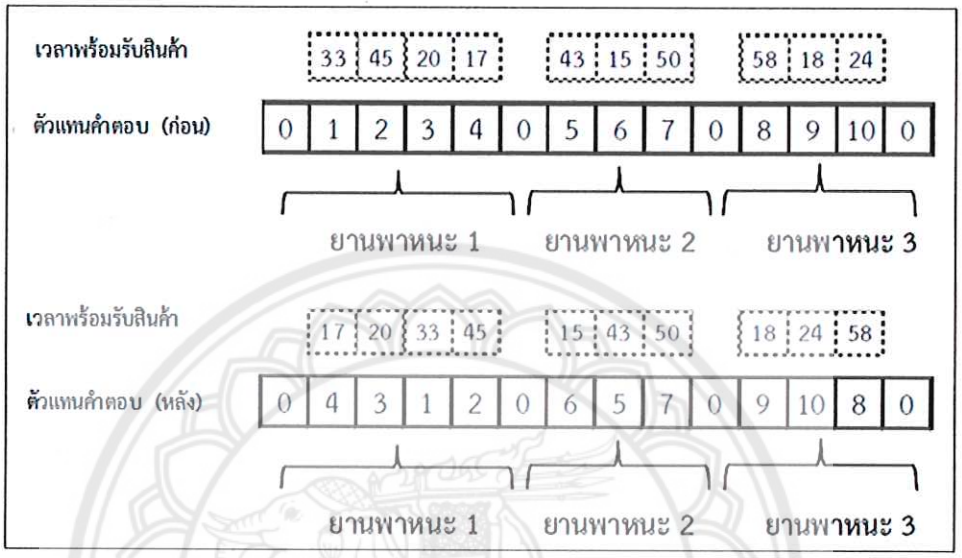
รูปที่ 4.4 แสดงวิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบที่เป็นไปได้

จากรูปที่ 4.4 จากตัวแทนคำตอบเริ่มต้นจะพบว่ายานพาหนะคันที่ 2 (V2) มีการบรรทุกสินค้าเกินความสามารถของยานพาหนะจึงต้องมีการนำ ลูกค้ารายที่เกิน (ลูกค้าหมายเลข 7) ไปฝากไว้กับยานพาหนะคันที่ 3 (V3) ในลำดับถัดมาพบว่ายานพาหนะคันที่ 3 ซึ่งเป็นคันสุดท้ายก็มีการละเมิดความจุด้วยเช่นกัน ดังนั้น จึงมีการนำลูกค้าส่วนที่เกินความจุ (ลูกค้าหมายเลข 10 และ 9) เข้าไปแทรกในเส้นทางของยานพาหนะคันแรก ซึ่งจะได้เป็นคำตอบใหม่ขึ้นมา แล้วทำการตรวจสอบความจุตามตัวแทนคำตอบใหม่นี้อีกครั้งหนึ่ง ทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขความจุ (ยุทธพงษ์, 2557)

4.3.3 การปรับปรุงกรอบเวลา

การปรับปรุงกรอบเวลา เมื่อซ่อมแซมคำตอบเรียบร้อยแล้วก็จะนำคำตอบนั้นมาปรับปรุงเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในการรับสินค้า กระบวนการนี้มีจุดประสงค์เพื่อลดจำนวนลูกค้าที่ได้รับสินค้าไม่ตรงกรอบเวลา มีวิธีการปรับปรุงคำตอบแสดงดังรูปที่ 4.5 จากตัวอย่างในตัวแทนคำ ตอบมียานพาหนะที่ใช้งานจำนวน 3 คันพิจารณายานพาหนะคันที่ 1 ในตัวแทนคำตอบก่อนการปรับปรุงยานพาหนะจะเดินทางออกจากคลังสินค้าไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 2, 3 และ 4 จากนั้นก็จะเดินทางกลับไปยังคลังสินค้า ในการปรับปรุงกรอบเวลานี้จะพิจารณาโดยการเรียงลำดับเวลาพร้อมรับสินค้าของลูกค้าในเส้นทางใดๆ จากน้อยไปหามาก ซึ่งหมายความว่าลูกค้าที่ต้องการสินค้าเร่งด่วนก็จะ

ได้รับสินค้าก่อนนั่นเอง จะเห็นว่าลูกค้ารายที่ 4 มีเวลาพร้อมรับสินค้าน้อยที่สุด คือ 17 ก็จะถูกเรียงไว้ลำดับแรกจากนั้นก็ตามมาด้วยลูกค้าที่มีเวลาพร้อมรับสินค้ามากขึ้นลำดับถัดไปหลังจากการปรับปรุงคำตอบ เส้นทางของยานพาหนะคันที่ 1 จะเปลี่ยนเป็นการส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 4 ก่อนตามมาด้วยลูกค้ารายที่ 3, 1, 2 และกลับสู่คลังสินค้าตามลำดับ (ยุทธพงษ์, 2557)



รูปที่ 4.5 แสดงการปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ

4.3.4 การประเมินค่าคำตอบ

เมื่อทำการสร้างคำตอบเริ่มต้นเรียบร้อยแล้ว จากนั้นทำการหาค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวม ตั้งแต่ลูกค้ารายที่ 1 ถึงลูกค้ารายที่ n การประเมินค่าคำตอบในที่นี้ คือ การประเมินค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง ซึ่งได้มาจากผลรวมระหว่างค่าใช้จ่ายคงที่ ค่าใช้จ่ายแปรผัน และค่าปรับ ซึ่งจะกำหนดให้รถแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุก ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายแปรผันที่แตกต่างกัน ค่าใช้จ่ายคงที่ เช่น ถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท A ก็จะเสียค่าใช้จ่ายคงที่ 180 บาทคูณกับจำนวนรถที่เลือกรถประเภท A ถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท B ก็จะเสียค่าใช้จ่ายคงที่ 200 บาทคูณกับจำนวนรถที่เลือกรถประเภท B และถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท C ก็จะเสียค่าใช้จ่ายคงที่ 220 บาทคูณกับจำนวนรถที่เลือกรถประเภท C เป็นต้น ค่าใช้จ่ายแปรผัน เช่น ถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท A ก็จะเสียค่าใช้จ่ายแปรผัน 1 บาทคูณกับระยะทางในการขนส่ง ถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท B ก็จะเสียค่าใช้จ่ายแปรผัน 1.7 บาทคูณกับระยะทางในการขนส่ง และถ้าเลือกรถในการขนส่งประเภท C ก็จะเสียค่าใช้จ่ายแปรผัน 2.5 บาทคูณกับระยะทางในการขนส่ง เป็นต้น ส่วนค่าปรับที่เกิดจากการละเมิดกรอบเวลานั้นจะกำหนดให้มีค่าเท่ากัน ดังตารางที่ 4.2

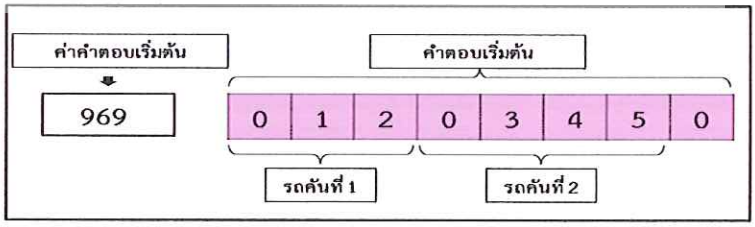
ตารางที่ 4.2 แสดงค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่างๆ

ประเภทรถ	ความจุ	ค่าใช้จ่ายคงที่	ค่าใช้จ่ายแปรผัน	ค่าปรับ
A	90	180	1	30
B	150	200	1.7	
C	300	220	2.5	

ตัวอย่างที่ 2 การประเมินค่าคำตอบ กำหนดให้มีจำนวนลูกค้า 5 ราย มีจำนวนรถ 2 คัน และศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ซึ่งตัวแทนตำตอบนี้ได้มาจากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุด ในที่นี้กำหนดให้เป็น 0-1-2-0-3-4-5-0 ตามลำดับ โดยรถคันที่ 2 ส่งของให้ลูกค้ารายที่ 5 ไม่ทันเวลา ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายในการละเมิดกรอบเวลาเพิ่มขึ้น ซึ่งให้รถคันที่ 1 เลือกเป็นรถประเภท A และรถคันที่ 2 เลือกเป็นรถประเภท B ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่างๆ ดังตารางที่ 4.2 และระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย

I/J	0	1	2	3	4	5
0	0	50	90	60	55	30
1	50	0	45	65	40	95
2	90	45	0	70	35	75
3	60	65	70	0	80	85
4	55	40	35	80	0	50
5	30	95	75	85	50	0



รูปที่ 4.6 แสดงค่าคำตอบ

จากรูปที่ 4.6 มีวิธีในการคำนวณค่าคำตอบ หรือการหาค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง ดังนี้ [(จำนวนรถที่เลือกรถประเภท A×ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 1) + (ค่าใช้จ่ายแปรผันของรถคันที่ 1× ระยะทางที่รถคันที่ 1 ใช้)] + [(จำนวนรถที่เลือกรถประเภท B×ค่าใช้จ่ายคงที่ของรถคันที่ 2)

+(ค่าใช้จ่ายแปรผันของรถคันที่ 2×ระยะทางที่รถคันที่ 2 ใช้) +ค่าละเมิดกรอบเวลา] =ค่าคำตอบของค่าใช้จ่ายรวม ค่าที่ได้คือ [(1×180) + (1× (50+45+90))] + [(1×200) + (1.7× (60+80+50+30)) +30]=969

4.4 การออกแบบการทำงานของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ (Local Search : LS)

การทำงานของการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ คือ จะนำตัวแทนคำตอบปัจจุบันที่ได้มาจากการสร้างคำตอบเริ่มต้นมาทำการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ใหม่ เพื่อหาคำตอบใหม่ในการปรับปรุงที่มีค่าใช้จ่ายร่วมในการขนส่งน้อยที่สุด และหาคำตอบใหม่ที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบัน เพื่อนำไปแทนที่ใช้ในการปรับปรุงรอบถัดไป ซึ่งได้ออกแบบวิธีการการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่เป็น 2 แบบ ดังต่อไปนี้

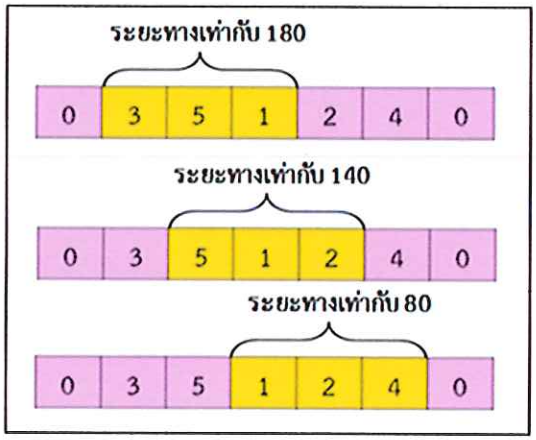
4.4.1 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1 (Local Search 1)

การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1 เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาทำการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ด้วยวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1 เพื่อหาคำตอบใหม่ในการปรับปรุงที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันนำไปแทนที่ เพื่อใช้ในการปรับปรุงในรอบถัดไป โดยจะเริ่มจากหาลูกค้า 3 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด และนำลูกค้าที่มีตำแหน่งตรงกลางของลูกค้า 3 รายที่เลือก ไปสุ่มแทนที่ลูกค้าทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย เพื่อให้เข้าใจหลักการการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังตัวอย่างที่ 3

ตัวอย่างที่ 3 จากลูกค้าจำนวน 5 ราย รถจำนวน 1 คัน มีระยะทาง ดังตารางที่ 4.3 จากตัวอย่างที่ 2 และสมมติว่าคำตอบปัจจุบันเป็น 0-3-5-1-2-4-0 แสดงดังรูปที่ 4.7

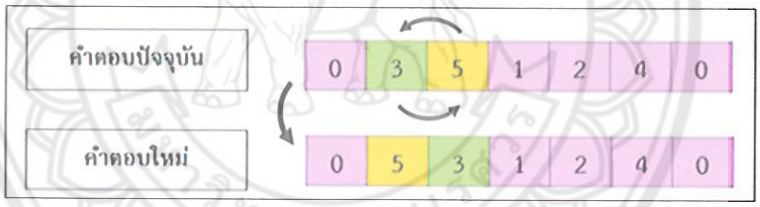
รูปที่ 4.7 แสดงตัวแทนคำตอบปัจจุบัน

เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการปรับปรุงหาคำตอบใหม่ โดยหาระยะทางของลูกค้า 3 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 แสดงการหาระยะทางของลูกค้า 3 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด

จะเห็นได้ว่าลูกค้ารายที่ 3, 5 และ 1 มีระยะทางมากที่สุด จึงทำการเลือกลูกค้ารายที่ 5 ไปสุ่มแทนที่ลูกค้าตำแหน่งต่างๆ ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย ตัวอย่างเช่น สุ่มตำแหน่งที่จะนำลูกค้ารายที่ 5 ไปแทนที่ ในที่นี้สุ่มได้ตำแหน่งลูกค้ารายที่ 3 จึงนำลูกค้ารายที่ 5 ไปแทนที่ลูกค้ารายที่ 3 และนำลูกค้ารายที่ 3 มาแทนที่ลูกค้ารายที่ 5 เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 4.9



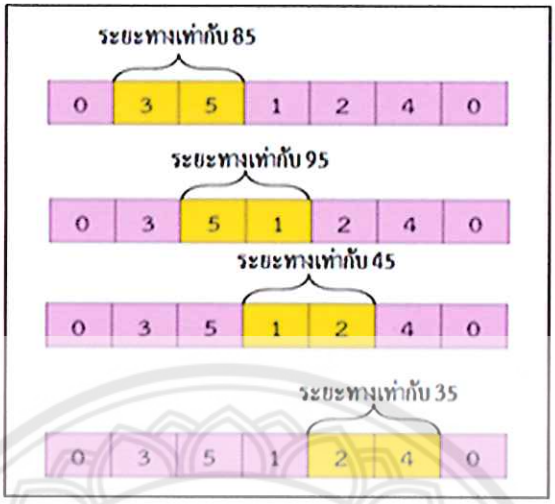
รูปที่ 4.9 แสดงสุ่มแทนค่าปรับปรุงคำตอบของ Local Search 1

จากตัวอย่างที่ 3 นี้ จะทำการสุ่มแทนที่เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะทำให้ได้คำตอบใหม่ที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ทั้งหมด 5 คำตอบ ซึ่งเท่ากับจำนวนรถทั้งหมด และจำนวนลูกค้าทั้งหมดตามที่โจทย์ระบุไว้

4.4.2 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 (Local Search 2)

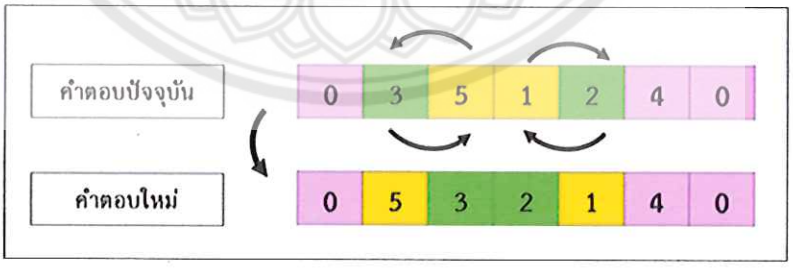
การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 เป็นวิธีการปรับปรุงคำตอบที่จะนำเอาตัวแทนคำตอบปัจจุบันมาทำการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ด้วยวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 เพื่อหาคำตอบใหม่ในการปรับปรุงที่ดีกว่าคำตอบปัจจุบันนำไปแทนที่ เพื่อใช้ในการปรับปรุงรอบถัดไป โดยจะเริ่มจากหาลูกค้า 2 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด และนำลูกค้าทั้ง 2 ราย ไปสุ่มแทนที่ลูกค้าทุกตำแหน่งยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย เพื่อให้เข้าใจหลักการการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 มากยิ่งขึ้น ซึ่งสามารถอธิบายได้ ดังตัวอย่างที่ 4

ตัวอย่างที่ 4 จากโจทย์ตัวอย่างที่ 1 เมื่อได้คำตอบปัจจุบันแล้ว ทำการปรับปรุงหาคำตอบใหม่ โดยหาระยะทางของลูกค้า 2 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงการหาระยะทางของลูกค้า 2 รายที่ติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด

จะเห็นได้ว่าลูกค้ารายที่ 5 และ 1 มีระยะทางมากที่สุด จึงทำการเลือกลูกค้ารายที่ 5 และ 1 ไปสุ่มแทนที่ลูกค้าตำแหน่งต่างๆ ยกเว้นตำแหน่งเริ่มต้น และตำแหน่งสุดท้าย ตัวอย่างเช่น สุ่มตำแหน่งที่จะนำลูกค้ารายที่ 5 และ 1 ไปแทนที่ ในที่นี้สุ่มได้ตำแหน่งลูกค้ารายที่ 3 และ 2 ตามลำดับ จึงนำลูกค้ารายที่ 5 ไปแทนที่ลูกค้ารายที่ 3 และนำลูกค้ารายที่ 1 มาแทนที่ลูกค้ารายที่ 2 เป็นต้น แสดงดังรูปที่ 4.11

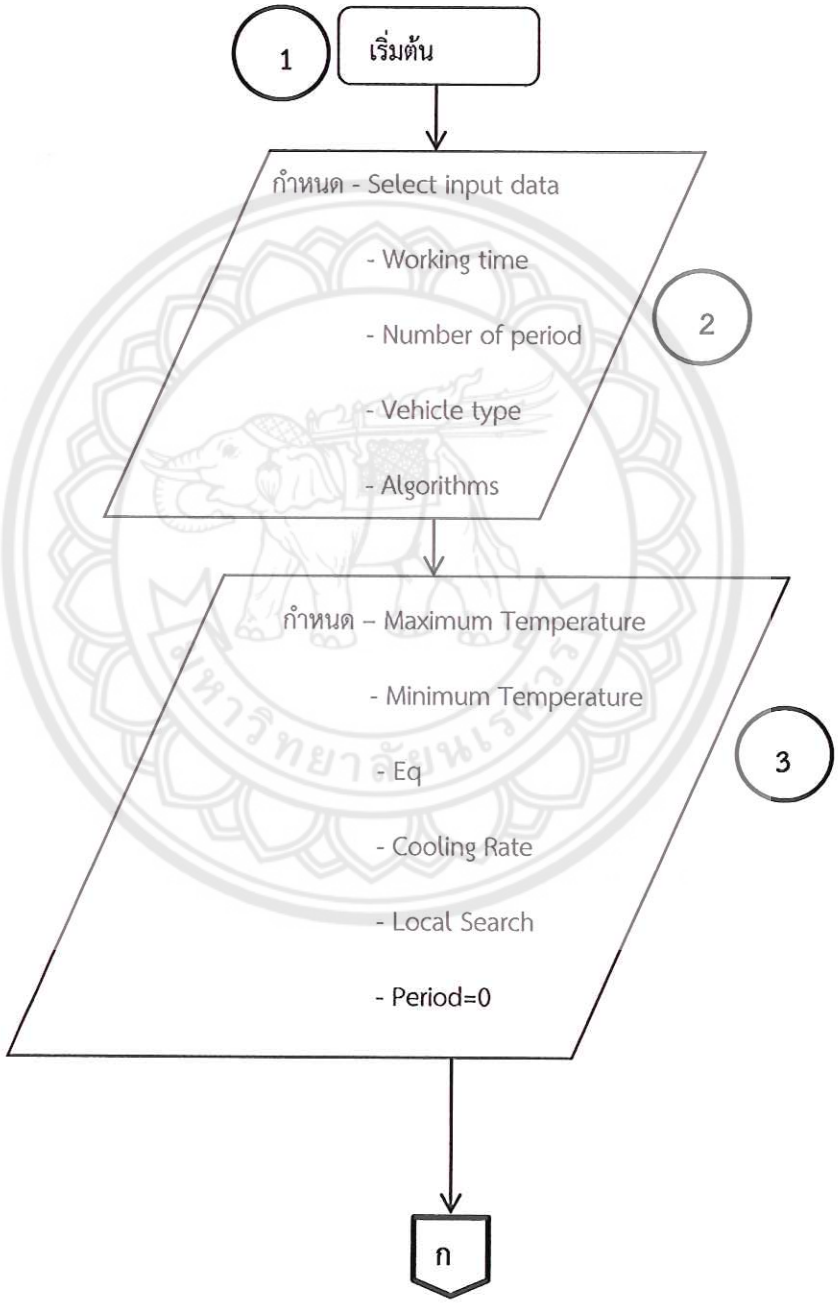


รูปที่ 4.11 แสดงสุ่มแทนค่าปรับปรุงคำตอบของ Local Search 2

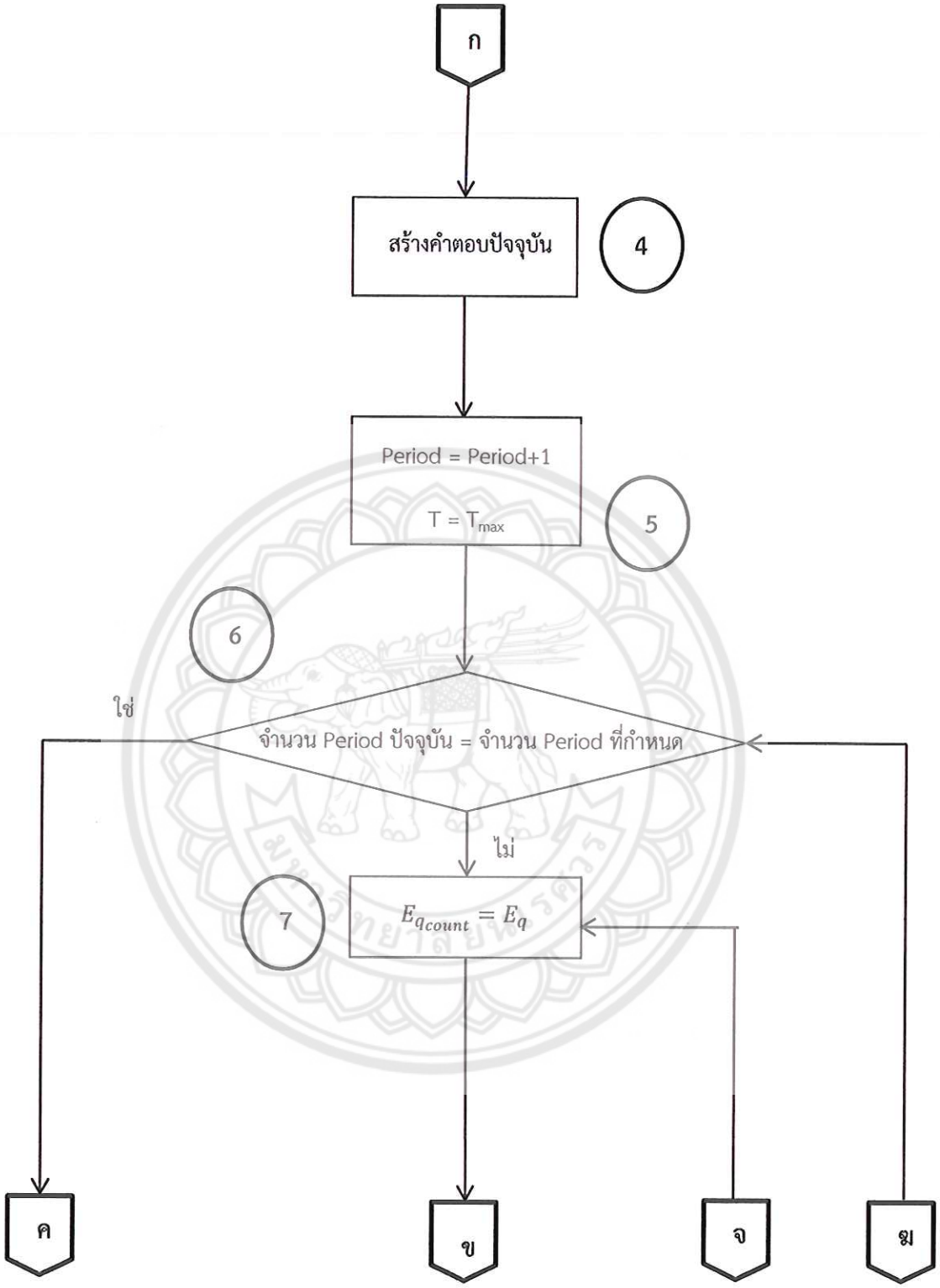
จากตัวอย่างที่ 4 นี้ จะทำการสุ่มแทนที่เช่นนี้ไปเรื่อยๆ ซึ่งในตัวอย่างนี้จะทำให้ได้คำตอบใหม่ที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ทั้งหมด 5 คำตอบ ซึ่งเท่ากับจำนวนรถทั้งหมด และจำนวนลูกค้าทั้งหมดตามที่โจทย์ระบุไว้

4.5 การออกแบบวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

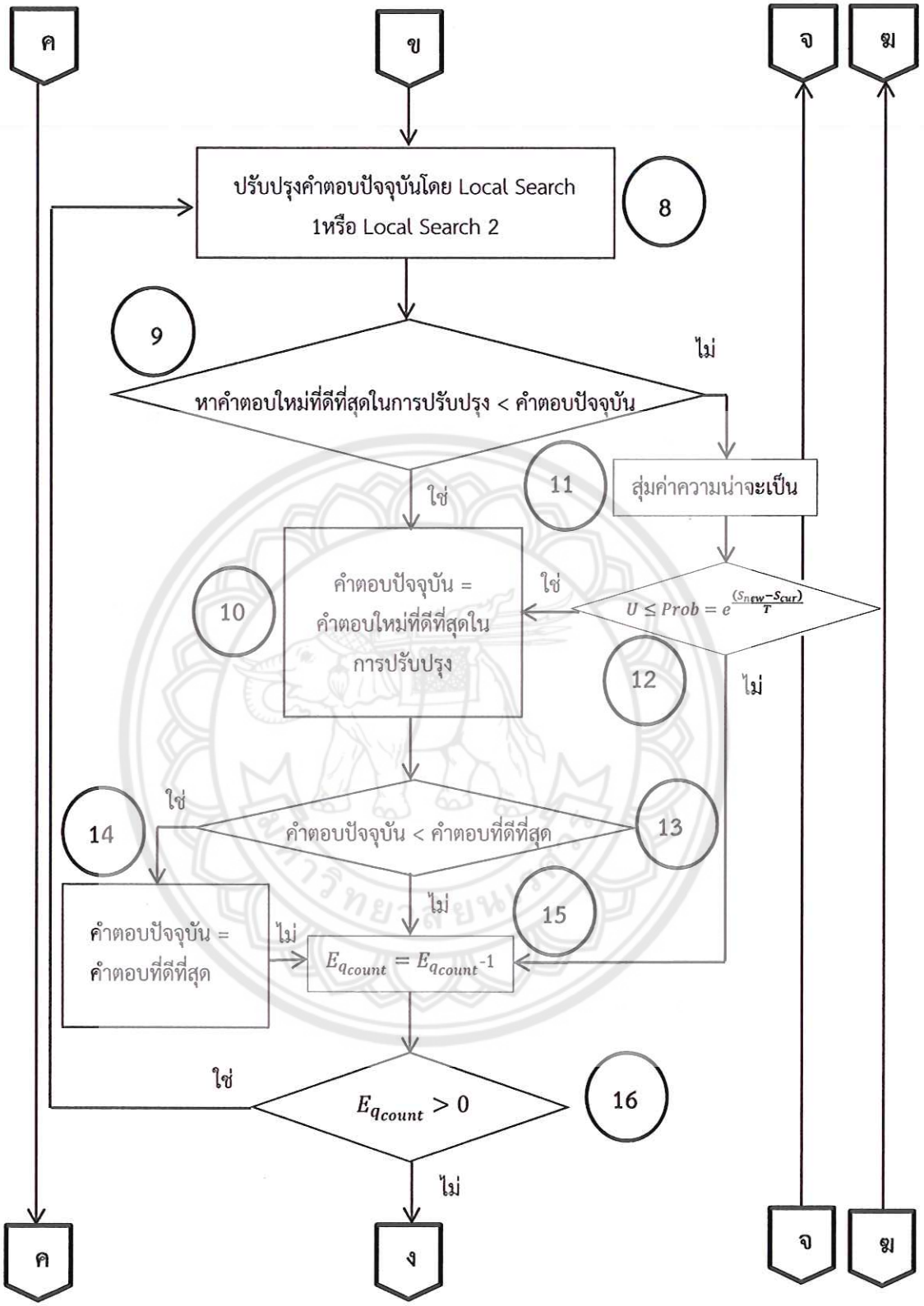
ในขั้นตอนนี้คณะผู้จัดทำโครงงานได้ทำการออกแบบวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง แล้วนำไปเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel



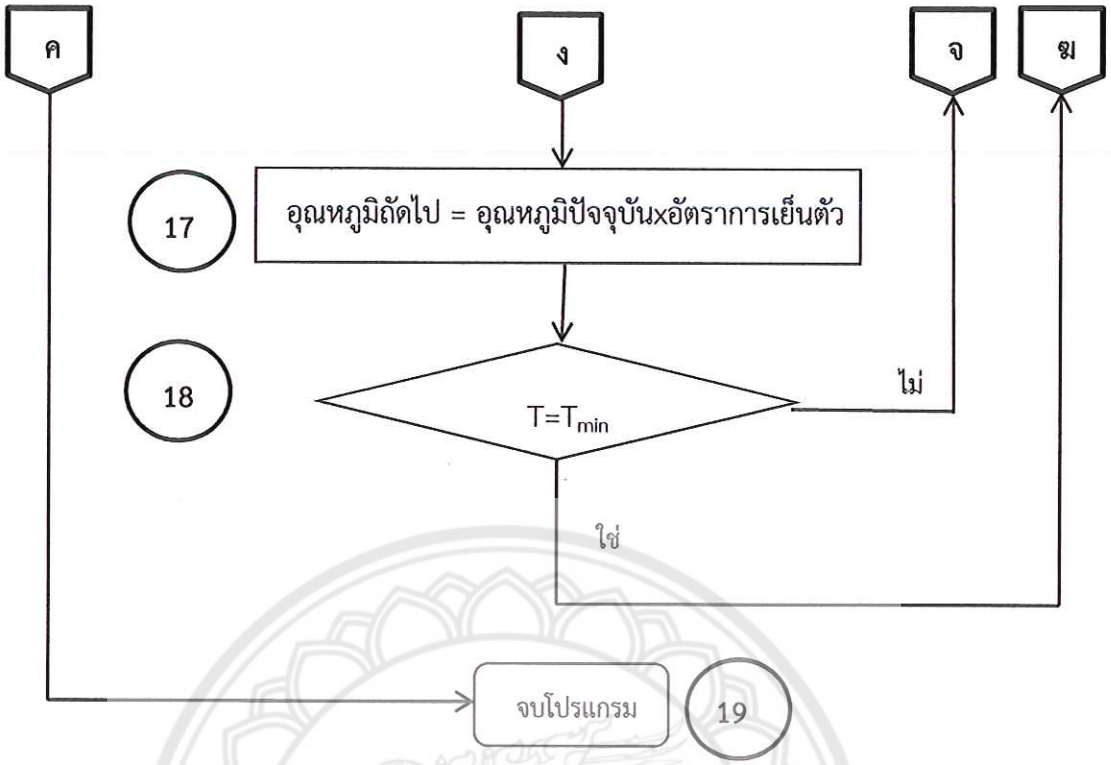
รูปที่ 4.12 แสดงการทำงานของวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต



รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงการทำงานของวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต



รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงการทำงานของวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต



รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงการทำงานของวิธีการอบอ่อนจำลองสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

จากรูปที่ 4.12 จะเห็นว่ามีการทำงานของโปรแกรมการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ตามขั้นตอนดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มต้นโปรแกรมจากการเปิดหน้าต่างโปรแกรมขึ้นมา

ขั้นตอนที่ 2 กำหนด Select Input Data, Working Time, Number of Period, Vehicle Type และ Algorithms

ขั้นตอนที่ 3 กำหนด Maximum Temperature, Eq, Cooling Rate, Local Search และ Period=0

ขั้นตอนที่ 4 สร้างคำตอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 5 ในขั้นตอนนี้จะเป็นการกำหนด Period เท่ากับจำนวน Period บวก 1 (ให้จำนวน Period ปัจจุบันเริ่มต้นที่ 0) และให้อุณหภูมิปัจจุบันเท่ากับอุณหภูมิเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 6 ถ้าจำนวน Period ที่กำหนดเท่ากับจำนวน Period ปัจจุบันก็จะจบโปรแกรมแต่ถ้าไม่เท่าก็จะทำในขั้นตอนที่ 8

ขั้นตอนที่ 7 จำนวนการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิเท่ากับจำนวนการค้นหาคำตอบที่เหลืออยู่ในระดับอุณหภูมิ

ขั้นตอนที่ 8 ทำการปรับปรุงคำตอบปัจจุบันโดย Local Search 1 และ Local Search 2

ขั้นตอนที่ 9 ถ้าหาคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดในการปรับปรุงแล้วน้อยกว่าคำตอบปัจจุบันก็จะทำใน ขั้นตอนที่ 10 แต่ถ้าไม่น้อยกว่าก็จะทำในขั้นตอนที่ 11

ขั้นตอนที่ 10 ให้คำตอบใหม่ที่ดีที่สุดในการปรับปรุงเท่ากับคำตอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 11 ทำการสุ่มความน่าจะเป็นเพื่อมาเปรียบเทียบกับขั้นตอนที่ 12

ขั้นตอนที่ 12 ถ้าค่าความน่าจะเป็นที่ได้จากการสุ่มน้อยกว่าหรือเท่ากับค่าความน่าจะเป็นจากสูตรก็จะกลับไปทำในขั้นตอนที่ 10 แต่ถ้าไม่น้อยกว่า หรือเท่ากับจะไปทำในขั้นตอนที่ 15

ขั้นตอนที่ 13 ถ้าคำตอบปัจจุบันน้อยกว่าคำตอบที่ดีที่สุดก็จะไปทำในขั้นตอนที่ 14 แต่ถ้าไม่น้อยกว่าก็จะไปทำในขั้นตอนที่ 15

ขั้นตอนที่ 14 ให้คำตอบที่ดีที่สุดเท่ากับคำตอบปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 15 จำนวนรอบในการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิจะลดลง 1 รอบ

ขั้นตอนที่ 16 ถ้าจำนวนรอบในการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิมากกว่าศูนย์จะกลับไปทำในขั้นตอนที่ 8 แต่ถ้าไม่มากกว่าก็จะทำในขั้นตอนที่ 17

ขั้นตอนที่ 17 ให้อุณหภูมิปัจจุบันคูณอัตราการเย็นตัวเท่ากับอุณหภูมิถัดไป

ขั้นตอนที่ 18 ถ้าจำนวนคำตอบปัจจุบันมากกว่าจำนวนคำตอบที่กำหนดจะกลับไปทำในขั้นตอนที่ 6 แต่ถ้าไม่มากกว่าจะทำในขั้นตอนที่ 7

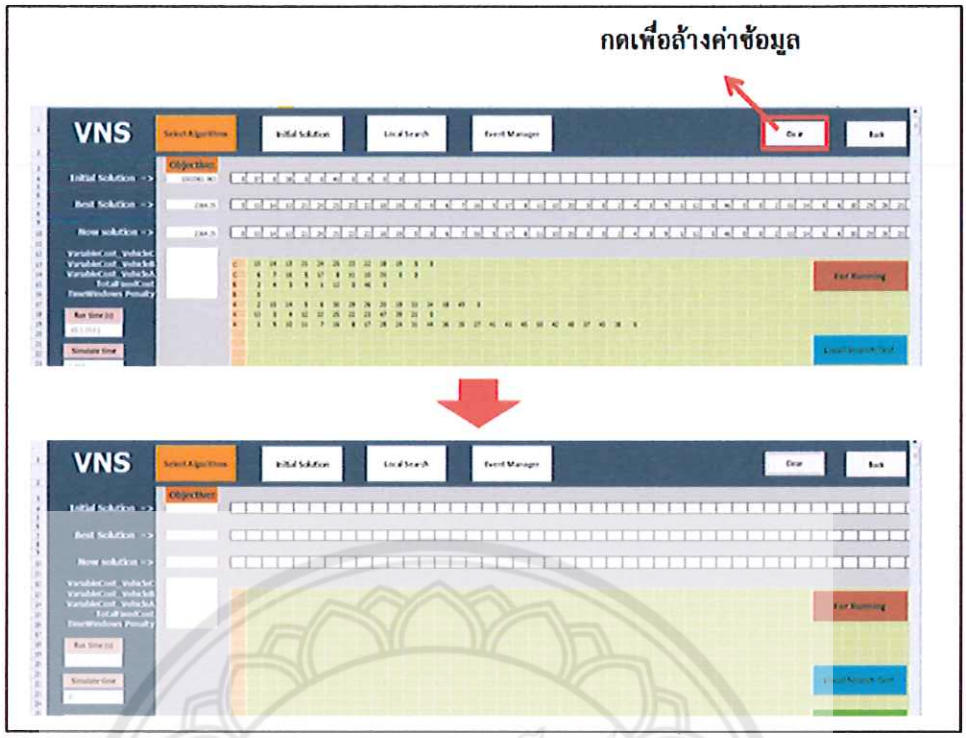
ขั้นตอนที่ 19 จบโปรแกรม

4.6 รายละเอียดโปรแกรมและวิธีการใช้งานโปรแกรมอย่างย่อ

ในส่วนของรายละเอียดโปรแกรมและวิธีการใช้งานโปรแกรมอย่างย่อนี้ มีการทำงาน คือ การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output) ส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม ส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ และส่วนประมวลผล ซึ่งในแต่ละส่วนของโปรแกรมมีรายละเอียดและวิธีการใช้งาน ดังต่อไปนี้

4.6.1 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output)

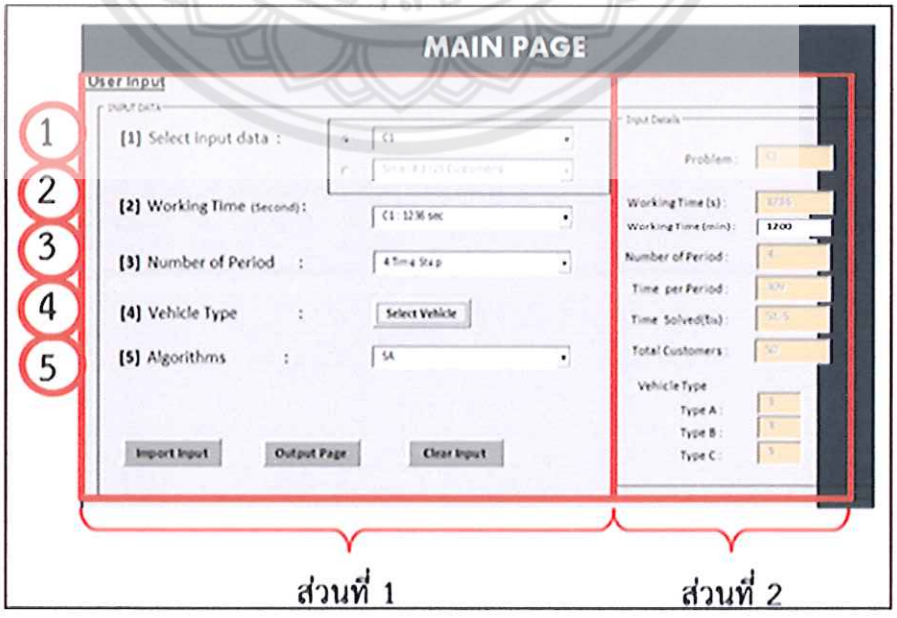
ก่อนเริ่มต้นโปรแกรมเข้าสู่ส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม ต้องทำการล้างค่าข้อมูลเก่าหน้า Output ก่อนทุกครั้ง แสดงดังรูปที่ 4.13



รูปที่ 4.13 การล้างข้อมูลหน้าผลลัพธ์ (Output)

4.6.2 ส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

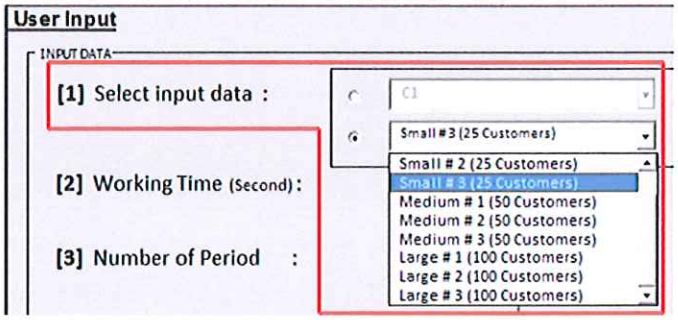
ในส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรมนี้ จะเป็นการเริ่มต้นเข้าสู่การทำงานของโปรแกรม ซึ่งในส่วนนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แสดงดังรูปที่ 4.14



รูปที่ 4.14 แสดงส่วนรับข้อมูลเข้าสู่โปรแกรม

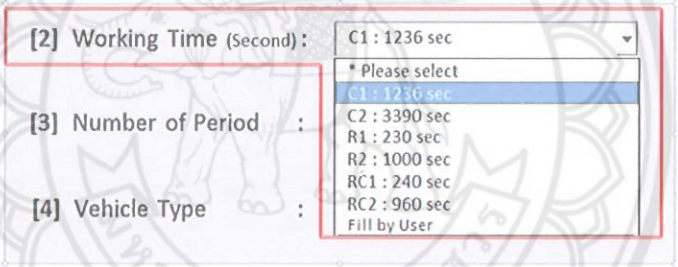
4.6.2.1 ส่วนที่ 1 ส่วนกรอกข้อมูล ซึ่งประกอบด้วย 5 ขั้นตอน

ขั้นตอนที่ 1 ให้ผู้ใช้เลือก Select Input Data แสดงดังรูปที่ 4.15



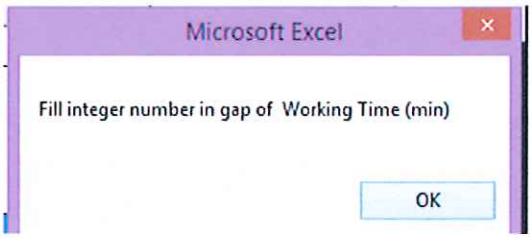
รูปที่ 4.15 แสดง Select input data

ขั้นตอนที่ 2 ให้ผู้ใช้เลือก Working Time (Second) แสดงดังรูปที่ 4.16

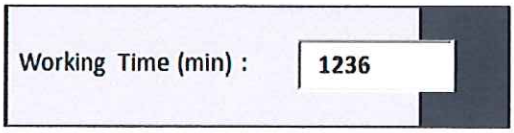


รูปที่ 4.16 แสดง Working Time (Second)

หมายเหตุ หากผู้ใช้ทำการเลือก Working Time (Second) เป็น Fill by User จะมีหน้าต่างขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 4.17 จากนั้นให้ทำการกรอกค่าลงในช่อง Working Time (min) แสดงดังรูปที่ 4.18

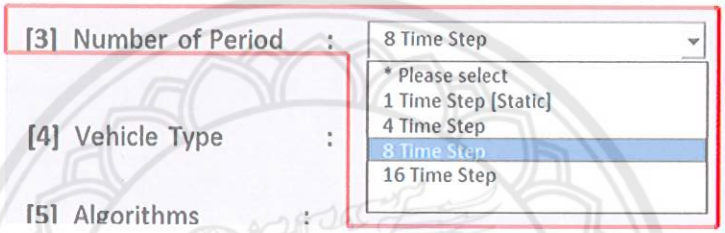


รูปที่ 4.17 แสดงข้อความเมื่อเลือก Working Time (Second) เป็น Fill by User

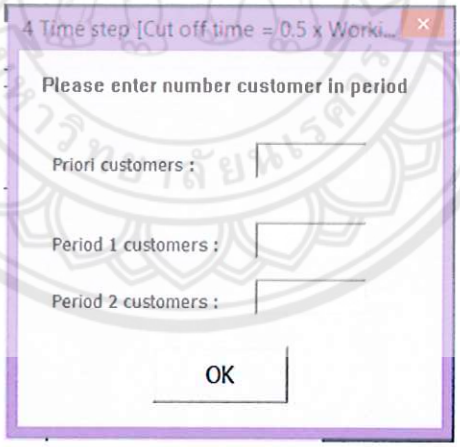


รูปที่ 4.18 แสดงช่อง Working Time (min)

ขั้นตอนที่ 3 ให้ผู้ใช้เลือก Number of Period แสดงดังรูปที่ 4.19 และจะมีหน้าต่างแสดงขึ้นมา เพื่อให้ผู้ใช้กรอกจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง เมื่อกรอกครบแล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.20

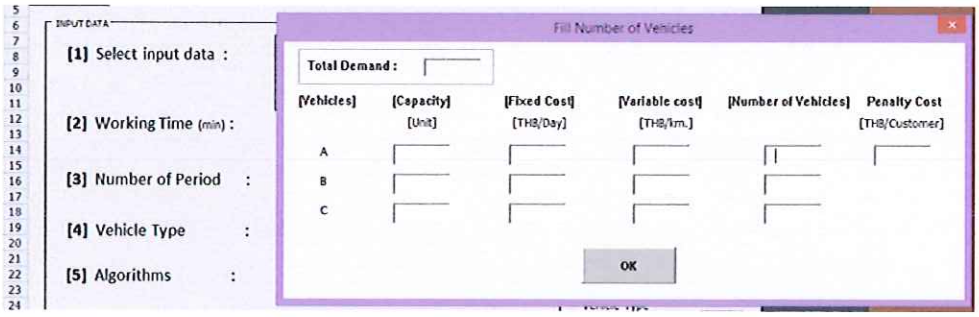


รูปที่ 4.19 แสดง Number of period



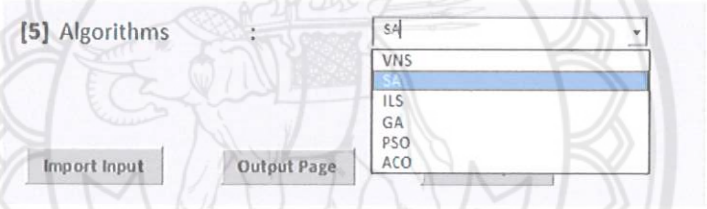
รูปที่ 4.20 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง

ขั้นตอนที่ 4 ให้ผู้ใช้กดปุ่ม Select Vehicle แล้วจะปรากฏหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกค่าต่างๆ แล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.21

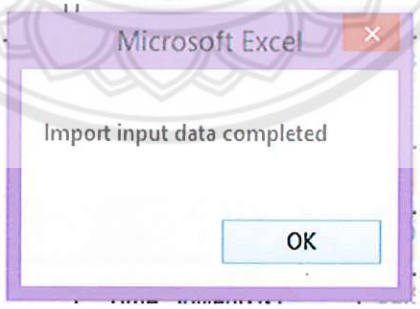


รูปที่ 4.21 แสดงค่าต่างๆ ที่ผู้ใช้ต้องกรอกเมื่อเลือก Select Vehicle

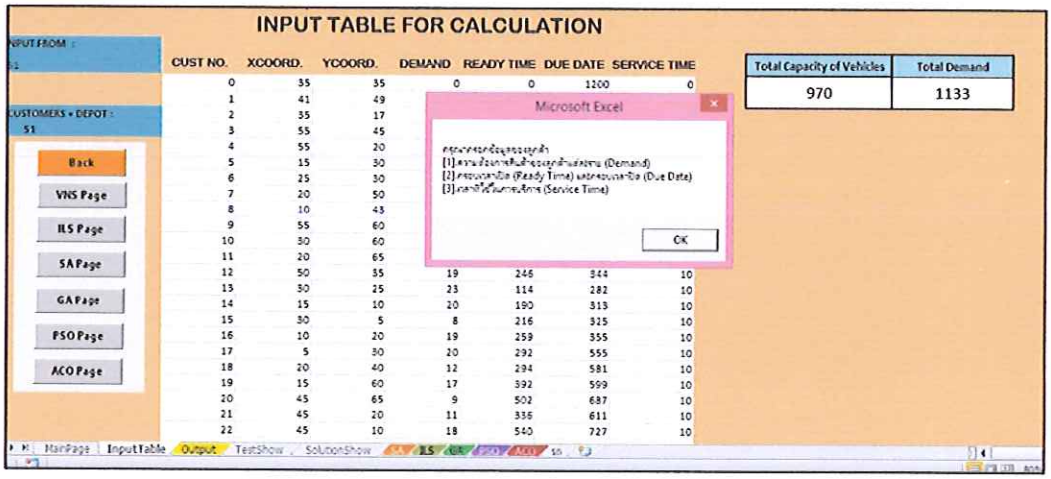
ขั้นตอนที่ 5 ให้ผู้ใช้เลือก Algorithms เลือกวิธี SA แล้วกด Import Input ดังรูปที่ 4.22 และจะมีหน้าต่างขึ้นมาว่านำเข้าข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ ให้ผู้ใช้กดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.23 จากนั้นจะเข้าโปรแกรมในหน้า InputTable และให้ผู้ใช้ทำการกรอกค่าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 24 สุดท้ายให้ผู้ใช้ทำการเลือก SA Page เพื่อเรียกหน้า SA ขึ้นมา แสดงดังรูปที่ 4.25



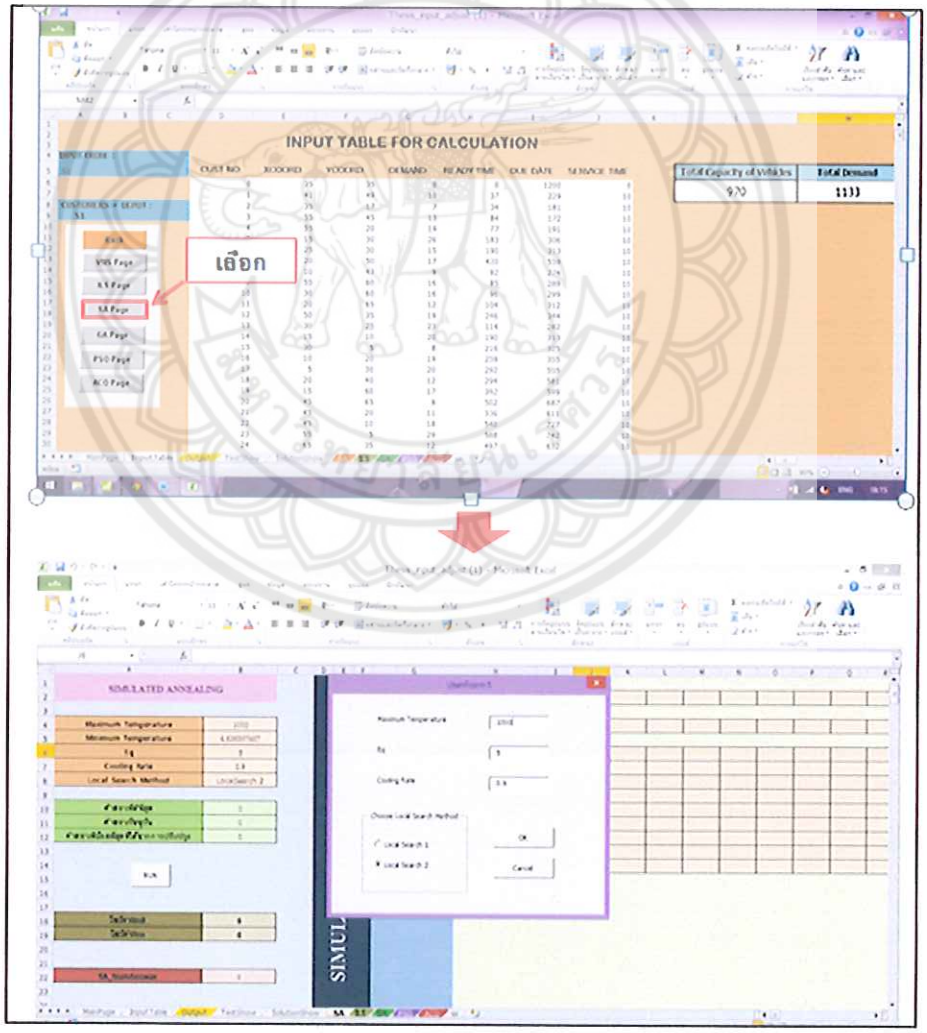
รูปที่ 4.22 แสดงเลือกวิธีการอบอ่อนจำลอง



รูปที่ 4.23 แสดงหน้าต่างว่านำเข้าข้อมูลเสร็จสมบูรณ์

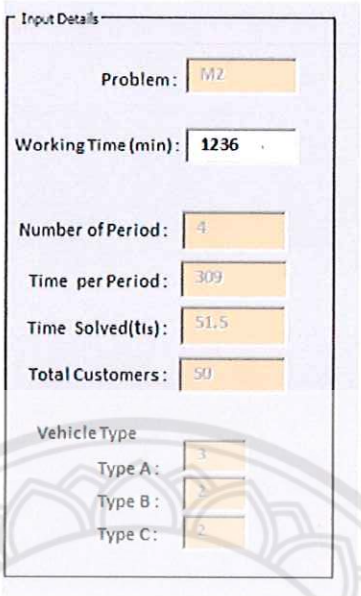


รูปที่ 4.24 แสดงหน้า InputTable



รูปที่ 4.25 แสดงผู้ใช้ทำการเลือก SA Page เพื่อเรียกหน้า SA ขึ้นมา

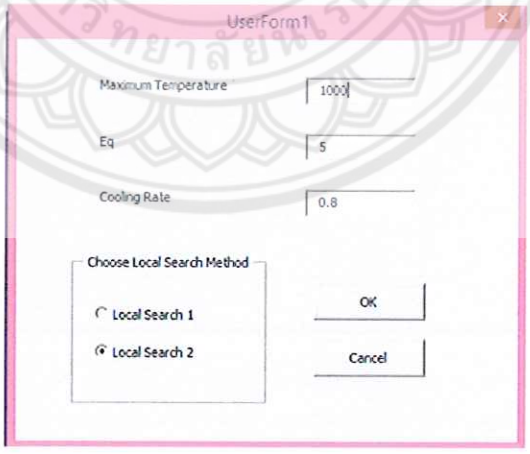
4.6.2.2 ส่วนที่ 2 ส่วนแสดงรายละเอียดของข้อมูลที่กรอกเข้าทั้งหมด แสดงดังรูปที่ 4.26



รูปที่ 4.26 แสดงรายละเอียดของข้อมูลที่กรอกเข้าทั้งหมด

4.6.3 ส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง

ให้ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง ประกอบไปด้วย 5 ค่า แสดงดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดงส่วนกำหนดค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง

4.6.3.1 Maximum Temperature ให้ผู้ใช้งานกรอกค่าอุณหภูมิเริ่มต้น

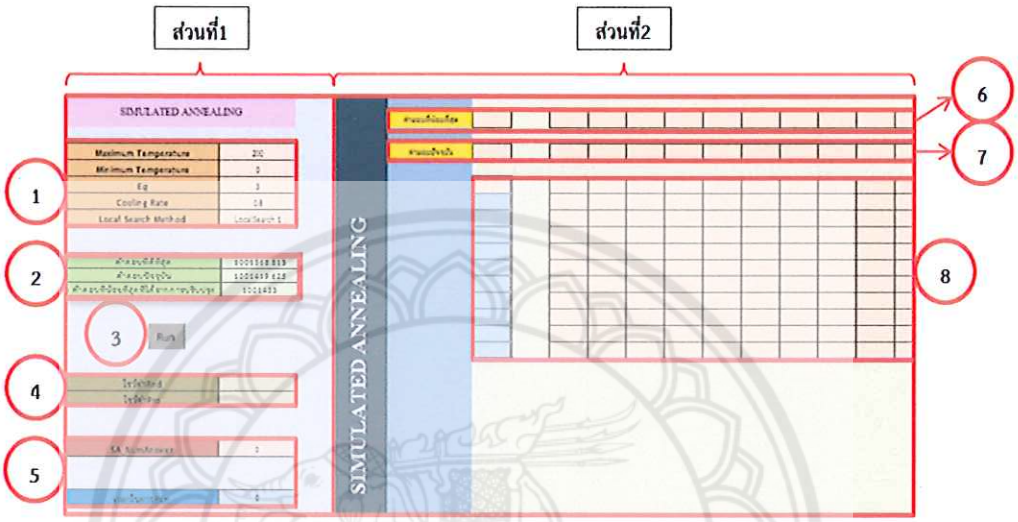
4.6.3.2 E_q ให้ผู้ใช้งานกรอกค่าจำนวนการค้นหาคำตอบในแต่ละระดับค่าอุณหภูมิ

4.6.3.3 Cooling Rate ให้ผู้ใช้งานกรอกค่าอัตราการเย็นตัว

4.6.3.4 Choose Local Search Method ให้ผู้ใช้งานสามารถเลือกวิธีในการทำ Local Search ซึ่งจะมี Local Search 1 และ Local Search 2 จากนั้นกดปุ่ม OK

4.6.4 ส่วนประมวลผล

ในส่วนนี้จะเป็นส่วนการประมวลผล ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วน แสดงดังรูปที่ 4.28

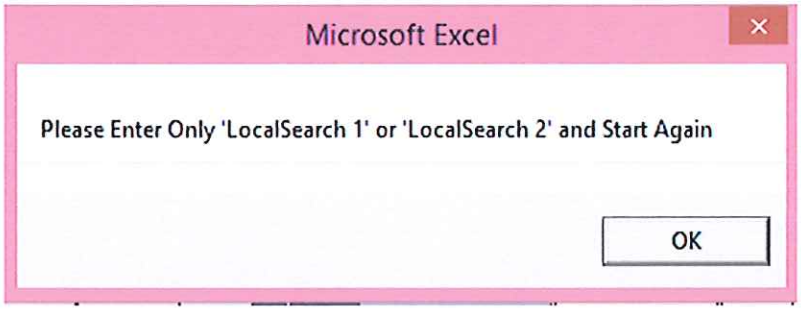


รูปที่ 4.28 แสดงส่วนประมวลผล

4.6.4.1 ส่วนที่ 1 ส่วนแสดงค่าที่ได้จากการประมวลผล ซึ่งประกอบไปด้วย

หมายเลข 1 แสดงค่าที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์เข้ามาในข้างต้น แสดงดังรูปที่ 4.28 ให้ผู้ใช้ตรวจสอบความถูกต้องของค่าพารามิเตอร์ที่กรอกเข้ามาว่าตรงกันหรือไม่ เมื่อตรวจสอบว่าตรงกันแล้วให้ทำการกดปุ่ม RUN เพื่อทำการประมวลผลข้อมูล

ส่วนค่าในช่อง Local Search Method ผู้ใช้งานสามารถพิมพ์เข้าไปได้ว่าจะเลือกใช้ LocalSearch 1 หรือ LocalSearch 2 ได้ แต่ไม่สามารถพิมพ์แบบอื่นเข้าไปได้นอกจาก LocalSearch 1 หรือ LocalSearch 2 ถ้าพิมพ์แบบอื่นเข้าไปเมื่อผู้ใช้งานกดปุ่ม Run จะมีข้อความขึ้นเตือนว่า “Please Enter Olny ‘LocalSearch 1’ or ‘LocalSearch 2’ and Start Again” แสดงดังรูปที่ 4.29



รูปที่ 4.29 แสดงข้อความเตือนว่าไม่ควรกรอกค่าอื่นนอกจาก LocalSearch 1 หรือ LocalSearch 2

หมายเลข 2 ส่วนแสดงค่าคำตอบที่ดีที่สุด ค่าคำตอบปัจจุบัน และแสดงค่าคำตอบที่น้อยที่สุดที่ได้จากการปรับปรุง แสดงดังรูปที่ 4.28

หมายเลข 3 ปุ่ม RUN เป็นการเริ่มทำการประมวลผล แสดงดังรูปที่ 4.28

หมายเลข 4 แสดงค่า Rnd และค่า Pro แสดงดังรูปที่ 4.28

หมายเลข 5 ค่า SA_NumAnswer แสดงจำนวนคำตอบที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบทั้งหมด และแสดงค่าเวลาในการทำการประมวลผล แสดงดังรูปที่ 4.28

4.6.4.2 ส่วนที่ 2 ส่วนแสดงการประมวลผล

หมายเลข 6 แสดงคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งจะแสดงค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งที่น้อยที่สุด และการจัดลำดับการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการขนส่งที่น้อยที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.28

หมายเลข 7 แสดงคำตอบปัจจุบันที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.28

หมายเลข 8 แสดงคำตอบที่ทำการปรับปรุงแล้ว ซึ่งจะได้มาจากการปรับปรุงคำตอบด้วย Local Search 1 หรือ Local Search 2 แสดงดังรูปที่ 4.28

4.7 ผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง และการวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่ ทั้งหมด 6 ปัญหา มีรายละเอียด แสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 แสดงลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง ขนาดใหญ่

ขนาดของปัญหา	Customers				Vehicle		
	Static	Period 1	Period 2	Total Demand	A (90)	B (150)	C (300)
ปัญหาขนาดเล็ก 1	9	8	8	383	1	1	1
ปัญหาขนาดเล็ก 2	9	8	8	460	1	1	1
ปัญหาขนาดกลาง 1	15	20	15	721	3	2	2
ปัญหาขนาดกลาง 2	15	20	15	900	3	2	2
ปัญหาขนาดใหญ่ 1	30	35	35	1,458	6	6	3
ปัญหาขนาดใหญ่ 2	30	35	35	1,810	7	5	3

โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง คือ Windows 8.1 Pro Intel (R) Core (TM) i7-4702MQ CPU @ 2.20GHz RAM 4.00 GB

ตารางที่ 4.5 แสดงค่าพารามิเตอร์ที่ใช้

Maximum Temperature	Eq	Cooling Rate	Local Search
1000	5	0.8	LS1
100	10	0.9	LS2

เหตุผลในการเลือกพารามิเตอร์ คือ อ้างอิงมาจากโครงงานการจัดลำดับการทำงานของเครนโดยวิธีการอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวหทัยรัตน์ ธีระกาญจน์ และคณะ (2553) และที่เลือกให้พารามิเตอร์แต่ละตัวมี 2 ระดับเนื่องจากวิธี SA มีพารามิเตอร์หลายตัวทำให้ใช้เวลาในการประมวลผลนาน

คณะผู้จัดทำโครงงานใช้พารามิเตอร์ทั้งหมด 16 ชุด ซึ่งพารามิเตอร์แต่ละชุดจะมีการทำซ้ำ 5 ครั้งต่อโจทย์ปัญหา จะมีจำนวนครั้งในการหาคำตอบทั้งหมด 480 ครั้ง โดยมีค่าพารามิเตอร์แต่ละชุดแสดงดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด

ชุดที่	Maximum Temperature	Eq	Cooling Rate	Local Search
1	1000	5	0.8	LS1
2	1000	5	0.8	LS2
3	1000	10	0.8	LS1
4	1000	10	0.8	LS2
5	1000	5	0.9	LS1
6	1000	5	0.9	LS2
7	1000	10	0.9	LS1
8	1000	10	0.9	LS2
9	100	5	0.8	LS1
10	100	5	0.8	LS2
11	100	10	0.8	LS1
12	100	10	0.8	LS2
13	100	5	0.9	LS1
14	100	5	0.9	LS2
15	100	10	0.9	LS1
16	100	10	0.9	LS2

4.7.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ทั้งหมด 2 ปัญหา

ตารางที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,873.24	1,985.31	1,782.38	20.56
2	1,721.68	1,887.44	1,634.06	16.90
3	1,853.43	2,013.13	1,729.69	18.13
4	1,830.89	1,863.69	1,781.31	18.74
5	1,800.99	1,869.69	1,634.19	17.80
6	1,790.40	1,820.63	1,736.75	18.33
7	1,772.49	1,872.19	1,665.31	18.12
8	1,721.29	1,763.81	1,675.56	17.40
9	1,881.01	2,026.75	1,789.81	18.03
10	1,803.64	1,895.75	1,743.81	17.06
11	1,884.76	2,082.31	1,785.00	18.12
12	1,787.30	1,874.56	1,714.50	17.12
13	1,837.80	1,953.25	1,739.19	17.77
14	1,784.10	1,885.63	1,649.75	17.17
15	1,847.45	1,957.94	1,769.81	18.50
16	1,774.29	1,848.81	1,649.88	18.94

จากตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 1 จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 2 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 1,634.06

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1,721.29 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

ตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,241.83	1,406.81	1,103.56	17.87
2	1,092.04	1,121.38	1,052.81	19.17
3	1,200.48	1,281.88	1,096.75	18.07
4	1,158.61	1,238.19	1,103.94	18.62
5	1,178.61	1,332.19	1,065.69	17.90
6	1,148.71	1,282.56	1,036.88	19.00
7	1,275.90	1,449.13	1,137.31	18.22
8	1,109.79	1,268.31	1,017.13	19.32
9	1,258.86	1,373.31	1,111.94	18.08
10	1,151.10	1,319.81	1,077.81	19.08
11	1,294.29	1,543.13	1,070.13	18.04
12	1,180.69	1,405.00	1,112.63	19.34
13	1,173.25	1,333.44	1,072.94	17.92
14	1,078.76	1,132.50	1,039.38	19.01
15	1,186.90	1,320.13	1,109.44	18.12
16	1,136.09	1,194.13	1,072.81	19.33

จากตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 2 จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 6 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 1,036.88

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 14 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 1,078.76 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

4.7.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดกลาง ทั้งหมด 2 ปัญหา

ตารางที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	3,693.33	4,085.44	3,503.50	34.45
2	3,361.61	3,644.38	3,206.56	34.49
3	3,540.60	3,637.69	3,339.06	35.31
4	3,461.38	3,655.88	3,348.44	33.34
5	3,646.01	3,815.19	3,405.63	34.78
6	3,375.98	3,472.81	3,211.06	34.81
7	3,686.78	3,897.69	3,577.19	33.50
8	3,363.90	3,487.88	3,276.88	33.56
9	3,721.89	3,860.50	3,584.88	32.40
10	3,491.43	3,642.44	3,424.56	34.80
11	3,568.55	3,743.25	3,331.00	34.41
12	3,407.85	3,564.19	3,176.00	35.75
13	3,615.13	3,846.44	3,492.75	32.33
14	3,352.25	3,488.31	3,247.63	32.87
15	3,647.04	3,803.75	3,543.06	32.69
16	3,377.36	3,492.75	3,292.63	33.63

จากตารางที่ 4.9 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 1จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 12 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 3,176.00

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 14 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 3,352.25 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

ตารางที่ 4.10 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	3,118.10	3,404.13	2,945.75	34.07
2	3,059.36	3,123.81	2,980.00	36.21
3	3,211.79	3,430.69	3,012.56	37.62
4	2,993.51	3,125.44	2,909.81	39.64
5	3,151.05	3,304.06	2,953.13	33.09
6	3,000.39	3,089.38	2,900.19	38.21
7	3,202.30	3,637.56	2,883.94	33.86
8	2,982.39	3,106.44	2,943.25	34.71
9	3,129.15	3,347.31	2,884.88	36.50
10	2,997.10	3,165.25	2,826.25	35.66
11	3,142.65	3,338.13	2,956.19	32.50
12	2,924.28	3,030.06	2,851.56	34.75
13	3,139.28	3,314.13	2,943.19	33.00
14	3,068.14	3,215.13	2,983.81	35.59
15	3,147.48	3,578.94	2,908.19	33.65
16	3,035.36	3,214.31	2,915.25	34.68

จากตารางที่ 4.10 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 2 จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 10 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 2,826.25

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 12 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 2,924.28 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

4.7.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และการวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดใหญ่ ทั้งหมด 2 ปัญหา

ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	6,714.63	6,934.88	6,327.69	67.52
2	6,231.90	6,342.19	6,121.88	74.97
3	6,622.83	6,837.44	6,392.94	65.33
4	6,427.74	6,513.88	6,388.31	75.61
5	6,852.43	7,312.69	6,531.81	71.97
6	6,328.40	6,466.81	6,081.50	70.41
7	6,595.88	6,933.94	6,377.19	66.82
8	6,302.46	6,483.06	6,083.31	76.90
9	6,733.15	6,845.13	6,525.63	68.06
10	6,520.09	6,748.13	6,304.31	78.06
11	6,629.76	6,789.56	6,396.88	78.93
12	6,277.56	6,440.00	6,102.63	85.95
13	6,872.08	7,331.69	6,175.31	81.48
14	6,353.60	6,460.00	6,217.19	73.28
15	6,804.53	6,994.50	6,634.63	74.29
16	6,354.33	6,578.56	6,221.31	74.49

จากตารางที่ 4.11 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 6,081.50

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 2 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 6,231.90 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

ตารางที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย	ค่าใช้จ่ายสูงสุด	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	6,503.15	6,922.25	6,000.38	68.86
2	6,167.85	6,517.81	5,914.44	71.70
3	7,001.04	7,438.44	6,685.63	73.62
4	6,172.79	6,483.13	5,927.13	73.20
5	6,823.14	7,082.63	6,294.88	68.74
6	6,267.66	6,466.81	6,111.56	68.17
7	6,732.38	7,043.94	6,421.38	73.53
8	6,052.76	6,230.19	5,831.13	76.87
9	6,939.38	7,611.88	6,584.56	72.20
10	6,232.43	6,489.63	6,038.38	78.77
11	6,861.83	7,252.69	6,403.31	73.49
12	6,234.93	6,743.19	5,884.88	59.41
13	6,827.90	7,565.88	6,400.06	75.56
14	6,264.25	6,535.69	6,063.13	71.51
15	6,593.89	7,291.50	6,266.81	77.07
16	6,156.34	6,195.19	6,132.19	69.67

จากตารางที่ 4.12 เป็นการแสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จะแสดงค่าใช้จ่ายทั้งค่าเฉลี่ย ค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด รวมทั้งเวลาที่ใช้เฉลี่ยในการประมวลผลของโปรแกรม เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด

พิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดจากพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด เท่ากับ 5,831.13

แต่เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เมื่อใช้พารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะพบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด เท่ากับ 6,052.76 ดังนั้น ควรเลือกใช้พารามิเตอร์ชุดนี้

4.8 การแสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่นๆ

หลังจากที่ได้แสดงผลลัพธ์ที่ได้ในหัวข้อ 4.7 แล้ว ต่อไปจะเป็นการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำสุด และค่าใช้จ่ายเฉลี่ยจากวิธีการอบอ่อนจำลอง กับ วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO), วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ (Iterated local Search : ILS), วิธีอาณา

นิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) และวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm : GA) ว่าวิธีใดที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด และค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย

4.8.1 การเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ

ลักษณะของปัญหา	ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม				
	ACO	PSO	SA	GA	ILS
เล็ก1	1,132.50	1,588.06	1,634.06	1,598.38	1,649.94
เล็ก2	1,047.00	1,042.75	1,017.13	1,027.00	1,059.25
กลาง1	3,055.50	3,683.88	3,176.00	3,502.31	3,308.56
กลาง2	2,546.63	2,985.69	2,826.25	2,804.56	2,733.13
ใหญ่1	5,871.81	7,468.25	6,081.50	6,697.56	6,669.26
ใหญ่2	5,208.44	6,630.44	5,831.13	6,650.88	6,418.56

4.8.2 การเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ

ตารางที่ 4.14 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดกับวิธีต่างๆ

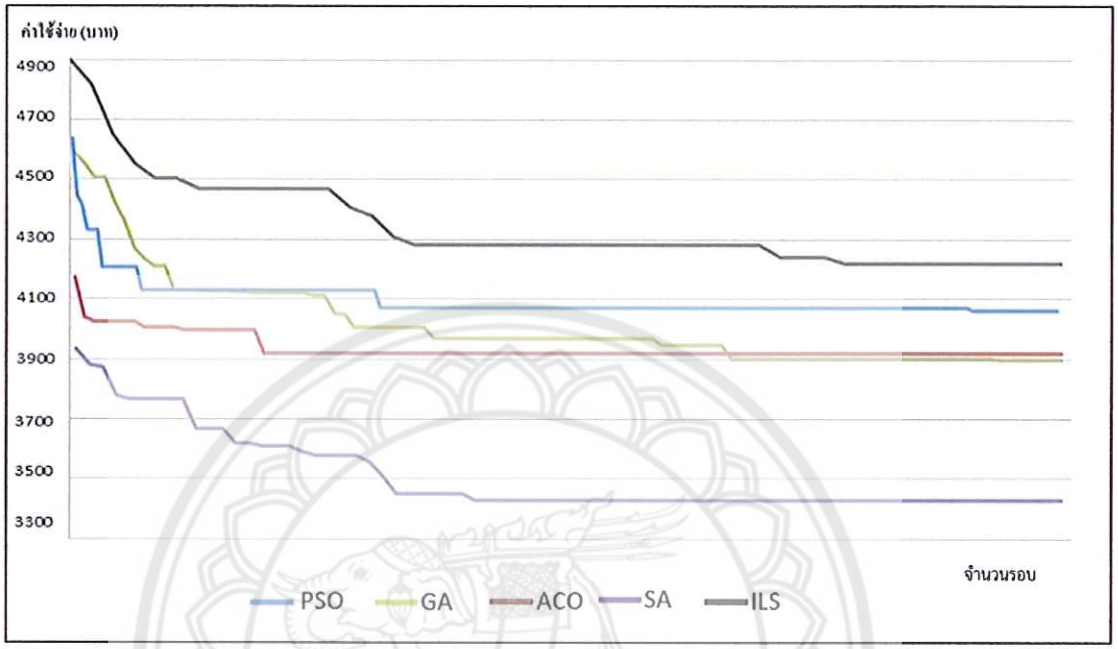
ลักษณะของปัญหา	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม				
	ACO	PSO	SA	GA	ILS
เล็ก1	1,593.03	1,682.56	1,721.29	1,742.04	1,756.03
เล็ก2	1,079.00	1,120.78	1,078.76	1,064.95	1,114.24
กลาง1	3,279.61	3,907.88	3,352.25	3,692.60	3,640.44
กลาง2	2,767.96	3,120.13	2,924.28	3,083.19	3,092.21
ใหญ่1	6,149.61	7,633.99	6,231.90	7,248.76	6,918.14
ใหญ่2	5,447.84	7,237.98	6,052.76	6,979.70	6,846.78

จากตารางที่ 4.13 และ 4.14 สรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดกับวิธีต่างๆ ทั้ง 6 ปัญหา มี 5 ปัญหา ขนาดเล็ก 1 ขนาดกลาง 1 ขนาดกลาง 2 ขนาดใหญ่ 1 และขนาดใหญ่ 2 วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 1 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 2 จากทั้งหมด 6 ปัญหา

แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 1 ขนาดกลาง 1 ขนาดกลาง 2 ขนาดใหญ่ 1 และขนาดใหญ่ 2 ส่วนวิธีการเชิงพันธุกรรมให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 1 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 2

4.8.3 การเปรียบเทียบการลู่เข้าของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ

ได้ทำการเปรียบเทียบการลู่เข้าของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ คือ ACO PSO GA และILS ในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 1 ดังนี้



รูปที่ 4.30 แสดงกราฟแสดง Convergence

จากรูปที่ 4.30 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

4.8.4 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ

โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต คือ Windows 8.1 Pro Intel (R) Core (TM) i7-4702MQ CPU @ 2.20GHz RAM 4.00 GB

ตารางที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลของวิธี SA กับวิธีอื่นๆ

ลักษณะของปัญหา	เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (วินาที)				
	ACO	PSO	SA	GA	ILS
เล็ก1	23.76	37.64	21.83	40.70	16.88
เล็ก2	30.64	38.67	16.07	41.20	17.12
กลาง1	46.65	91.64	28.76	72.35	30.65
กลาง2	38.50	92.36	29.41	74.44	30.57
ใหญ่1	124.02	175.22	56.64	175.37	74.02
ใหญ่2	75.40	176.17	61.98	175.07	57.23

จากตารางที่ 4.14 จะเห็นได้ว่า วิธี SA จะใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่า วิธีอื่นๆ ทั้งหมด 4 ปัญหา คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดกลาง 1 ปัญหาขนาดกลาง 2 และปัญหาขนาดใหญ่ 1

การการเปรียบเทียบผลต่างๆ ที่ได้จากงานวิจัยอื่นในหัวข้อ 4.8 ซึ่งในโครงงานนี้ทางคณะผู้ดำเนินโครงงานได้นำผลการวิจัยของ การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ซึ่งเป็นโครงงานของ นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ และคณะ (2557), การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาว จันทิมา ทิมเถื่อน และคณะ (2557), การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวศิริวิมล แสนกงพลี และคณะ (2557), แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นโครงงานของนางสาวชนม์นิภา คำฤกษ์ และคณะ (2557) เพื่อมาเปรียบเทียบกับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง ดังตารางที่ 4.13, 4.14 และ4.15 และแสดงดังรูปที่ 30

4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์

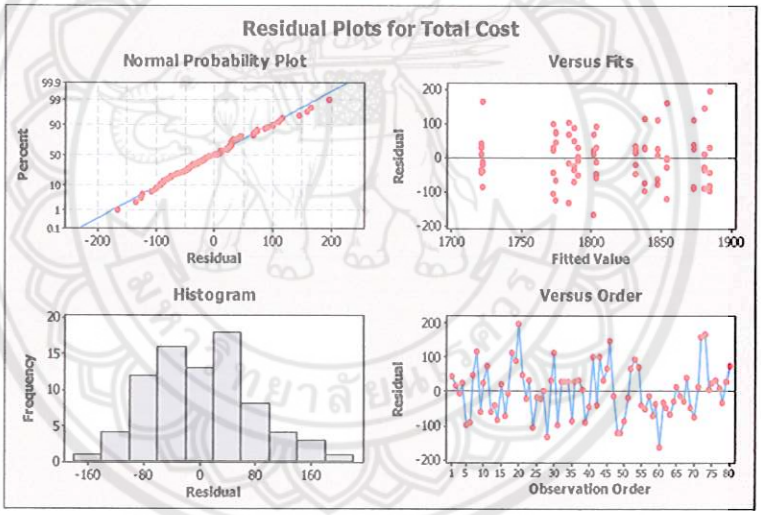
ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ ว่าส่งผลกระทบอย่างไรกับค่าคำตอบ โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียลแบบสมบูรณ์ (Full Factorial Desing : FFD) การประมวลผลโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบเชิงทั่วไป (General Linear Model) ซึ่งจะแสดงค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square : SS) ค่า F (F-value) ค่า P (P-value) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เพื่ออธิบายถึง ผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบระหว่างปัจจัยร่วม (Interaction Factors) ค่า P-value สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อการทดลอง เมื่อค่า

P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยนั้นมีผลกระทบต่อการทดลองที่นัยสำคัญทางสถิติที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 (ระดับนัยสำคัญ 0.05)

ในผลการวิเคราะห์ ได้กำหนดตัวแปรโดย

Maximum Temperature	คือ อุณหภูมิเริ่มต้น
E_q	คือ จำนวนรอบในการวนแต่ระดับอุณหภูมิ
Cooling Rate	คือ อัตราการเย็นตัว
LS 1	คือ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 1
LS 2	คือ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2
R-Sq	คือ R-Square (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ)

4.9.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1



รูปที่ 4.31 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.31 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

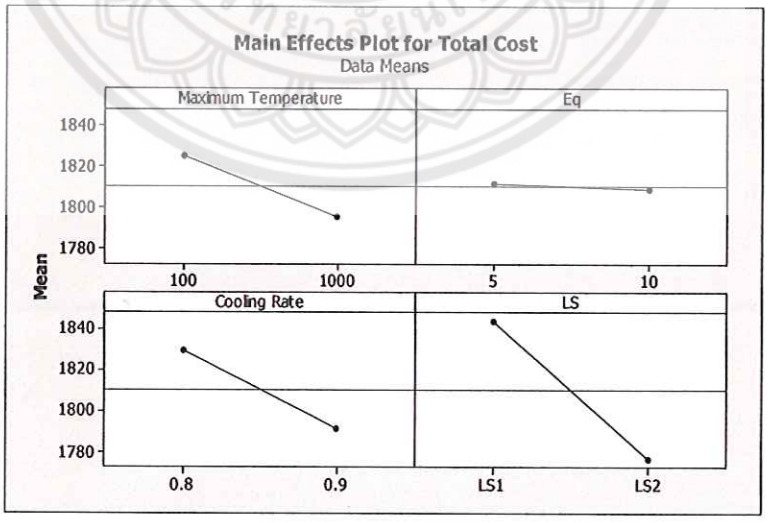
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	17399	17399	17399	2.59	0.112
Eq	1	137	137	137	0.02	0.887
Cooling Rate	1	29479	29479	29479	4.39	0.040
LS	1	90313	90313	90313	13.45	0.001
Maximum Temperature*Eq	1	6	6	6	0.00	0.975
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	2050	2050	2050	0.31	0.583
Maximum Temperature*LS	1	1354	1354	1354	0.20	0.655
Eq*Cooling Rate	1	9525	9525	9525	1.42	0.238
Eq*LS	1	746	746	746	0.11	0.740
Cooling Rate*LS	1	8029	8029	8029	1.20	0.278
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	12430	12430	12430	1.85	0.178
Maximum Temperature*Eq*LS	1	5117	5117	5117	0.76	0.386
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	1294	1294	1294	0.19	0.662
Eq*Cooling Rate*LS	1	8927	8927	8927	1.33	0.253
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	9059	9059	9059	1.35	0.250
Error	64	429807	429807	6716		
Total	79	625672				

S = 81.9496 R-Sq = 31.30% R-Sq(adj) = 15.20%

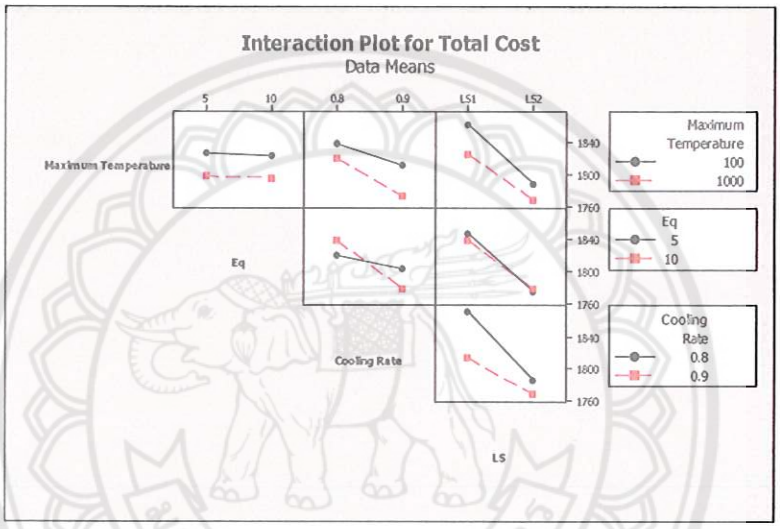
รูปที่ 4.32 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.32 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด รองมา คือ ปัจจัยอัตราการเย็นตัว ตามลำดับ



รูปที่ 4.33 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1

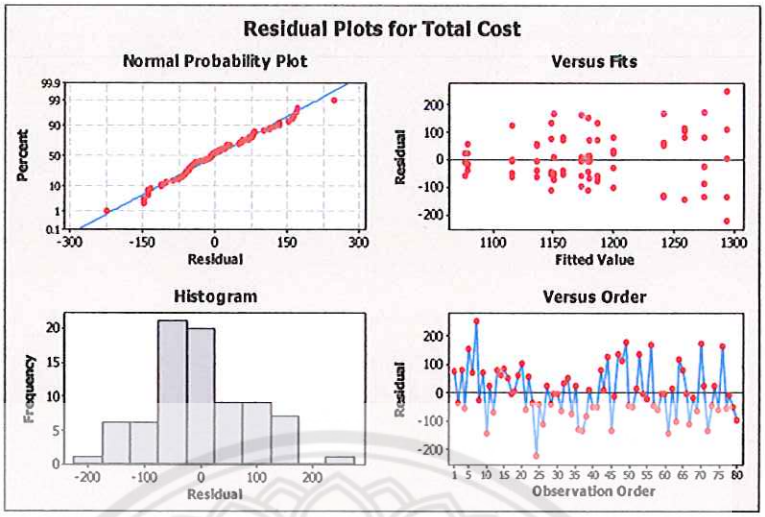
จากรูปที่ 4.33 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ปัจจัยรองลงมา คือ อัตราการเย็นตัว เมื่อเพิ่มอัตราการเย็นตัวขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งอัตราการเย็นตัว 0.9 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอัตราการเย็นตัว 0.8 ปัจจัยต่อมา คือ อุณหภูมิเริ่มต้นเมื่อเพิ่มอุณหภูมิขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลงซึ่งที่อุณหภูมิ 1,000 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอุณหภูมิ 100 ส่วนปัจจัยจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อยมาก



รูปที่ 4.34 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.34 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 และการปรับปรุงคำเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.9.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2



รูปที่ 4.35 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.35 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

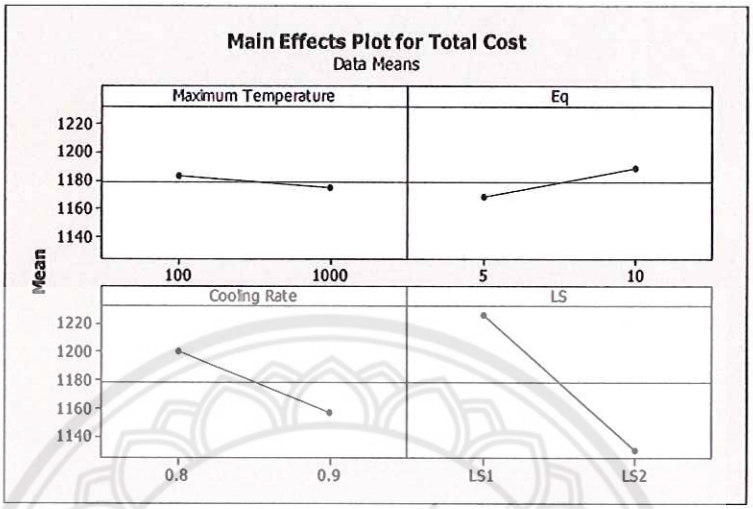
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	1295	1295	1295	0.13	0.720
Eq	1	8248	8248	8248	0.83	0.366
Cooling Rate	1	37625	37625	37625	3.78	0.056
LS	1	182745	182745	182745	18.37	0.000
Maximum Temperature*Eq	1	3748	3748	3748	0.38	0.542
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	23271	23271	23271	2.34	0.131
Maximum Temperature*LS	1	308	308	308	0.03	0.861
Eq*Cooling Rate	1	258	258	258	0.03	0.873
Eq*LS	1	707	707	707	0.07	0.791
Cooling Rate*LS	1	66	66	66	0.01	0.935
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	88	88	88	0.01	0.925
Maximum Temperature*Eq*LS	1	4746	4746	4746	0.48	0.492
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	5911	5911	5911	0.59	0.444
Eq*Cooling Rate*LS	1	13134	13134	13134	1.32	0.255
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	28887	28887	28887	2.90	0.093
Error	64	636755	636755	9949		
Total	79	947793				

S = 99.7462 R-Sq = 32.82% R-Sq(adj) = 17.07%

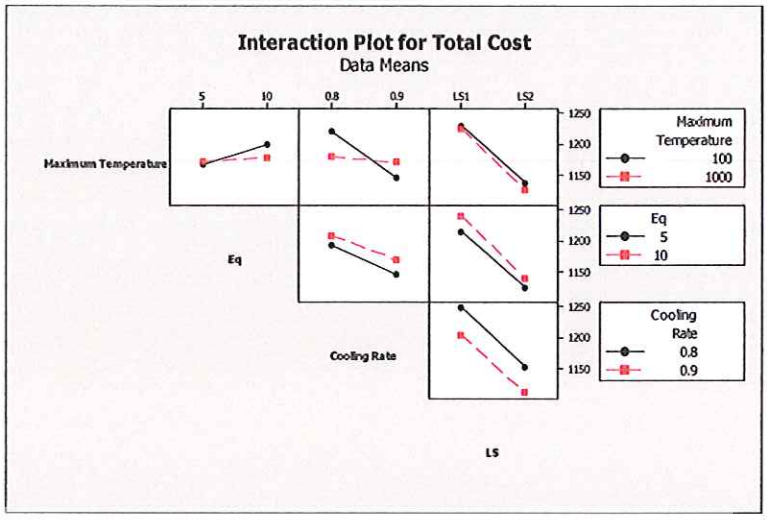
รูปที่ 4.36 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.36 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด



รูปที่ 4.37 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2

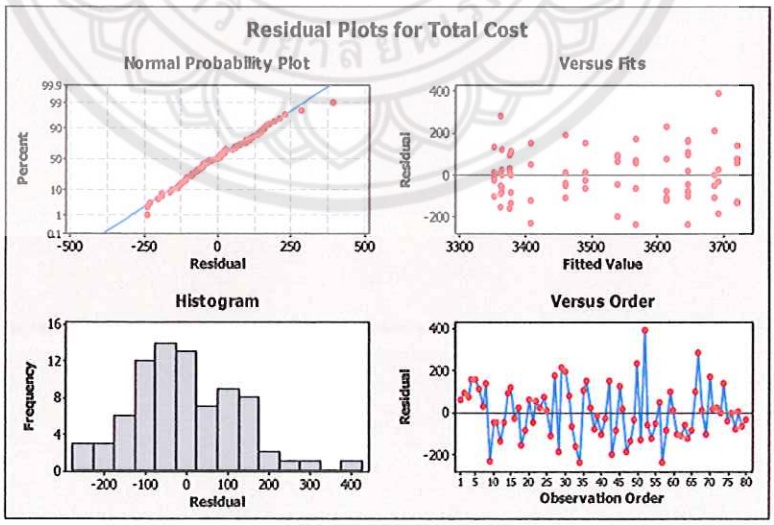
จากรูปที่ 4.37 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ปัจจัยรองลงมา คือ อัตราการเย็นตัว เมื่อเพิ่มอัตราการเย็นตัวขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลงซึ่งอัตราการเย็นตัว 0.9 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอัตราการเย็นตัว 0.8 ปัจจัยต่อมา คือ จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ ถ้าจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิน้อยก็จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อย ซึ่งจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิเท่ากับ 5 รอบจะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 10 รอบ ส่วนปัจจัยสุดท้าย คือ อุณหภูมิเริ่มต้น ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นขึ้นก็จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยลง แต่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อยมาก



รูปที่ 4.38 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.38 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 5 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.9.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1



รูปที่ 4.39 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.39 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

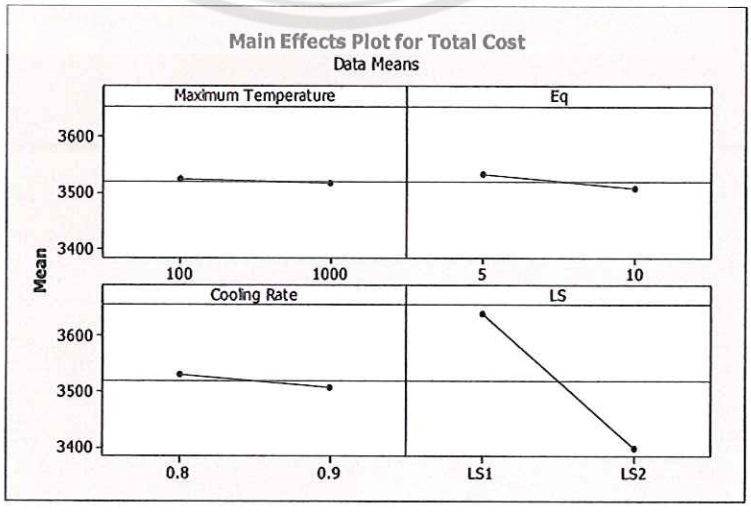
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	842	842	842	0.04	0.835
Eq	1	13026	13026	13026	0.68	0.414
Cooling Rate	1	10373	10373	10373	0.54	0.466
LS	1	1161093	1161093	1161093	60.21	0.000
Maximum Temperature*Eq	1	7567	7567	7567	0.39	0.533
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	14269	14269	14269	0.74	0.393
Maximum Temperature*LS	1	2007	2007	2007	0.10	0.748
Eq*Cooling Rate	1	44083	44083	44083	2.29	0.135
Eq*LS	1	21552	21552	21552	1.12	0.294
Cooling Rate*LS	1	32676	32676	32676	1.69	0.198
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	14083	14083	14083	0.73	0.396
Maximum Temperature*Eq*LS	1	5839	5839	5839	0.30	0.584
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	515	515	515	0.03	0.871
Eq*Cooling Rate*LS	1	45574	45574	45574	2.36	0.129
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	16354	16354	16354	0.85	0.361
Error	64	1234187	1234187	19284		
Total	79	2624039				

S = 138.867 R-Sq = 52.97% R-Sq(adj) = 41.94%

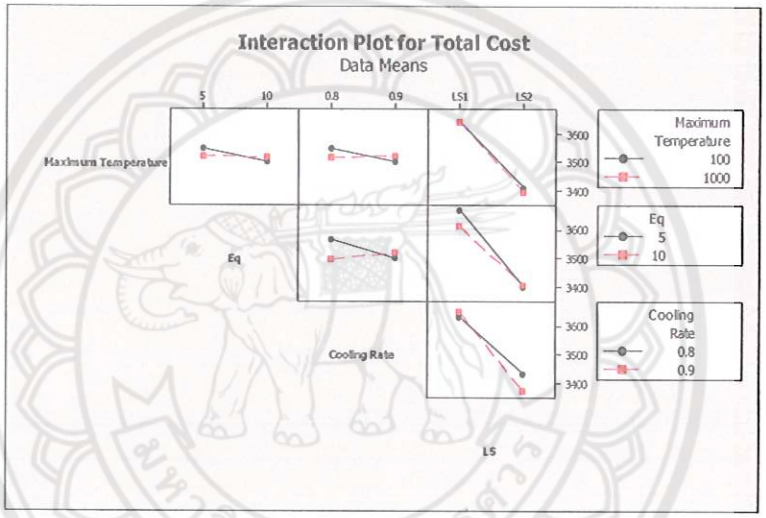
รูปที่ 4.40 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.40 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด



รูปที่ 4.41 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1

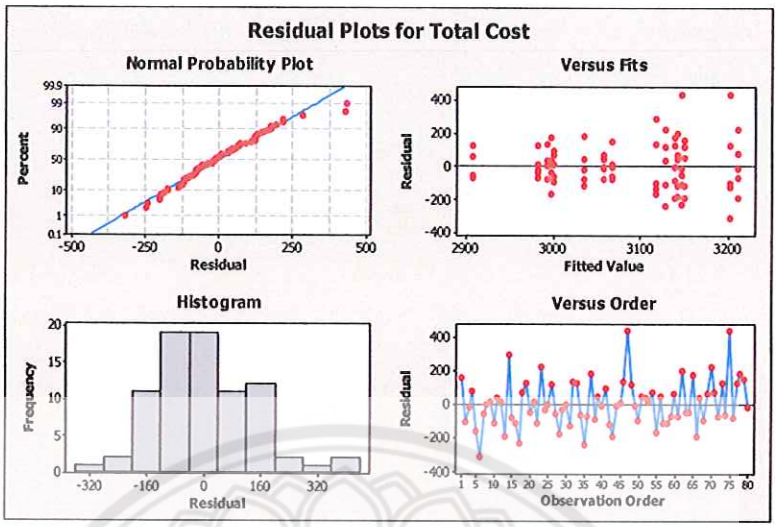
จากรูปที่ 4.41 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ปัจจัยรองลงมามี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่เท่าๆ กัน คือ อัตราการเย็นตัว เมื่อเพิ่มอัตราการเย็นตัวขึ้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งอัตราการเย็นตัว 0.9 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอัตราการเย็นตัว 0.8 และปัจจัยจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ ถ้าจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิมากก็จะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อย แต่ทั้ง 2 ปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อย ส่วนปัจจัยสุดท้าย คือ อุณหภูมิเริ่มต้น ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อยมาก



รูปที่ 4.42 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.42 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 5 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.9.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2



รูปที่ 4.43 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.43 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

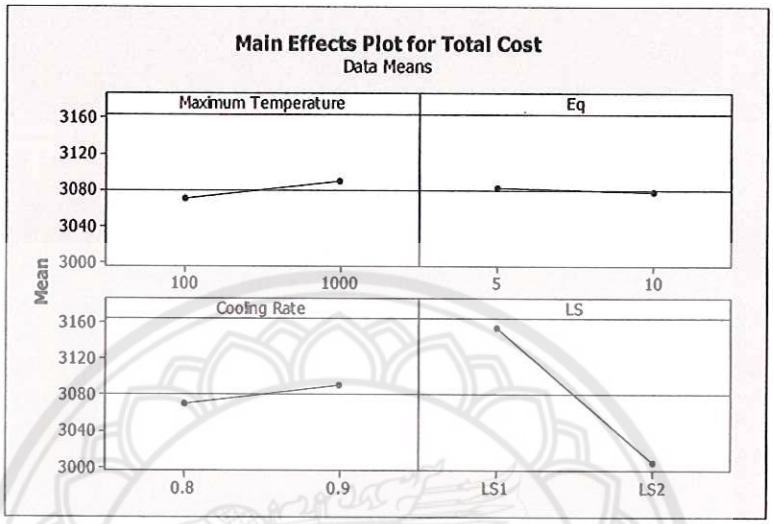
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	7249	7249	7249	0.30	0.585
Eq	1	491	491	491	0.02	0.887
Cooling Rate	1	8744	8744	8744	0.36	0.549
LS	1	448576	448576	448576	18.65	0.000
Maximum Temperature*Eq	1	8184	8184	8184	0.34	0.562
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	21214	21214	21214	0.88	0.351
Maximum Temperature*LS	1	2945	2945	2945	0.12	0.728
Eq*Cooling Rate	1	1015	1015	1015	0.04	0.838
Eq*LS	1	43460	43460	43460	1.81	0.184
Cooling Rate*LS	1	2557	2557	2557	0.11	0.745
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	666	666	666	0.03	0.858
Maximum Temperature*Eq*LS	1	2239	2239	2239	0.09	0.761
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	24077	24077	24077	1.00	0.321
Eq*Cooling Rate*LS	1	7265	7265	7265	0.30	0.585
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	247	247	247	0.01	0.920
Error	64	1539497	1539497	24055		
Total	79	2118427				

S = 155.096 R-Sq = 27.33% R-Sq(adj) = 10.30%

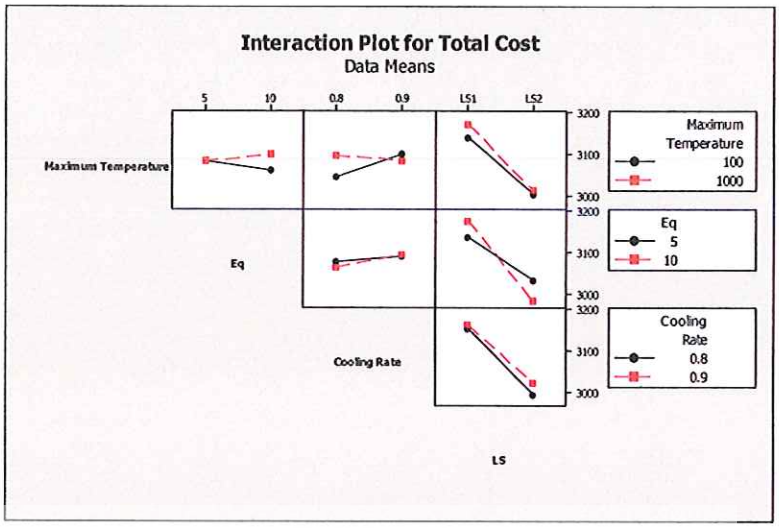
รูปที่ 4.44 แสดงANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.44 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด



รูปที่ 4.45 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2

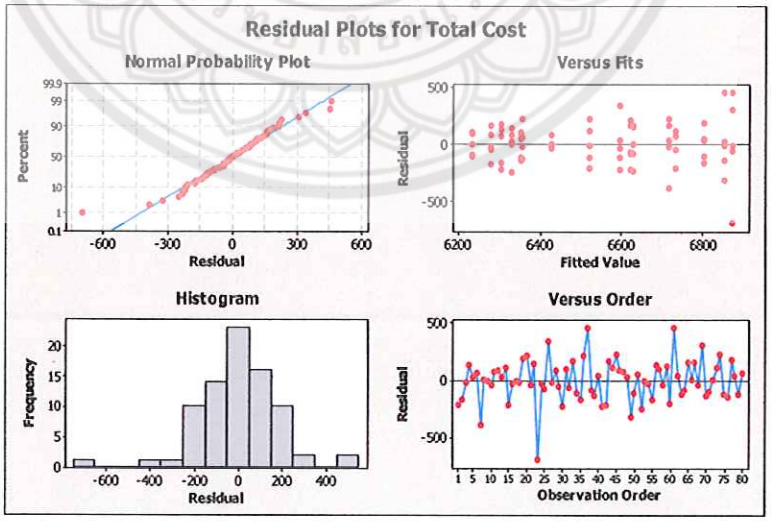
จากรูปที่ 4.45 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลักคือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ปัจจัยรองลงมามี 2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่เท่าๆกัน คือ อัตราการเย็นตัว เมื่อลดอัตราการเย็นตัวลงจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งอัตราการเย็นตัว 0.8 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอัตราการเย็นตัว 0.9 และปัจจัยอุณหภูมิเริ่มต้น ถ้าลดอุณหภูมิเริ่มต้นลงก็จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งในอุณหภูมิ 100 จะให้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า อุณหภูมิ 1,000 แต่ทั้ง 2 ปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อย ส่วนปัจจัยสุดท้าย คือ จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อยมาก



รูปที่ 4.46 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.46 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.8 และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.9.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1



รูปที่ 4.47 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.47 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

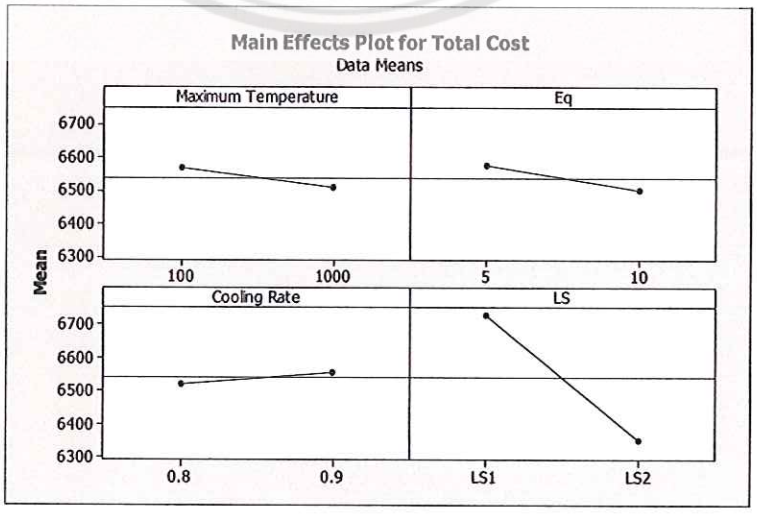
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	68690	68690	68690	1.73	0.193
Eq	1	109220	109220	109220	2.75	0.102
Cooling Rate	1	29268	29268	29268	0.74	0.394
LS	1	2867493	2867493	2867493	72.29	0.000
Maximum Temperature*Eq	1	17153	17153	17153	0.43	0.513
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	6291	6291	6291	0.16	0.692
Maximum Temperature*LS	1	468	468	468	0.01	0.914
Eq*Cooling Rate	1	3607	3607	3607	0.09	0.764
Eq*LS	1	62549	62549	62549	1.58	0.214
Cooling Rate*LS	1	92153	92153	92153	2.32	0.132
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	138450	138450	138450	3.49	0.066
Maximum Temperature*Eq*LS	1	108454	108454	108454	2.73	0.103
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	21745	21745	21745	0.55	0.462
Eq*Cooling Rate*LS	1	7068	7068	7068	0.18	0.674
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	21852	21852	21852	0.55	0.461
Error	64	2538814	2538814	39669		
Total	79	6093275				

S = 199.171 R-Sq = 58.33% R-Sq(adj) = 48.57%

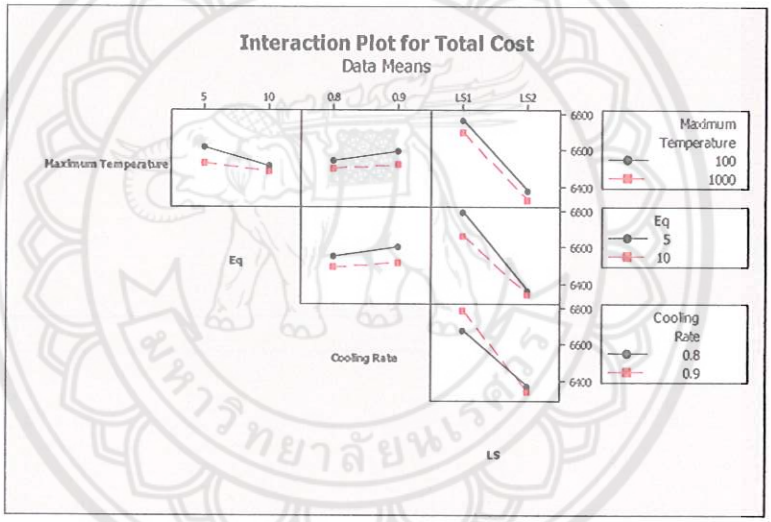
รูปที่ 4.48 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.48 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด



รูปที่ 4.49 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

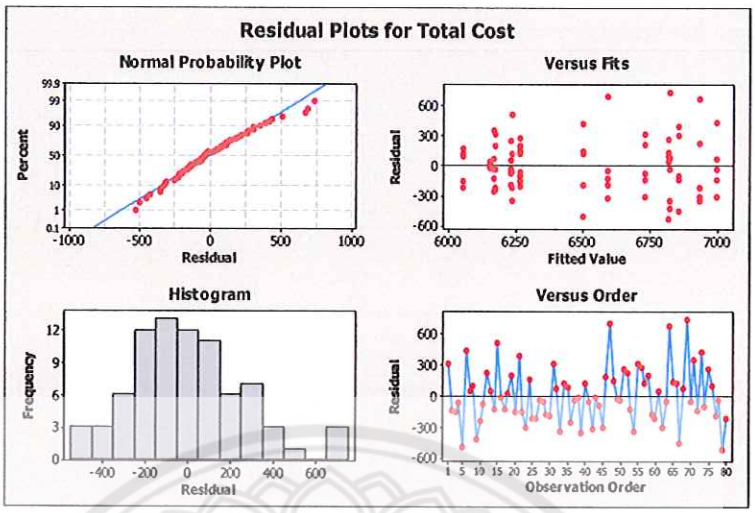
จากรูปที่ 4.49 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่า การเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ส่วนปัจจัยที่เหลืออีก 3 ปัจจัย ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่เท่าๆ กัน คือ อัตราการเย็นตัว เมื่อลดอัตราการเย็นตัวลงจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งอัตราการเย็นตัว 0.8 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่าอัตราการเย็นตัว 0.9 ต่อมาปัจจัยอุณหภูมิเริ่มต้น ถ้าเพิ่มอุณหภูมิเริ่มต้นขึ้น ก็จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งในอุณหภูมิ 1,000 จะให้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า อุณหภูมิ 100 ส่วนปัจจัยสุดท้าย คือ จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เมื่อเพิ่มจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง ซึ่งจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ 10 รอบ จะให้ค่าใช้จ่ายน้อยกว่า 5 รอบ แต่ทั้ง 3 ปัจจัยนี้ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบน้อย



รูปที่ 4.50 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.50 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.8 และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

4.9.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2



รูปที่ 4.51 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.51 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง มีการกระจายตัวแบบปกติ และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน

General Linear Model: Total Cost versus Maximum Temperature, Eq, ...

Factor	Type	Levels	Values
Maximum Temperature	fixed	2	100, 1000
Eq	fixed	2	5, 10
Cooling Rate	fixed	2	0.8, 0.9
LS	fixed	2	LS1, LS2

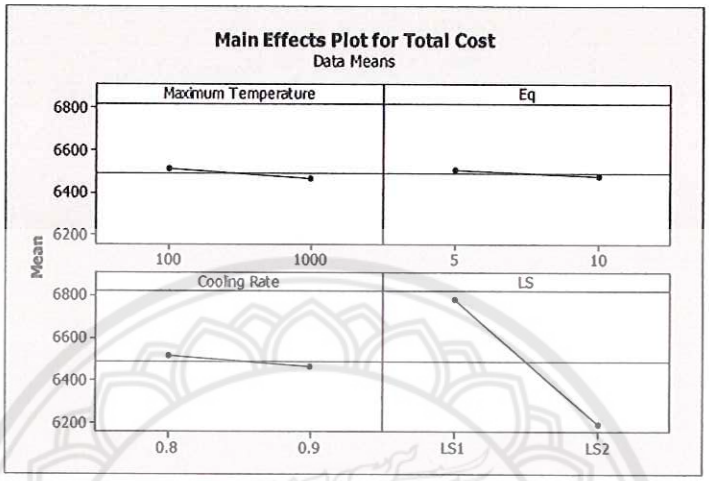
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Maximum Temperature	1	47571	47571	47571	0.54	0.465
Eq	1	15099	15099	15099	0.17	0.680
Cooling Rate	1	48773	48773	48773	0.55	0.459
LS	1	7002437	7002437	7002437	79.61	0.000
Maximum Temperature*Eq	1	117864	117864	117864	1.34	0.251
Maximum Temperature*Cooling Rate	1	65347	65347	65347	0.74	0.392
Maximum Temperature*LS	1	1264	1264	1264	0.01	0.905
Eq*Cooling Rate	1	361376	361376	361376	4.11	0.047
Eq*LS	1	52772	52772	52772	0.60	0.441
Cooling Rate*LS	1	21306	21306	21306	0.24	0.624
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate	1	91670	91670	91670	1.04	0.311
Maximum Temperature*Eq*LS	1	211787	211787	211787	2.41	0.126
Maximum Temperature*Cooling Rate*LS	1	51052	51052	51052	0.58	0.449
Eq*Cooling Rate*LS	1	53785	53785	53785	0.61	0.437
Maximum Temperature*Eq*Cooling Rate*LS	1	32555	32555	32555	0.37	0.545
Error	64	5629562	5629562	87962		
Total	79	13804221				

S = 296.584 R-Sq = 59.22% R-Sq(adj) = 49.66%

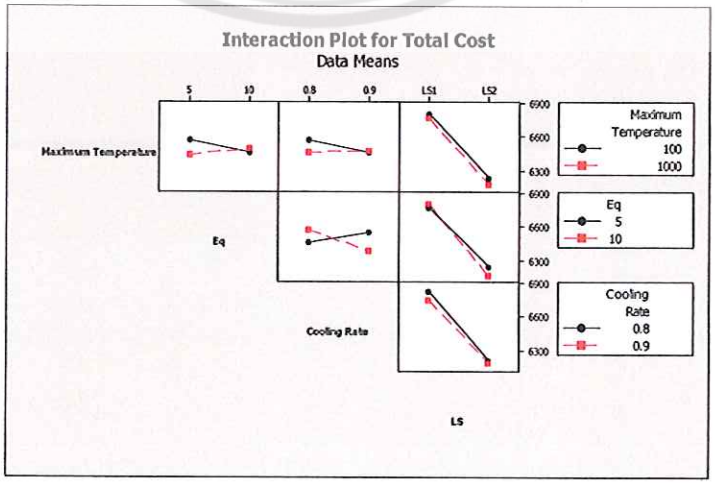
รูปที่ 4.52 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.52 พบว่า ปัจจัยที่มีค่า P (P-value) ต่ำกว่าระดับนัยสำคัญ 0.05 ซึ่งจะทำให้ปัจจัยนั้นส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ คือ ปัจจัยการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ซึ่งเป็นปัจจัยหลักที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด รองลงมา คือ ปัจจัยหลักร่วมระหว่างจำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิและอัตราการเย็นตัว



รูปที่ 4.53 แสดง Main Effect Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.53 เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ อุณหภูมิเริ่มต้น จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ อัตราการเย็นตัว และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ทั้ง 2 แบบ พบว่าการเปลี่ยนแปลงการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมากที่สุด ซึ่งในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุด ส่วน 3 ปัจจัยที่เหลือส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบที่น้อยมาก



รูปที่ 4.54 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.54 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ปัจจัยหลักแต่ละคู่มีผลกระทบร่วมกัน สรุปได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ คือ อุณหภูมิเท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 รอบ อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 และการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เท่ากับ การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด

จากทั้งหมด 6 ปัญหา พบว่าจะมีพารามิเตอร์บางตัวที่ไม่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบ อาจจะเนื่องมาจากการเลือกใช้พารามิเตอร์ การกำหนดช่วงห่างของค่าพารามิเตอร์ และการกำหนดจำนวนระดับพารามิเตอร์แต่ละตัว แต่พารามิเตอร์ที่ส่งผลอย่างมากได้แก่ LS หรือ วิธีในการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นั้นเอง จึงทำให้เกิดความแตกต่างอย่างเด่นชัดของคุณภาพคำตอบมากกว่าพารามิเตอร์อื่นๆ ทำให้ผลกระทบที่ใช้พารามิเตอร์อื่นไม่ส่งผลมาก

4.10 สรุปผล

สรุปผลค่าใช้จ่ายต่ำสุดและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ดังตารางที่ 4.16 ดังนี้

ตารางที่ 4.16 แสดงการสรุปผลค่าใช้จ่ายต่ำสุดและพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด

ลักษณะของปัญหา		ค่าใช้จ่ายต่ำสุด	ค่าพารามิเตอร์				
			ชุดพารามิเตอร์	Maximum Temperature	Eq	Cooling Rate	Local Search
ขนาดเล็ก	1	1,634.06	2	1,000	5	0.8	2
	2	1,036.88	6	1,000	5	0.9	2
ขนาดกลาง	1	3,176.00	12	100	10	0.8	2
	2	2,826.25	10	100	5	0.8	2
ขนาดใหญ่	1	6,081.50	6	1,000	5	0.9	2
	2	5,831.13	8	1,000	10	0.9	2

สรุปผลการเลือกค่าพารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้ ซึ่งเลือกมาจากค่าพารามิเตอร์ที่ทำให้ได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดในปัญหาขนาดต่างๆ แสดงดังตารางที่ 4.17 และ 4.18 ดังนี้

ตารางที่ 4.17 แสดงการสรุปพารามิเตอร์ที่ควรใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จากผลการทดสอบโปรแกรมในหัวข้อ 4.7

ลักษณะของปัญหา		พารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้				
		พารามิเตอร์ชุดที่เลือก	Maximum Temperature	Eq	Cooling Rate	Local Search
ขนาดเล็ก	1	8	1,000	10	0.9	2
	2	14	100	5	0.9	2
ขนาดกลาง	1	14	100	5	0.9	2
	2	12	100	10	0.8	2
ขนาดใหญ่	1	2	1,000	5	0.8	2
	2	8	1,000	10	0.9	2

ตารางที่ 4.18 แสดงการสรุปพารามิเตอร์ที่ควรใช้กับลักษณะปัญหาต่างๆเพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุด จากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ในหัวข้อ 4.9

ลักษณะของปัญหา		พารามิเตอร์ที่ควรเลือกใช้				
		พารามิเตอร์ชุดที่เลือก	Maximum Temperature	Eq	Cooling Rate	Local Search
ขนาดเล็ก	1	8	1,000	10	0.9	2
	2	14	100	5	0.9	2
ขนาดกลาง	1	14	100	5	0.9	2
	2	12	100	10	0.8	2
ขนาดใหญ่	1	4	1,000	10	0.8	2
	2	8	1,000	10	0.9	2

จากตารางที่ 4.17 และ 4.18 ในการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่ควรใช้ในปัญหาขนาดต่างๆ จากผลการทดสอบโปรแกรมในหัวข้อ 4.7 และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ด้วยโปรแกรม Minitab 16 ในหัวข้อ 4.9 จะเห็นว่าปัญหาขนาดต่างๆ มีการเลือกชุดพารามิเตอร์ที่เหมือนกัน มีความสอดคล้องกัน ยกเว้นในปัญหาขนาดใหญ่ 1 ที่เลือกชุดพารามิเตอร์ไม่เหมือนกัน โดยพบว่าพารามิเตอร์ชุดที่ 14 ให้ค่าคำตอบที่ดี ซึ่งถูกเลือกใช้ทั้งหมด 2 ปัญหา คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 2 และขนาดกลาง 1 ส่วนพารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าคำตอบที่ดี ซึ่งถูกเลือกใช้ทั้งหมด 2 ปัญหา เช่นกัน คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 1 และขนาดใหญ่ 2

บทที่ 5
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

5.1.1 จากการวิจัยในครั้งนี้ทำให้เกิดโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่น้อยที่สุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งสามารถนำไปใช้ในการจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับยานพาหนะในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า

5.1.2 โปรแกรมช่วยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง จะทำการประมวลผลหาค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าในเวลาที่รวดเร็ว และได้คำตอบเป็นที่น่าพึงพอใจ แม้คำตอบที่ได้นั้นอาจจะไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดก็ตาม

5.1.3 จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลองนี้ พบว่า

5.1.3.1 จากการทดสอบด้วยปัญหาขนาดต่างๆ

ปัญหาขนาดเล็ก 1 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 8

ปัญหาขนาดเล็ก 2 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 5 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 14

ปัญหาขนาดกลาง 1 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 5 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 14

ปัญหาขนาดกลาง 2 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 100 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.8 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 12

ปัญหาขนาดใหญ่ 1 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 5, 10 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.8 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 4

ปัญหาขนาดใหญ่ 2 เพื่อให้ได้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด ควรเลือกใช้ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ คือ อุณหภูมิ เท่ากับ 1,000 จำนวนรอบในการวนแต่ละระดับอุณหภูมิ เท่ากับ 10 อัตราการเย็นตัว เท่ากับ 0.9 การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 คือ พารามิเตอร์ชุดที่ 8

จะเห็นว่าปัญหาขนาดต่างๆทั้ง 6 ปัญหา ในพารามิเตอร์ชุดที่ 14 ให้ค่าคำตอบที่ดี ซึ่งถูกเลือกใช้ทั้งหมด 2 ปัญหา คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 2 และขนาดกลาง 1 ส่วนพารามิเตอร์ชุดที่ 8 ให้ค่าคำตอบที่ดี ซึ่งถูกเลือกใช้ทั้งหมด 2 ปัญหาเช่นกัน คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 1 และขนาดใหญ่ 2

5.1.3.2 จากการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับวิธีอื่นๆ

ก. พิจารณาจากค่าใช้จ่ายต่ำสุด

ปัญหาขนาดเล็ก 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 4

ปัญหาขนาดเล็ก 2 พบว่า วิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด

ปัญหาขนาดกลาง 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดกลาง 2 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 4

ปัญหาขนาดใหญ่ 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดใหญ่ 2 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ข. พิจารณาจากค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย

ปัญหาขนาดเล็ก 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 3

ปัญหาขนาดเล็ก 2 พบว่า วิธีการเชิงพันธุกรรมให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดกลาง 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดกลาง 2 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดใหญ่ 1 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

ปัญหาขนาดใหญ่ 2 พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด อยู่ในลำดับที่ 2

สรุปได้ว่า เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดกับวิธีต่างๆ ทั้ง 6 ปัญหา มี 5 ปัญหา ขนาดเล็ก 1 ขนาดกลาง 1 ขนาดกลาง 2 ขนาดใหญ่ 1 และขนาดใหญ่ 2 วิธีอาณานิคมมดให้

ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ส่วนวิธีของคณะผู้จัดทำโครงงานให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ที่ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 1 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 2 จากทั้งหมด 6 ปัญหา

แต่เมื่อพิจารณาค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย พบว่า วิธีอาณานิคมมดให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 5 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 1 ขนาดกลาง 1 ขนาดกลาง 2 ขนาดใหญ่ 1 และขนาดใหญ่ 2 ส่วนวิธีการเชิงพันธุกรรมให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่าย ต่ำที่สุดและดีที่สุด ทั้งหมด 1 ปัญหา คือ ขนาดเล็ก 2

ค. พิจารณาจากเวลาที่ใช้ในการประมวลผล

วิธี SA จะใช้เวลาในการประมวลผลเร็วกว่า วิธีอื่นๆ ทั้งหมด 4 ปัญหา คือ ในปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดกลาง 1 ปัญหาขนาดกลาง 2 และปัญหาขนาดใหญ่ 1

5.1.3.3 ความหลากหลายของการทำการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ มีผลโดยตรงต่อคำตอบค่าใช้จ่าย ซึ่งการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่แบบที่ 2 จะทำให้ได้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

5.2.1 เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงงานไม่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel จึงทำให้ระยะแรกๆ ในการจัดทำโครงงานค่อนข้างดำเนินไปด้วยความล่าช้า

5.2.2 การเขียนโปรแกรม และการทดสอบโปรแกรมต้องใช้เวลามาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการทำการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นั้น อาจจะมีความหลากหลายใดที่ให้คำตอบที่ดีกว่า สะดวกกว่า และรวดเร็วกว่าในการประมวลผล ซึ่งนั้นอาจจะเป็นเหตุผลให้จะต้องมีการศึกษาหลายๆแบบต่อไป

5.3.2 ในการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ในการอบอ่อน อาจจะต้องมีการศึกษาในหลายๆ รูปแบบ ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใดอย่างไร และสามารถเลือกใช้กับปัญหาขนาดใดจึงจะมีความเหมาะสม เพื่อให้ได้คำตอบการจัดเส้นทางการขนส่งที่ดีที่สุดในเวลาอันรวดเร็ว

5.3.3 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้กับกรณีที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต แบบมีกรอบเวลา และข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะเท่านั้น หากผู้ใช้จะนำไปใช้กับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ สามารถนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาของท่านได้

5.3.4 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้ได้กับกรณีที่จำนวนยานพาหนะ และความจุเพียงพอต่อความต้องการสินค้าของลูกค้าทั้งหมดเท่านั้น หากผู้ใช้จะนำไปใช้กับการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าจำนวนยานพาหนะ หรือความจุของยานพาหนะ สามารถนำโปรแกรมนี้ไปพัฒนาต่อยอดได้ เพื่อให้สามารถแก้ปัญหากรณีจำนวนยานพาหนะ และความจุของยานพาหนะไม่เพียงพอ

5.3.5 แนวคิดถ้าอยากจะพัฒนาให้ค่าคำตอบดีกว่า วิธี ACO อาจจะต้องมีการปรับปรุงวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ ให้มีความหลากหลาย ซับซ้อน และมีการใช้ประโยชน์จากโจทย์ให้มากขึ้นในการออกแบบการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ เพราะ ACO ได้ใช้ประโยชน์มาจากการคำนึงถึงระยะทางระหว่างลูกค้ามาใช้ (ระยะทางห่างน้อย ความน่าจะเป็นที่จะเลือกเส้นทางที่มีระยะทางน้อยก็จะมาก) ดังนั้น หากมีการเพิ่มการคำนึงถึงระยะทางเข้าไปใน LS อาจจะทำให้คำตอบดีขึ้น ตัวอย่างเช่น ในการเลือกลูกค้าสองรายติดกันที่มีระยะทางมากที่สุด อาจจะเพิ่มการเลือกลูกค้าสองรายติดกันที่มีระยะทางมากลองลงมาด้วย

เอกสารอ้างอิง

ปิ่นนภา เกตุศรี และสุวรรณา บุญชุ่ม. (2555). **การหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุโดยใช้วิธีเมตาฮิวริสติก.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **การจัดกลุ่มประเภทของปัญหา VRP ตามลักษณะ.** สืบค้นเมื่อ 20 สิงหาคม 2557, จาก http://www.ubu.ac.th/~pitakaso/1302476/new_doc/ch06_s.pdf.

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

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **หลักการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก.** ในแสงเงิน นาค**พัฒน์. กรุงเทพฯ :** สำนักพิมพ์ ส.ส.ท. สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น)

สุกัญญา โทนทอง และสุปราณี อุดมสุข. (2555). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำ**หรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง.** ปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศา**สตรบัณฑิต** สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ มหาวิทยาลัยนเรศวร.

Wongsanga. (2554). การจำลองการอบอ่อนจำลอง. สืบค้นเมื่อ 22 สิงหาคม 2557, จาก https://www.scribd.com/doc/63016717/Chapter-Simulated-Annealing.

ภาคผนวก ก

Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง

ก. Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอบอ่อนจำลอง

เพื่อสะดวกแก่ความเข้าใจ จะขอแบ่งการแสดงคำสั่ง หรือSource Code ตามลักษณะของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งได้ ดังนี้

ก.1 โค้ดการทำงานของ User form “SA_ParSetting”

ก.2 โค้ดการทำงานของ Worksheets “SA”

ก.3 โค้ดการทำงานของ SA_Module

ก.1 โค้ดการทำงานของ User form “SA_ParSetting”

```
Private Sub SA_CommandCancel_Click()
    Unload SA_ParSetting
End Sub
```

รูปที่ ก.1 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม Cancel ในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง

```
Private Sub SA_CommandOK_Click()
    Range("B4").Value = SA_TextBoxMaximumTemperature.Value
    Range("B6").Value = SA_TextBoxEq.Value
    Range("B7").Value = SA_TextBoxCoolingRate.Value
    Unload SA_ParSetting
End Sub
```

รูปที่ ก.2 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม OK ในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง

```
Private Sub SA_OptLocalSearch1_Click()
    Worksheets("SA").Range("B8") = "LocalSearch 1"
End Sub
```

รูปที่ ก.3 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกเลือก Local Search 1

```
Private Sub SA_OptLocalSearch2_Click()
    Worksheets("SA").Range("B8") = "LocalSearch 2"
End Sub
```

รูปที่ ก.4 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกเลือก Local Search 2

```
Private Sub UserForm_Initialize()Private Sub Worksheet_Activate()
    SA_ParSetting.Show
    Worksheets("SA").Range("B10") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B11") = "0"
SA_TextBoxMaximumTemperature = "1000"
SA_TextBoxEq = "5"
SA_TextBoxCoolingRate = "0.9"
SA_OptLocalSearch1 = True
End Sub
```

รูปที่ ก.5 แสดงค่าตามที่กำหนดในหน้าต่างที่ผู้ใช้งานกรอกค่าพารามิเตอร์ของวิธีการอบอ่อนจำลอง

ก.2 โค้ดการทำงานของ Worksheets “SA”

```
Private Sub CommandButton21_Click()
    Worksheets("SA").Range("H1:ZZ10000").ClearContents
Dim StartTime As Double
Dim FinishTime As Double
    StartTime = Timer
    Application.ScreenUpdating = False
    Application.Calculation = xlCalculationManual
        Randomize (1111)
        'Randomize (2222)
        'Randomize (3333)
        'Randomize (4444)
        'Randomize (5555)
Call Event_Manager
    Application.ScreenUpdating = True
    Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
    FinishTime = Timer - StartTime
        MsgBox "Finish!!!!!!!!!"
        Range("B25") = FinishTime
End Sub
Private Sub Worksheet_Activate()
    SA_ParSetting.Show
    Worksheets("SA").Range("B10") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B11") = "0"
```

รูปที่ ก.6 แสดงโค้ดการทำงานของปุ่ม RUN ใน Worksheets “SA”

```
Worksheets("SA").Range("B12") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B22") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B25") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B18") = "0"
    Worksheets("SA").Range("B19") = "0"
    Worksheets("SA").Range("H1:ZZ10000").ClearContents
End Sub
```

รูปที่ ก.6 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานของปุ่ม RUN ในWorksheets "SA"

ก.3 โค้ดการทำงานของ SA_Module

```
Option Explicit
    Dim SA_CurSol() As Integer
    Dim SA_RndPos As Integer
    Dim SA_Temp As Integer
    Dim SA_CurSolObj() As Double
    Dim SA_NewSol() As Integer
    Dim SA_NewSolObj() As Double
    Dim SA_TMax As Integer
    Dim SA_TMin As Integer
    Dim SA_Eq As Integer
    Dim SA_CoolingRate As Double
    Dim SA_U As Double
    Dim SA_Pro As Double
    Dim SA_T As Integer
```

รูปที่ ก.7 แสดงการประกาศตัวแปร

```
Dim b As Integer
    Dim SA_BestSol() As Integer
    Dim SA_BestSolObj As Double
    Dim SA_Rnd As Double
    Dim SA_MinObj As Double
    Dim SA_MinObjPos As Integer
    Dim SA_LSMethod As String
    Dim SA_NumAnswer As Integer
    Dim a As Integer
    Dim j As Integer
    Dim i As Integer
```

รูปที่ ก.7 (ต่อ) แสดงการประกาศตัวแปร

```
Public Sub SA()
    SA_LSMethod = Worksheets("SA").Range("B8").Value
    ReDim SA_CurSol(0 To (UBound(NowSol)))
    ReDim SA_CurSolObj(1)
    ReDim SA_BestSol(0 To (UBound(NowSol)))
Dim AllZero As Boolean
AllZero = True
For i = 0 To UBound(NowSol)
    If NowSol(i) <> 0 Then
        AllZero = False
Exit For
```

รูปที่ ก.8 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA"

```
End If
Next i
If AllZero = True Then Exit Sub
    SA_TMax = Worksheets("SA").Range("B4").Value
    SA_Eq = Worksheets("SA").Range("B6").Value
    SA_CoolingRate = Worksheets("SA").Range("B7").Value
Dim SA_NumAns As Integer
Dim SA_NumRound As Integer
    SA_NumAns = 2000
    SA_NumRound = Int(SA_NumAns / (SA_Eq * (UBound(NowSol) - 2))) + 1
    SA_TMin = (SA_CoolingRate ^ SA_NumRound) * SA_TMax
    Worksheets("SA").Range("B5").Value = SA_TMin
        Call SA_CodeColor
For j = 0 To UBound(NowSol)
    SA_CurSol(j) = NowSol(j)
    Worksheets("SA").Range("J4").Offset(0, j) = SA_CurSol(j)
Next j
For j = 0 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = SA_CurSol(j)
Next j
Call Evaluate_count_vehicle
    SA_CurSolObj(1) = Objective
    Worksheets("SA").Range("H4").Offset(0, 0) = SA_CurSolObj(1)
    Worksheets("SA").Range("B11").Offset(0) = SA_CurSolObj(1)
```

รูปที่ ก.8 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA”

```
For i = 0 To UBound(NowSol)
SA_BestSol(i) = SA_CurSol(i)
    Worksheets("SA").Range("J2").Offset(0, i) = SA_BestSol(i)
Next i
    SA_BestSolObj = SA_CurSolObj(1)
    Worksheets("SA").Range("H2").Offset(0) = SA_BestSolObj
        SA_NumAnswer = 0
        SA_T = SA_TMax
Do
      For b = 1 To SA_Eq
Select Case SA_LSMethod
    Case "LocalSearch 1"
       Call SA_LS1
    Case "LocalSearch 2"
       Call SA_LS2
   Case Else
 MsgBox "Please Enter Only 'LocalSearch 1' or 'LocalSearch 2' and Start Again"
Exit Do
    End Select
       SA_NumAnswer = SA_NumAnswer + UBound(SA_CurSol) - 2
       Worksheets("SA").Range("B22").Offset(0) = SA_NumAnswer
          Call SA_Best
    Next b
SA_T = SA_CoolingRate * SA_T
```

รูปที่ ก.8 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA"

```
Loop Until SA_NumAnswer >= SA_NumAns
 For i = 0 To UBound(NowSol)
       NowSol(i) = SA_BestSol(i)
Next i
     Call Evaluate_count_vehicle
End Sub
```

รูปที่ ก.8 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA"

```
Public Sub SA_LS1()
    ReDim SA_NewSol(0 To (UBound(SA_CurSol) - 2), 0 To UBound(SA_CurSol))
    ReDim SA_NewSolObj(0 To (UBound(SA_CurSol) - 2))
    Dim SA_TreePair(0 To 2) As Integer
    Dim SA_TreePairPos(0 To 2) As Integer
    Dim Max As Double
    Dim SA_Keep As Double
Max = 0
For i = 0 To UBound(SA_CurSol) - 2
    For j = 0 To UBound(SA_CurSol)
SA_NewSol(i, j) = SA_CurSol(j)
       Worksheets("SA").Range("J6").Offset(i, j) = SA_NewSol(i, j)
    Next j
Next i
For i = 1 To UBound(SA_CurSol) - 3
```

รูปที่ ก.9 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_LS1"

```
If Cust_Distance(SA_CurSol(i), SA_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(SA_CurSol(i + 1),
SA_CurSol(i + 2)) > Max Then

        Max = Cust_Distance(SA_CurSol(i), SA_CurSol(i + 1)) + Cust_Distance(SA_CurSol(i
+ 1), SA_CurSol(i + 2))

        SA_TreePair(0) = SA_CurSol(i)

        SA_TreePair(1) = SA_CurSol(i + 1)

        SA_TreePair(2) = SA_CurSol(i + 2)

        SA_TreePairPos(0) = i

        SA_TreePairPos(1) = i + 1

        SA_TreePairPos(2) = i + 2

    End If

Next i

For i = 0 To (UBound(SA_CurSol) - 2)

    SA_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1

    SA_Temp = SA_NewSol(i, SA_Rnd)

    SA_NewSol(i, SA_Rnd) = SA_NewSol(i, SA_TreePairPos(1))

    SA_NewSol(i, SA_TreePairPos(1)) = SA_Temp

Next i

For i = 0 To UBound(SA_CurSol) - 2

    For j = 0 To UBound(SA_CurSol)

        Worksheets("SA").Range("J6").Offset(i, j) = SA_NewSol(i, j)

    Next j

Next i

For i = 0 To 1
```

รูปที่ ก.9 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_LS1”

```
  Debug.Print SA_TreePair(i)
Next i
For i = 0 To UBound(NowSol) - 2
   For j = 0 To UBound(NowSol)
      NowSol(j) = SA_NewSol(i, j)
   Next j
      Call Evaluate_count_vehicle
   SA_NewSolObj(i) = Objective
   Worksheets("SA").Range("H6").Offset(i, 0) = SA_NewSolObj(i)
Next i
End Sub
```

รูปที่ ก.9 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_LS1"

```
Public Sub SA_LS2()
ReDim SA_NewSol(0 To (UBound(SA_CurSol) - 2), 0 To UBound(SA_CurSol))
ReDim SA_NewSolObj(0 To (UBound(SA_CurSol) - 2))
Dim SA_TwoPair(0 To 1) As Integer
Dim SA_TwoPairPos(0 To 1) As Integer
Dim Max As Double
Max = 0
For i = 0 To UBound(SA_CurSol) - 2
For j = 0 To UBound(SA_CurSol)
SA_NewSol(i, j) = SA_CurSol(j)
Worksheets("SA").Range("J6").Offset(i, j) = SA_NewSol(i, j)
```

รูปที่ ก.10 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_LS2

```
  Next j
Next i
For i = 1 To UBound(SA_CurSol) - 2
   If Cust_Distance(SA_CurSol(i), SA_CurSol(i + 1)) > Max Then
      Max = Cust_Distance(SA_CurSol(i), SA_CurSol(i + 1))
      SA_TwoPair(0) = SA_CurSol(i)
      SA_TwoPair(1) = SA_CurSol(i + 1)
      SA_TwoPairPos(0) = i
      SA_TwoPairPos(1) = i + 1
   End If
Next i
For i = 0 To (UBound(SA_CurSol) - 2)
   SA_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1
   SA_Temp = SA_NewSol(i, SA_Rnd)
   SA_NewSol(i, SA_Rnd) = SA_NewSol(i, SA_TwoPairPos(0))
   SA_NewSol(i, SA_TwoPairPos(0)) = SA_Temp

   SA_Rnd = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd()) + 1
   SA_Temp = SA_NewSol(i, SA_Rnd)
   SA_NewSol(i, SA_Rnd) = SA_NewSol(i, SA_TwoPairPos(1))
   SA_NewSol(i, SA_TwoPairPos(1)) = SA_Temp
Next i
For i = 0 To UBound(SA_CurSol) - 2
```

รูปที่ ก.10 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub “SA_LS2”

```
Worksheets("SA").Range("J6").Offset(i, j) = SA_NewSol(i, j)
    Next j
Next i
For i = 0 To UBound(NowSol) - 2
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = SA_NewSol(i, j)
    Next j
        Call Evaluate_count_vehicle
    SA_NewSolObj(i) = Objective
    Worksheets("SA").Range("H6").Offset(i, 0) = SA_NewSolObj(i)
Next i
End Sub
```

รูปที่ ก.10 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_LS2"

```
Public Sub SA_Best()
    SA_MinObj = SA_NewSolObj(0)
    SA_MinObjPos = 0
For i = 0 To UBound(SA_CurSol) - 2
    If SA_NewSolObj(i) < SA_MinObj Then
        SA_MinObj = SA_NewSolObj(i)
        SA_MinObjPos = i
    End If
Next i
Worksheets("SA").Range("B12").Offset(0) = SA_MinObj
```

รูปที่ ก.11 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_Best"

```
If SA_MinObj <= SA_CurSolObj(1) Then
For i = 0 To UBound(SA_CurSol)
        SA_CurSol(i) = SA_NewSol(SA_MinObjPos, i)
Next i
        SA_CurSolObj(1) = SA_MinObj
For i = 0 To UBound(SA_CurSol)
      Worksheets("SA").Range("J4").Offset(0, i) = SA_CurSol(i)
Next i
      Worksheets("SA").Range("H4").Value = SA_CurSolObj(1)
      Worksheets("SA").Range("B11").Offset(0) = SA_CurSolObj(1)
   If SA_CurSolObj(1) <= SA_BestSolObj Then
For i = 0 To UBound(NowSol)
      SA_BestSol(i) = SA_CurSol(i)
      Worksheets("SA").Range("J2").Offset(0, i) = SA_BestSol(i)
Next i
      SA_BestSolObj = SA_CurSolObj(1)
   End If
      Worksheets("SA").Range("H2").Offset(0) = SA_BestSolObj
      Worksheets("SA").Range("B10").Offset(0) = SA_BestSolOb
   Else
      Call SA_Prob
   End If
End Sub
```

รูปที่ ก.11 (ต่อ) แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_Best"

```
Public Sub SA_Prob()

        SA_Rnd = Rnd()

        Worksheets("SA").Range("B18").Offset(0) = SA_Rnd

        SA_Pro = Exp((SA_CurSolObj(1) - SA_MinObj) / SA_T)

        Worksheets("SA").Range("B19").Offset(0) = SA_Pro

    If SA_Rnd <= SA_Pro Then
For i = 0 To UBound(SA_CurSol)

        SA_CurSol(i) = SA_NewSol(SA_MinObjPos, i)

Next i

For i = 0 To UBound(SA_CurSol)

    Worksheets("SA").Range("J4").Offset(0, i) = SA_CurSol(i)

Next i

    Worksheets("SA").Range("H4").Value = SA_MinObj

    Worksheets("SA").Range("B11").Value = SA_MinObj

End If

End Sub
```

รูปที่ ก.12 แสดงโค้ดการทำงานใน Sub "SA_Prob"

ประวัติผู้จัดทำโครงงาน

ชื่อ นางสาวจันทิมา ทิมเถื่อน

ภูมิลำเนา 22 หมู่ 2 ต.วัดพริก อ.เมือง จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุทธชินราชพิทยา จ. พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Eternal_8@hotmail.com

ชื่อ นางสาวเบญญา เหลือศรีจันทร์

ภูมิลำเนา 116 หมู่ 7 ต.หนองแขม อ.พรหมพิราม จ.พิษณุโลก

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพุทธชินราชพิทยา จ. พิษณุโลก
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: benya_IE@hotmail.com