

การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะ  
เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยวิธีอาณานิคมมด  
SOLVING VRP TO MINIMIZE TOTAL COST  
BY ANT COLONY OPTIMIZATION

นางสาวรัชฎาภรณ์ แสงคำ รหัส 56361266  
นางสาวสรินยา ท้าวอินทร์ดี รหัส 56361662  
นางสาวอภิญญา เจียงกองโค รหัส 56361778

สำนักหอสมุด มหาวิทยาลัยนครสวรรค์

วันลงทะเบียน 02 ก.พ. 2561

เลขทะเบียน 19225018

เลขเรียกหนังสือ 15 ค.469ก

2559

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครสวรรค์  
ปีการศึกษา 2559

## กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จขึ้นมาตามวัตถุประสงค์ของผู้เขียนได้ เนื่องจากความอนุเคราะห์ของบุคคลหลายท่าน ซึ่งบุคคลแรก คือ ผศ.ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ผู้สอน ผู้ที่ให้ความรู้ความช่วยเหลือตลอดจนคำแนะนำต่างๆทางวิชาการที่ดีเสมอมา จนกระทั่งผ่าน ครงงานอย่างสมบูรณ์ ท่านที่สอง คือ อาจารย์กานต์ ศุภจิตกุล ที่ให้คำแนะนำ ตรวจสอบ และแก้ไขข้อผิดพลาดต่างๆ

นอกจากนี้ผู้ศึกษาใคร่ขอขอบพระคุณคณะกรรมการทั้งสองท่าน อันประกอบด้วย ผศ.ดร.ภูพงษ์ พงษ์เจริญ และ ผศ.ดร.ศรีสัจจา วิทยศักดิ์ ที่กรุณาให้คำแนะนำที่มีประโยชน์เพื่อนำไปแก้ไข จนกระทั่งโครงการเสร็จสมบูรณ์จนออกมาเป็นปริญญานิพนธ์ฉบับนี้

สุดท้ายนี้ขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ปู่ ย่า ตา และยาย ที่อยู่เบื้องหลังในความสำเร็จครั้งนี้ ที่ได้สนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษาและให้กำลังใจตลอดมา และมหาวิทยาลัยนเรศวรที่ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ให้ผู้เขียนจนกระทั่งมีวันนี้

ผู้ดำเนินโครงการ

นางสาวอัญญกานต์	แสงคำ
นางสาวสรินยา	ท้าวอินทร์ดีะ
นางสาวอภินันท์	เจียงกองโค

เมษายน 2560

ชื่อหัวข้อโครงการ	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยวิธีอาณานิคมมด	
ผู้ดำเนินโครงการ	นางสาวธัญกานต์ แสงคำ	รหัส 56361266
	นางสาวสรินนยา ท้าวอินทร์ดี	รหัส 56361662
	นางสาวอภิญญา เจียงกองโค	รหัส 56361778
ที่ปรึกษาโครงการ	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง	
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	
ปีการศึกษา	2559	

### บทคัดย่อ

โครงการวิจัยนี้เป็นการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกเป็นการหาเส้นทางในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า เพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด ประกอบด้วย ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost), ค่าใช้จ่ายจากระยะทาง (Variable Cost), ค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) และ ค่าปรับจากการล่วงเวลา (Penalty Cost) โดยการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกจะใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) มาช่วยในการแก้ปัญหา และมีการสร้างโปรแกรมเพื่อใช้ในการแก้ปัญหา โดยใช้ภาษา Visual Basic For Application บน Microsoft Excel

การออกแบบโปรแกรมที่ใช้ในการแก้ปัญหา โดยวิธีอาณานิคมมดมี 2 วิธี ที่ใช้ คือ การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม โดยได้ทำการทดสอบปัญหา 3 ระดับ คือ ปัญหาขนาดเล็ก ปัญหาขนาดกลาง และปัญหาขนาดใหญ่ ซึ่งในการทดสอบหาประสิทธิภาพของวิธีที่ใช้ในการปรับค่าฟีโรโมนเพื่อค้นหาคำตอบของปัญหาขนาดต่างๆ และมีการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของแต่ละวิธี จากการศึกษาสามารถสรุปได้ว่า ค่าใช้จ่ายต่ำสุดของการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ ขนาดเล็กให้ค่าคำตอบดีกว่า กลางแบบระยะทางรวมดีกว่า และขนาดใหญ่แบบคู่ให้คำตอบที่ดีกว่าและค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด ขนาดเล็กดีกว่า กลางรวมดีกว่า และขนาดใหญ่แบบระยะทางรวมให้ค่าคำตอบดีกว่า

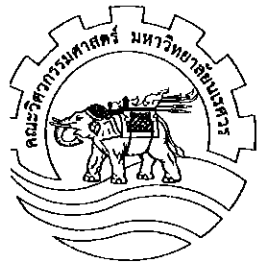
**Project title** Solving VRP to Minimize Total Cost By Ant Colony Optimization  
**Name** Miss Tunyakan Saengkam ID. 56361266  
Miss Sarinya Taawinta ID. 56361662  
Miss Apantree Jiengkongkho ID. 56361778  
**Project advisor** Asst.Prof.Dr. Kwanniti Khammuang  
**Major** Industrial Engineering  
**Department** Industrial Engineering  
**Academic year** 2017

---

### Abstract

The research aims to solve the vehicle routing problem of the vehicle which considers the load of goods on vehicles with the objective of minimizing total cost transportation which consist of fixed cost, variable cost, loading cost and penalty cost. Ant Colony Optimization algorithm (ACO) are proposed for solving the problem. A computer application for solving the problem by ACO is developed by Visual Basic for application Microsoft Excel.

Ant Colony Optimization algorithm (ACO) have use two pheromone updating method, distance pheromone adjustment and total distance pheromone adjustment. The algorithm have been tested on three sized problem namely comprised small problem, medium problem and large problem to problem namely. Performance of the methods in pheromone adjustment in evaluate. Form the It results, can be concluded that the performance of the double distance pheromone adjustment was better than the total distance pheromone adjustment.




## ใบรับรองปริญญาโท

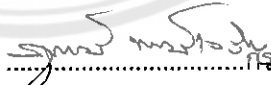
ชื่อหัวข้อโครงการ การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสำหรับยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่าย  
รวมที่ต่ำที่สุดโดยวิธีฮิวริสติกมมด

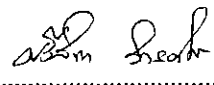
ผู้ดำเนินโครงการ นางสาวธัญกานต์ แสงคำ รหัส 56361266  
นางสาวสรินยา ท้าวอินทร์ดี รหัส 56361662  
นางสาวอภิญณี เจียงกองโค รหัส 56361778

ที่ปรึกษาโครงการ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญนิตี คำเมือง  
สาขาวิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ภาควิชา วิศวกรรมอุตสาหกรรม  
ปีการศึกษา 2559

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญาโทฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง  
ของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหกรรม

  
.....ที่ปรึกษาโครงการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ขวัญนิตี คำเมือง)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กฤษณ์ พงษ์เจริญ)

  
.....กรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ศรีสังจา วิทยศักดิ์)

# สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญาโท.....	ก
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ (Abstract).....	ค
กิตติกรรมประกาศ.....	ง
สารบัญ.....	จ
สารบัญตาราง.....	ฉ
สารบัญรูปภาพ.....	ณ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญโครงการ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	2
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs).....	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome).....	2
1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ.....	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ.....	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินงาน.....	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	5
2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	5
2.1.1 นิยามการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	5
2.1.2 วัตถุประสงค์การจัดการขนส่ง.....	9
2.2 การจัดกลุ่มเงื่อนไขของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	9
2.2.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า.....	10
2.2.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา.....	10
2.2.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง.....	10
2.2.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น.....	11
2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาให้นักบรรทุก.....	11
2.4 วิธีการแก้ปัญหาของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	17
2.4.1 วิธีการแมนตรง.....	17
2.4.2 วิธีการฮิวริสติก.....	17

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
2.4.3 วิธีเมตาฮีริสติก.....	17
2.4.4 การจำลองแบบปัญหา.....	18
2.4.5 การแบ่งวิธีเมตาฮีริสติก.....	18
2.5 การหาคำตอบโดยใช้วิธีอานานิคมมด.....	19
2.5.1 พฤติกรรมการหาอาหารของมด.....	19
2.5.2 วิธีการพัฒนาหาคำตอบระบบอานานิคมมด.....	21
2.6 การออกแบบการทดลอง.....	38
2.6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง.....	38
2.6.2 การออกแบบการทดลองค่าพารามิเตอร์.....	39
2.7 โปรแกรมภาษา VBA.....	39
<b>บทที่ 3 วิธีดำเนินโครงการ.....</b>	<b>40</b>
3.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	41
3.2 ศึกษาทฤษฎีและการหาคำตอบโดยวิธีอานานิคมมด.....	42
3.3 เลือกปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่สนใจ.....	42
3.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง.....	42
3.3.2 เงื่อนไข.....	42
3.4 ศึกษาโปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel.....	43
3.5 การพัฒนาวิธีอานานิคมมด.....	44
3.6 เขียนโปรแกรม VBA เพื่อแก้ปัญหา VRP โดยวิธีอานานิคมมด.....	45
3.7 ทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีอานานิคมมด.....	45
3.8 การทดลองโปรแกรม.....	45
3.9 วิเคราะห์และสรุปผล.....	48
<b>บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงการ.....</b>	<b>49</b>
4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ.....	49
4.2 วิธีการหาคำตอบ.....	51
4.2.1 การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	51
4.2.2 การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	54
4.3 การซ่อมแซมคำตอบ.....	54

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.4 การพัฒนาและการประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด.....	56
4.5 การใช้งานของโปรแกรมและการค้นหาคำตอบ.....	59
4.5.1 การเริ่มเปิดโปรแกรม.....	59
4.5.2 แสดงการ Input ข้อมูล.....	60
4.5.3 การกรอกค่าบน User Form.....	60
4.5.4 การรันโปรแกรม.....	61
4.5.5 แสดงผลเมื่อรันโปรแกรมเสร็จ.....	61
4.5.6 แสดงค่าคำตอบ.....	61
4.6 ผลการทดสอบโปรแกรมของฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนักเพิ่มความจ ยานพาหนะ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	62
4.6.1 ผลการทดสอบโปรแกรมวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1.....	65
4.6.2 ผลการทดสอบโปรแกรมวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1.....	95
4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดสอบฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนัก เพิ่มความจยานพาหนะ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	125
4.7.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	126
4.7.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	129
4.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	132
4.7.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	135
4.7.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	138
4.7.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	141
4.7.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1).....	144



## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.7.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	147
4.7.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	150
4.7.10 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	153
4.7.11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	156
4.7.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	159
4.7.13 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนัก เต็มความจุยานพาหนะ	162
4.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดสอบฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนัก ตามความต้องการของลูกค้า (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	163
4.8.1 ผลการทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดลองในวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	163
4.8.2 ผลการทดสอบโปรแกรมและวิเคราะห์ผลการทดลองในวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	194
4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดสอบฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนัก เต็มความจุตามความต้องการของลูกค้า	224
4.9.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	225
4.9.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	228
4.9.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	231
4.9.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	234
4.9.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)	237

## สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.9.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	240
4.9.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	243
4.9.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	246
4.9.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	249
4.9.10 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	252
4.9.11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	255
4.9.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับคู้พีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	258
4.10 แสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย.....	261
4.11 การคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของโปรแกรม.....	267
บทที่ 5 บทสรุปและข้อเสนอแนะ.....	281
5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ.....	281
5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงการ.....	283
5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา.....	283
5.4 ข้อเสนอแนะ.....	283
เอกสารอ้างอิง.....	284
ภาคผนวก ก โจทย์ที่ใช้ในการรันโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะ ที่พิจารณาหน้านักบรรทุก โดยวิธีอานานิคมมด.....	285
ภาคผนวก ข โจทย์ที่ใช้ในการรันโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะ ที่พิจารณาหน้านักบรรทุก โดยวิธีอานานิคมมด.....	317

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

ประวัติผู้ดำเนินโครงการ.....

339



## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงการ.....	4
2.1 ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมือง.....	7
2.2 ชุดคำตอบที่เป็นไปได้.....	7
2.3 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย.....	8
2.4 ระยะทางของเส้นทางการขนส่งจากจุด 0-5.....	8
2.5 ระยะทางการขนส่งสินค้า.....	13
2.6 แสดงข้อมูลการส่งสินค้าให้ลูกค้า.....	13
2.7 รถแต่ละประเภทสามารถบรรทุกสินค้า.....	13
2.8 ระยะห่างเมืองระหว่างเมืองแต่ละเมือง.....	20
2.9 ปริมาณพีโรโมนของแต่ละเส้นทาง.....	21
2.10 ระยะทางเชื่อมระหว่างเมืองแต่ละเมือง.....	23
2.11 ค่า Parameter ต่างๆ.....	23
2.12 ค่าพีโรโมนเริ่มต้น.....	24
2.13 ค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างเมือง.....	24
2.14 ค่าความน่าสนใจ รอบที่ 1.....	25
2.15 ผลสรุปการเลือกเส้นทางของมดแต่ละตัว รอบที่ 1.....	30
2.16 พีโรโมนหลังจากการระเหยร้อยละ 2 รอบที่ 1.....	30
2.17 ผลการอัปเดตค่าพีโรโมนในเส้นทาง 1-3-2-5-4-1.....	30
2.18 ระดับค่าพีโรโมนที่ใช้วนในรอบต่อไป.....	31
2.19 ค่าความน่าสนใจ รอบที่ 2.....	32
2.20 ผลสรุปการเลือกเส้นทางของมดแต่ละตัว รอบที่ 2.....	37
2.21 การออกแบบทดลองค่าพารามิเตอร์.....	39
3.1 ตัวแทนคำตอบของปัญหาอาณานิคมมด.....	44
3.2 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดเล็ก.....	45
3.3 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดเล็ก.....	46
3.4 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดกลาง.....	46
3.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดกลาง.....	46
3.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดใหญ่.....	47
3.7 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดใหญ่.....	47
3.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์.....	48
4.1 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละคน.....	50



## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.18 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	112
4.19 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	115
4.20 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	118
4.21 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)	122
4.22 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่	162
4.23 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม	162
4.24 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	163
4.25 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	166
4.26 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	170
4.27 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	173
4.28 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	177
4.29 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	180
4.30 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	183
4.31 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	187
4.32 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (เป้าประสงค์ 2)	190
4.33 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีอาณานิคมมต โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2)	194

## สารบัญญัตราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.34 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	197
4.35 แสดงผลของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	201
4.36 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	204
4.37 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	207
4.38 แสดงผลของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	211
4.39 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	214
4.40 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	217
4.41 แสดงผลของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม (เป้าประสงค์ 2).....	221
4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ได้จากวิธีอาณานิคมมดแบบการปรับค่าฟีโรโมน ระยะทางคู่และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1.....	261
4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดที่ได้จากวิธีอาณานิคมมดแบบการปรับค่าฟีโรโมน ระยะทางคู่และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1.....	262
4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น แบบฟังก์ชัน เป้าประสงค์ 1.....	263
4.45 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ได้จากวิธีอาณานิคมมดแบบการปรับค่าฟีโรโมน ระยะทางคู่และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2.....	263
4.46 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดที่ได้จากงานวิจัยอาณานิคมมด แบบการปรับค่า ฟีโรโมนระยะทางคู่และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2.....	264
4.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น โดยฟังก์ชัน เป้าประสงค์ 2.....	265
4.48 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำสุดที่ได้จากวิธีอาณานิคมมดแบบการปรับค่าฟีโรโมน ระยะทางคู่และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 และ เป้าประสงค์ 2.....	266

## สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
4.49 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทก์ ขนาดกลาง โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังชั้นเป่าประสงค์ 1)	267
4.50 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทก์ ขนาดกลาง โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังชั้นเป่าประสงค์ 1)	270
4.51 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทก์ ขนาดกลาง โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังชั้นเป่าประสงค์ 2)	274
4.52 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทก์ ขนาดกลาง โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังชั้นเป่าประสงค์ 2)	277
5.1 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าที่ใช้จ่ายของระยะทางคู่	281
5.2 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าที่ใช้จ่ายของระยะทางรวม	282
ก.1 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 1	286
ก.2 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 1	286
ก.3 แสดงผลจากการรันโปรแกรมโจทก์ข้อที่ 1	287
ก.4 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 2	294
ก.5 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 2	294
ก.6 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 3	295
ก.7 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดเล็กข้อที่ 3	296
ก.8 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 1	297
ก.9 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 1	297
ก.10 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 2	299
ก.11 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 2	299
ก.12 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 3	301
ก.13 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดกลางข้อที่ 3	302
ก.14 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 1	304
ก.15 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 1	304
ก.16 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 2	308
ก.17 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 2	308
ก.18 ข้อมูลพาหนะของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 3	312
ก.19 ข้อมูลลูกค้าของโจทก์ขนาดใหญ่ข้อที่ 3	312



## สารบัญรูปลูกภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 แสดงเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ.....	6
2.2 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถคันที่ 1.....	8
2.3 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถคันที่ 2.....	9
2.4 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1.....	14
2.5 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2.....	15
2.6 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3.....	15
2.7 พฤติกรรมในการหาอาหารของมด.....	19
2.8 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1).....	25
2.9 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 3 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1).....	26
2.10 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1).....	27
2.11 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1).....	28
2.12 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1).....	29
2.13 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 4 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1).....	29
2.14 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 2).....	32
2.15 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 2).....	33
2.16 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 4 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2).....	34
2.17 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2).....	35
2.18 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 5 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2).....	36
2.19 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 3 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2).....	36
2.20 แสดงรหัสเทียบของวิธีการอาณานิคมมด.....	37
3.1 ฝั่งงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ.....	40
3.2 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1.....	43
3.3 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	44
4.1 แสดงตัวแทนคำตอบ.....	50
4.2 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ.....	50
4.3 ตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมด.....	51
4.4 ตัวอย่างการสุ่มเลือกลูกค้าแต่ละคน.....	52
4.5 การสุ่มเลือกตัวเลข 0-1 จากวงกลมรูเล็ต.....	53

## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.6 ตัวอย่างการเลือกเส้นทางของมดที่ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของรอบนั้น	53
4.7 ตัวอย่างการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางเป็นคู่	54
4.8 ตัวอย่างการเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด	54
4.9 การซ่อมแซมคำตอบ	55
4.10 แสดงการทำงานของวิธีอาณานิคมมด สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง ยานพาหนะ	56
4.11 การเริ่มต้นเปิดโปรแกรมขึ้นมาจากหน้าต่าง Excel	59
4.12 คลิกปุ่ม Add	60
4.13 กรอกรอกค่าพารามิเตอร์ การเลือกการปรับค่าพีโรโมนและการเลือกขนาดของปัญหา	60
4.14 แสดงผลเมื่อกรอกรอกค่าพารามิเตอร์เสร็จ	61
4.15 แสดงผลเมื่อโปรแกรมรันเสร็จเรียบร้อยแล้ว	61
4.16 แสดงผลโปรแกรมรัน คำตอบเสร็จแล้ว	62
4.17 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	126
4.18 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	127
4.19 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	128
4.20 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	128
4.21 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	129
4.22 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	130
4.23 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	131
4.24 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	131
4.25 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	132

## สารบัญรูปรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.26 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	133
4.27 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	134
4.28 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	134
4.29 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	135
4.30 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	136
4.31 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	137
4.32 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	137
4.33 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	138
4.34 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	139
4.35 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	140
4.36 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	140
4.37 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	141
4.38 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	142
4.39 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	143
4.40 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่.....	143

## สารบัญรูปภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.41 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	144
4.42 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	145
4.43 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	146
4.44 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	146
4.45 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	147
4.46 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	148
4.47 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	149
4.48 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	149
4.49 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	150
4.50 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	151
4.51 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	152
4.52 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	152
4.53 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	153
4.54 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	154
4.55 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	155

## สารบัญรูปลภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.56 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	155
4.57 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	156
4.58 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	157
4.59 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	158
4.60 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	158
4.61 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	159
4.62 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	160
4.63 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	161
4.64 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม.....	161
4.65 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	225
4.66 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	226
4.67 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	226
4.68 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	227
4.69 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	228
4.70 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	229





## สารบัญรูปร่างภาพ (ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.101 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	251
4.102 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	253
4.103 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	254
4.104 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	254
4.105 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	255
4.106 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	256
4.107 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	257
4.108 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	257
4.109 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	258
4.110 การแสดงวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	259
4.11 แสดง Main Effects Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	260
4.112 แสดง Interaction Plots ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2).....	260
ก.1 ตัวแทนคำตอบของการคำนวณของโจทย์ข้อที่ 1.....	288
ก.2 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 0-1.....	290
ก.3 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 1-2.....	290
ก.4 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 2-17.....	291
ก.5 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 17-14.....	291
ก.6 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 14-19.....	291
ก.7 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 19-24.....	292



## สารบัญรูปร่าง (ต่อ)

รูปที่	หน้า
ก.8 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 24-0.....	292
ก.9 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 0-8.....	293
ก.10 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 8-10.....	293
ก.11 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 ประเภทที่ 1 จากลูกค้า 10-0.....	293
ข.1 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม Add ในหน้าแรกของโปรแกรม.....	318
ข.2 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม Run ในหน้าแรกของโปรแกรม.....	318
ข.3 การทำงานของ User Form Data.....	321
ข.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ใน User Form.....	323
ข.5 การประกาศตัวแปร.....	324
ข.6 การสร้างพีโรโมนเริ่มต้น.....	328
ข.7 การหาค่าส่วนกลับของระยะทาง.....	329
ข.8 การวนตามจำนวนรอบ.....	330
ข.9 การหาค่าความน่าจะเป็น.....	331
ข.10 การตั้งค่าความน่าจะเป็นให้กับลูกค้าที่ถูกเลือกในแต่ละคน.....	333
ข.11 การหาความน่าจะเป็นให้ 0 อีกรู้.....	334
ข.12 การสร้างเส้นทางเดินทางด้วยวงกลมรูเล็ท.....	334
ข.13 การสุ่มหาเส้นทางตั้งแต่ 1-0.....	335
ข.14 แสดงการหาค่าใช้จ่าย.....	336
ข.15 การหามดที่ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด.....	337
ข.16 การแสดงการอัปเดตพีโรโมน.....	338
ข.17 การแสดงเพิ่มพีโรโมนในเส้นทางที่สั้นที่สุดแบบระยะทางคู่.....	338
ข.18 การแสดงเพิ่มพีโรโมนในเส้นทางที่สั้นที่สุดแบบระยะทางรวม.....	338
ข.19 การเลือกค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในแต่ละรอบ.....	338

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงการ

ในปัจจุบันการขนส่งของประเทศไทยถือว่าเป็นปัจจัยที่มีบทบาทสำคัญ โดยเฉพาะการขนส่งสินค้าเริ่มมีทิศทางที่ชัดเจนขึ้น โดยทั้งหน่วยงานรัฐและเอกชนต่างก็พยายามที่จะพัฒนาระบบการขนส่งสินค้าให้มีศักยภาพที่ดีขึ้น เพื่อความพึงพอใจของลูกค้า ดังนั้น บริษัทจึงต้องมีการจัดการด้านการขนส่งที่ดี และมีประสิทธิภาพสูงสุด ซึ่งการขนส่งปัจจุบันนั้นนิยมใช้รถยนต์ และรถบรรทุกในการขนส่งสินค้าเป็นหลัก สถานะเศรษฐกิจที่น้ำมันแพง จึงส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งอย่างมาก จึงต้องมีการจัดเส้นทางการเดินทางให้มีความคุ้มค่าที่สุด

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) เป็นปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินทางขนส่งที่บริษัทจะต้องหาวิธีการลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า ซึ่งเส้นทางขนส่งมีการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้า โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้ามีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันไป ต้องมีการวางแผนการใช้รถในการขนส่งจำนวนน้อยที่สุด สามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ครบถ้วนทุกราย ภายใต้เงื่อนไขที่จำกัดไว้เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งประหยัดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด การจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่ยังยากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องหลายประการ เช่น จำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ขีดจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ และจำนวนศูนย์กระจายสินค้า เป็นต้น ในปัจจุบันน้ำมันมีราคาสูงขึ้นส่งผลต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มขึ้น และเมื่อมีการบรรทุกสินค้าเป็นจำนวนมากจึงมีผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายในการขนส่งเพิ่มขึ้น บริษัทจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนการจัดการเส้นทางขนส่ง และนำนักบรรทุกสินค้าให้มีประสิทธิภาพ ถ้าบริษัทวางแผนการจัดการไม่ดีหรือไม่มีประสิทธิภาพนั้นจะทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้น ดังนั้น คณะผู้จัดทำโครงการจึงได้เลือกปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้มาทำ โดยจะนำหลักการของการอาณานิคมมด ซึ่งเป็นวิธีหนึ่งในการแก้ปัญหาการหาค่าที่เหมาะสมมาใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony System) เป็นการเลียนแบบพฤติกรรมกรรมการหาอาหารของมด ซึ่งมดจะอาศัยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) มดแต่ละตัวจะมีการสุ่มเส้นทางจากฟีโรโมนเพื่อเดินทางไปยังแหล่งอาหาร โดยมดที่เดินทางระยะทางสั้นกว่าจะถึงเร็วกว่ามดที่เดินทางระยะทางไกลกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินทางตามกลิ่นของฟีโรโมนที่แรงกว่า พฤติกรรมของมดดังกล่าว ถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนในการแก้ปัญหาการหาเชิงจัดการ เพื่อพัฒนาไปหาคำตอบที่ดีที่สุด

## 1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

1.2.1 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีอาณานิคม

1.2.2 หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกโดยวิธีอาณานิคม

## 1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Outputs)

1.3.1 โปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก

1.3.2 ผลการทดลองที่หาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุดในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก

## 1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

ประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก และค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของวิธีอาณานิคม ที่ใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งน้อยที่สุดตามเงื่อนไขที่กำหนด

## 1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงการ

1.5.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะพิจารณาน้ำหนัก โดยใช้วิธีการอาณานิคม (Ant Colony Optimization : ACO) ที่ทำการศึกษาไว้วัตถุประสงค์ เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้น้ำหนัก (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Variable Cost) ค่าใช้จ่ายที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา (Penalty Cost)

1.5.2 รายละเอียดของลูกค้านั้นประกอบด้วย ตำแหน่งของลูกค้า ปริมาณความต้องการของลูกค้า กรอบเวลาในการรับสินค้า (สามารถรู้ล่วงหน้าทุกราย)

1.5.3 ปริมาณความต้องการของลูกค้าจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะแต่ละประเภท

1.5.4 ความต้องการสินค้ารวมน้อยกว่าความจุรวม

1.5.5 มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว และมีสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด

1.5.6 ยานพาหนะทุกคันจอดอยู่ที่คลังสินค้า ยานพาหนะจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา และยานพาหนะไม่จำเป็นต้องถูกใช้ทุกคัน

1.5.7 ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าในเวลาเริ่มต้นของวันทำงาน และจะกลับมาที่คลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ

1.5.8 เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าไปแล้ว เมื่อมีการสั่งของจากลูกค้าใหม่เข้ามา ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องกลับไปที่คลังสินค้าเพื่อบรรทุกสินค้าเพิ่ม แต่ยานพาหนะสามารถพิจารณาให้บริการสินค้าใหม่โดยใช้สินค้าที่บรรจุอยู่บนรถได้เลย

1.5.9 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายมีความสมมาตรกัน

1.5.10 เวลาที่ใช้สำหรับขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไม่ขึ้นอยู่กับจำนวนสินค้าที่ลูกค้าต้องการ

1.5.11 ไม่คำนึงถึงเรื่องการจัดวางสินค้า และสินค้าจะไม่ได้รับความเสียหายขณะขนส่ง

1.5.12 ลูกค้าแต่ละรายจะมีกรอบเวลาในการขนส่งสินค้า

1.5.13 ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าก่อนเวลาการรับสินค้า ยานพาหนะจำเป็นต้องรอคอยให้ถึงช่วงเริ่มต้นของกรอบเวลาลูกค้ารายนั้นก่อนจึงจะสามารถส่งของได้

1.5.14 ถ้าหากยานพาหนะไปส่งของถึงลูกค้าเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะสามารถรับสินค้าได้ (แต่จะมีค่าปรับเกิดขึ้น)

1.5.15 ขนาดและจำนวนยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งทราบล่วงหน้า

1.5.16 ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก และวิธีอานานิคม มดที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใช้ทดลองกับโจทย์ปัญหาที่ได้จำลองไว้โดยแบ่งออกเป็น 3 ขนาด คือ ขนาดเล็ก มีลูกค้าจำนวน 25 ราย ขนาดกลาง มีลูกค้าจำนวน 50 ราย และขนาดใหญ่ มีลูกค้าจำนวน 100 ราย โดยมีโจทย์ทั้งหมด 9 ข้อ ขนาดของโจทย์เล็ก 3 ข้อ ขนาดของโจทย์กลาง 3 ข้อ และขนาดของโจทย์ใหญ่ 3 ข้อ

1.5.17 ใช้ภาษา Visual Basic Application บน Microsoft Excel ในการเขียนโปรแกรม แก้ปัญหาการจัดเส้นทาง

## 1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงการ

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

## 1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงการ

เดือนสิงหาคม 2559 ถึง เดือนเมษายน 2560



## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

ในการดำเนินโครงการการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกโดยใช้วิธีอาณานิคมมด มีการใช้หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

#### 2.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP)

เป็นปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่บริษัท จะต้องหาวิธีการลดต้นทุนรวมทั้งหมดในการขนส่งสินค้าให้แก่ กลุ่มลูกค้าภายใต้เงื่อนไขที่จำกัดไว้ เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งประหยัดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

##### 2.1.1 นิยามปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

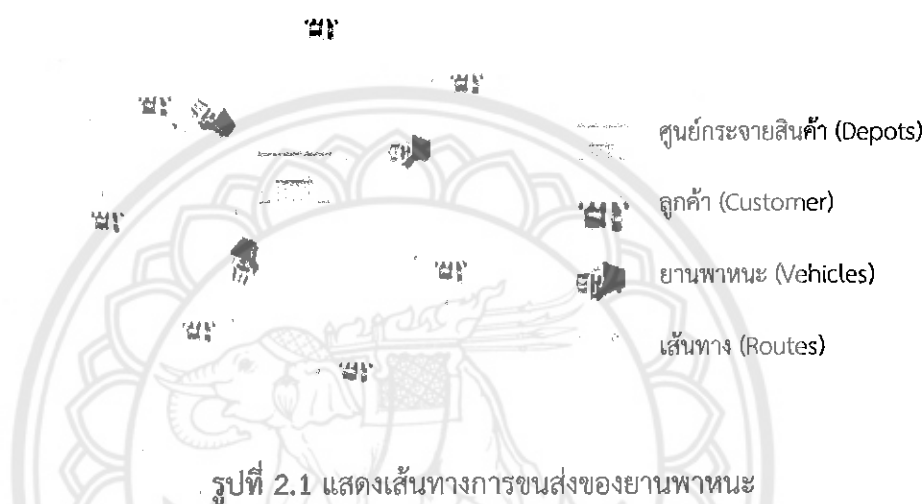
ธารชดา พันธนิกุล. (2551). ได้นิยามของ VRP ไว้ว่า การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าตามจุดต่างๆ เพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจผู้ใช้ระบบ โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว มีรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางรถแบบมีข้อจำกัดเรื่องความสามารถในการบรรทุกโดยพิจารณาเรื่องน้ำหนักภายใต้เงื่อนไขของความจุรถ โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด และได้กำหนดองค์ประกอบของปัญหาว่าลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะโดยทั่วไปแล้วจะประกอบไปด้วย

2.1.1.1 กลุ่มลูกค้า (Set of Customers) ลูกค้าแต่ละรายถูกกำหนดให้อยู่กระจายในจุด (Node) ต่างๆ และมีความต้องการสินค้าจำนวนและเวลาที่ต่างกัน

2.1.1.2 ยานพาหนะ (Vehicle) มีไว้สำหรับการขนส่งสินค้าและบริการแก่ลูกค้า ต้องเดินทางจากคลังสินค้าไปถึงลูกค้าแต่ละกลุ่ม โดยคำนึงถึงค่าใช้จ่ายในการเดินทาง วางแผนการขนส่งในการเลือกประเภท และจำนวนของยานพาหนะ ซึ่งจะมีข้อจำกัดในการบรรทุก อาจกำหนดเป็นจำนวนชิ้นของสินค้า หรือน้ำหนักของสินค้าที่สามารถบรรทุกได้สูงสุดต่อยานพาหนะนั้นๆ

2.1.1.3 ศูนย์กระจายสินค้า (Depot) เป็นโรงงานหรือสถานที่เก็บสินค้าถูกกำหนดให้เป็นจุดเริ่มต้น และจุดสิ้นสุดในการเดินทางซึ่งพาหนะทุกคันต้องออกเดินทางจากจุดนี้ไปให้บริการลูกค้ายังจุดต่างๆ และกลับเข้าสู่จุดเดิมเมื่อให้บริการลูกค้าครบถ้วนแล้ว ซึ่งในปัญหาที่ซับซ้อนอาจกำหนดให้มีคลังสินค้าหลายจุด เพื่อให้บริการลูกค้าหลายกลุ่มได้

2.1.1.4 เส้นทาง (Route) ต้องคำนึงถึงระยะทางการขนส่ง มีการจัดลำดับก่อน - หลัง ในการขนส่งสินค้าการกำหนดเส้นทางของยานพาหนะเป็นการวางแผนเส้นทางการเดินทางในการขนส่ง ให้ลูกค้าแต่ละราย เพื่อให้มีต้นทุนต่ำที่สุดโดยลักษณะการเดินทางที่มีรถหลายคัน และเดินทางไปยัง ลูกค้าหลายๆ จุดโดยเริ่มจากจุดกระจายสินค้า ดังรูปที่ 2.1 ซึ่งใช้วิธีการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) มาช่วยกำหนดเส้นทางเดินทางที่สั้นที่สุด เพื่อลดต้นทุนการขนส่ง ลง โดยพิจารณาเงื่อนไขหรือข้อจำกัดต่างๆ เช่น จำนวนยานพาหนะในการขนส่งสินค้า ข้อจำกัดด้าน เวลา น้ำหนักในการบรรทุก และระยะทางการขนส่ง



วัตถุประสงค์ของปัญหานี้โดยส่วนใหญ่เพื่อการจัดเส้นทางในการขนส่งสินค้าให้มี ประสิทธิภาพมากที่สุดและต้นทุนต่ำที่สุด โดยพิจารณาน้ำหนักในการบรรทุกจำนวนเท่าไร รถแต่ละ คันส่งสินค้าให้กับลูกค้าใดบ้างและใช้เส้นทางใดบ้าง ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งมีลักษณะ คล้ายกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) คือ ต้องการ หาเส้นทางที่ทำให้การเดินทางไปยังลูกค้าทุกคนเกิดขึ้นด้วยค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดเช่นกัน เมื่อพนักงาน ขายนำรถขนส่งสินค้าไปส่งสินค้า เมื่อสินค้าที่บรรทุกไปหมดพนักงานขายก็จะต้องเดินทางกลับมาที่เมือง เริ่มต้นที่มีสินค้าอยู่และไปส่งสินค้าที่เหลือ ก็จะเกิดปัญหาการจัดเส้นทางของการขนส่งจากปัญหาการ เดินทางของพนักงานขายเช่นเดียวกัน กล่าวอีกนัยหนึ่งปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) คือ ปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) ที่ต้องการหาระยะทางในการเดินทางน้อยที่สุด โดยมีศูนย์กระจายสินค้า แห่งเดียวและมียานพาหนะเพียงคันเดียว

ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) โดย พื้นฐานมักจะเป็นการพิจารณาระยะทางที่สั้นที่สุด โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว มีค่าความ ต้องการของลูกค้าที่แน่นอน ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา และมีรถจำนวนหนึ่งโดยรถจำนวนนั้นไม่พิจารณา ความจุ โดยต้องการหาระยะในการเดินทางที่สั้นที่สุด หรือมองอีกแง่ปัญหาการจัดเส้นทาง

ของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) มีลักษณะเหมือนปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) นั้นเอง สามารถแสดงได้ดังตัวอย่างที่ 2.1

ตัวอย่างที่ 2.1 รถขนส่งสินค้าออกเดินทางส่งสินค้าไปยังเมือง 4 เมือง โดยมีระยะทางดังตารางที่ 2.1 ให้จัดเส้นทางการเดินทางระยะที่สั้นที่สุด กำหนดให้เดินทางออกจากเมืองที่ 1 และกลับมายังเมืองที่ 1 และเมืองสุดท้ายต้องไม่เป็นเมืองที่ 2

ตารางที่ 2.1 ระยะทางระหว่างเมืองแต่ละเมือง (กิโลเมตร)

	1	2	3	4
1	0	12	10	15
2	12	0	20	8
3	10	20	0	13
4	15	8	13	0

คำตอบที่เป็นไปได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด คือ มีเส้นทางการเดินทางระยะที่สั้นที่สุดและการเดินทางออกจากลูกค้าคนที่ 1 และกลับมายังลูกค้าคนที่ 1 และลูกค้าสุดท้ายต้องไม่เป็นลูกค้าคนที่ 2 ซึ่งจะมีชุดคำตอบที่เป็นไปได้ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ชุดคำตอบที่เป็นไปได้

เส้นทางการเดินทาง	ระยะทางทั้งหมด (กิโลเมตร)
1-2-3-4-1	60
1-2-4-3-1	43
1-3-2-4-1	53
1-4-2-3-1	53

สรุป จากตารางที่ 2.2 เส้นทางการเดินทางรถขนส่งที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดและมีระยะทางที่สั้นที่สุดคือ เส้นทาง 1-2-4-3-1 มีระยะทางทางรวมทั้งหมดมีค่าเท่ากับ 43 กิโลเมตร

ตัวอย่างต่อไปนี้เป็นกรณีการพิจารณาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยมีศูนย์กระจายสินค้าแห่งเดียว มีค่าความต้องการของลูกค้าที่แน่นอน ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา และยังไม่มีการคิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง มีรถจำนวนหนึ่งโดยจำนวนรถขนส่งสินค้ามากกว่า 1 คัน โดยมีความจุเท่ากัน และมีระยะทางของเส้นทางการขนส่งเป็นแบบสมมาตร สามารถแสดงได้ ดังตัวอย่างที่ 2.2



ตัวอย่างที่ 2.2 รถขนส่งจำนวน 2 คัน ต้องเดินทางส่งสินค้าให้ลูกค้าจำนวน 5 ราย (กำหนดให้รถแต่ละคันสามารถบรรทุกได้ไม่เกิน 150 กิโลกรัม) โดยกำหนดความต้องการของลูกค้าแต่ละราย ดังตารางที่ 2.3 และกำหนดระยะทางของเส้นทางรถขนส่งจากจุด 0-5 ดังตารางที่ 2.4

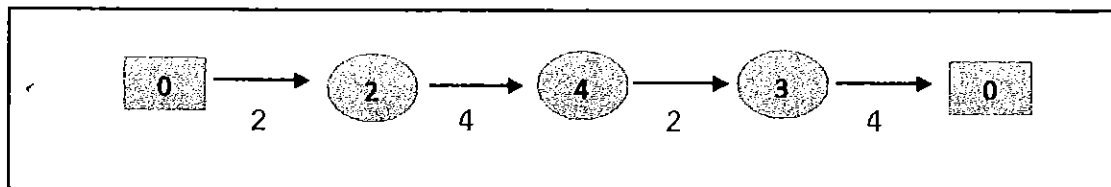
ตารางที่ 2.3 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (กิโลกรัม)
1	50
2	60
3	40
4	50
5	80

ตารางที่ 2.4 ระยะทางของเส้นทางรถขนส่งจากจุด 0-5

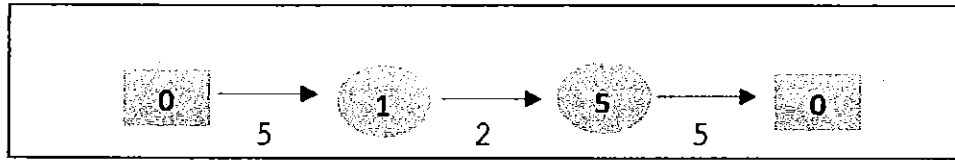
	0	1	2	3	4	5
0	-					
1	5	-				
2	2	8	-			
3	4	5	3	-		
4	7	8	4	2	-	
5	5	2	6	7	4	-

สมมติการเดินทาง 2-4-3-1-5 เป็นคำตอบที่ดีที่สุด ให้รถคันที่ 1 ส่งสินค้าลูกค้าคนที่ 2, 4 และ 3 ส่วนคันที่ 2 ส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 1 และ 5 ดังรูปที่ 2.2 และ 2.3



รูปที่ 2.2 แสดงเส้นทางรถคันที่ 1

จากรูปที่ 2.2 เป็นการแสดงเส้นทางการเดินทางของรถคันที่ 1 โดยมีจำนวนสินค้าที่ต้องบรรทุกของรถคันที่ 1 เท่ากับ  $60 + 40 + 50 = 150$  กิโลกรัม และระยะทางทั้งหมดของรถคันที่ 1 เดินทางขนส่ง คือ  $2 + 4 + 2 + 4 = 12$  กิโลเมตร



รูปที่ 2.3 แสดงเส้นทางการเดินทางของรถคันที่ 2

จากรูปที่ 2.3 เป็นการแสดงเส้นทางการเดินทางของรถคันที่ 2 โดยมีจำนวนสินค้าที่ต้องบรรทุกของรถคันที่ 2 เท่ากับ  $50 + 80 = 130$  กิโลกรัม และระยะทางทั้งหมดของรถคันที่ 2 เดินทางขนส่ง คือ  $5 + 2 + 5 = 12$  กิโลเมตร

ดังนั้น ระยะทางในการเดินทางขนส่งสินค้าทั้งหมดเท่ากับ 24 กิโลเมตร โดยไม่มีการละเมิดความจุของยานพาหนะ

### 2.1.2 วัตถุประสงค์การจัดการการขนส่ง

2.1.2.1 เพื่อลดจำนวนรถขนส่งสินค้า หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งแต่ละครั้ง เมื่อจำนวนรถลดลงความจำเป็นในการจ้างพนักงานขับรถเพิ่มจึงน้อยลงตามไปด้วย

2.1.2.2 เพื่อลดระยะทางในการเดินทาง หรือลดระยะเวลาในการเดินทาง เมื่อระยะทางและระยะเวลาลดลง ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผันที่เกิดขึ้นในการขนส่งแต่ละครั้งจะลดลงตามไปด้วย ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน ได้แก่ ค่าน้ำมันและค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกิดขึ้นบนเส้นทางนั้นๆ

2.1.2.3 เพื่อลดทั้งค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่และค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน คือ ลดทั้งจำนวนรถระยะเวลาและระยะทางในการเดินทาง ซึ่งถือว่าเป็นการลดค่าใช้จ่ายต้นทุนทั้งหมดให้น้อยที่สุด

2.1.2.4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานบริษัทอาจตั้งเป้าหมาย เมื่อมีการจัดการการขนส่งที่ดีด้วยจำนวนทรัพยากรที่เท่าเดิม ประสิทธิภาพการทำงานจะสูงขึ้น เช่น จำนวนรถบรรทุกและพนักงานเท่าเดิมแต่ส่งสินค้าให้ลูกค้าได้มากขึ้น เป็นต้น

2.1.2.5 เพื่อสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า บริษัทขนส่งอาจตั้งเป้าหมายว่าเมื่อจัดการการขนส่งได้ดีข้อตำหนิตีเดียจากลูกค้าจะลดน้อยลงจนหมดสิ้นไป ทำให้ลูกค้ามีความพอใจในบริการที่ได้รับและยังคงใช้บริการของบริษัทต่อไปในภายภาคหน้า

## 2.2 การจัดกลุ่มเงื่อนไขของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). เนื่องจากปัญหามีลักษณะของปัญหาที่มีความหลากหลายมากการจำแนกประเภทของ VRP สามารถจำแนกออกได้เป็น 4 กลุ่ม ดังนี้

### 2.2.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า

2.2.1.1 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าและแน่นอน (Deterministic Demand) ทราบค่า ความต้องการที่แน่นอนของลูกค้าโดยสังเขปก่อนและจัดเส้นทางการขนส่ง มีการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ยหรือค่าทางสถิติ

2.2.1.2 ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand) ต้องใช้เทคนิคในการแก้ปัญหาที่ต่างออกไป เพราะทราบค่าความต้องการของลูกค้าแต่มีความไม่แน่นอน

2.2.1.3 ขณะวางแผนจะไม่ทราบความต้องการของลูกค้าแต่จะทราบค่าเมื่อไปถึงลูกค้า

### 2.2.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows)

เวลาให้บริการลูกค้าหรือเวลาในการเดินทางจะมีผลต่อเส้นทางที่ได้จากการจัดด้วยวิธีการต่างๆ สามารถแบ่งกลุ่ม ได้ดังนี้

2.2.2.1 แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows) ทำการจัดเฉพาะเส้นทางในการเดินทางในการขนส่ง โดยไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลา

2.2.2.2 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows) มีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดสามารถส่งสินค้าช้าหรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง แต่ก็ยังมีผลต่อการจัดเส้นทาง

2.2.2.3 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Stick Time Windows) หากเดินทางผิดเส้นทาง จะทำให้ไม่สามารถบริการลูกค้าได้ตามกำหนด จึงต้องมีการคำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทางและระยะเวลาในการให้บริการแก่ลูกค้าอย่างเคร่งครัด

2.2.2.4 แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งและไม่เคร่ง (Mixed) ลูกค้าจะมีการเคร่งครัดเรื่องเวลารถบรรทุกที่มาถึงหรือเวลาในการให้บริการอย่างใดอย่างหนึ่ง

### 2.2.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon)

การจัดตามเวลาในการวางแผนการเดินทางในการวางแผนหนึ่งครั้งจะเน้นการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบครั้งเดียว

2.2.3.1 แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) จะวางแผนครั้งเดียวและมีการดำเนินการเช่นเดียวกันในทุกคาบเวลา

2.2.3.2 แบบหลายคาบเวลา (Multi Period) เป็นการวางแผนแบบหลายคาบเวลา และมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา

#### 2.2.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number Of Origin Points)

การวางแผนการจัดเส้นทางอาจจะมีจุดเริ่มต้นสามารถแบ่งกลุ่มได้ ดังนี้

2.2.4.1 มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single Origin/Depot) การเริ่มต้นของทุกเส้นทางจะเริ่มต้นจากจุดกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว

2.2.4.2 มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Origin/Depot) จะต้องวางแผนให้มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่งโดยทำการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กัน

### 2.3 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก (Vehicle Routing Problem with Loading Cost)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก เป็นรูปแบบของปัญหาที่เพิ่มเติมเงื่อนไขข้อจำกัดเพิ่มเติมเข้าไป คือ เป็นค่าใช้จ่ายที่รวมปัจจัยต่างๆ เพิ่มเข้ามา ประกอบด้วยระยะทางที่ขนส่ง, น้ำหนักที่บรรทุก, ความเร็วยานพาหนะ, สภาพถนน, อัตราการใช้เชื้อเพลิง และราคาน้ำมันเชื้อเพลิง เป็นปัจจัยทางตรง และตารางการจัดเส้นทาง ความเสื่อมสภาพของยานพาหนะ ค่าบำรุงรักษา และค่าจ้างพนักงาน เป็นปัจจัยทางอ้อม ดังนั้น จะต้องรู้ปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละราย และระยะทางในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า เพื่อนำมาคำนวณค่าใช้จ่ายต่อน้ำหนักต่อระยะทาง และนำมาคำนวณหาค่าใช้จ่ายรวม ดังสมการที่ 2.1

ค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด = ค่าใช้จ่ายคงที่จากการใช้ยานพาหนะ + ค่าใช้จ่ายจากระยะทาง + ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก + ค่าปรับจากการล่วงเวลา

$$\text{จากสมการค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด} = c_{d1}(d_{r_1} + d_{r_2} + \dots + d_{r_{m+1}}) + c_{g1} [(q_1 + q_2 + \dots + q_m) d_{r_1} + (q_2 + \dots + q_m) d_{r_2} + \dots + q_m d_{r_m}] + c_{v1} + c_p \quad (2.1)$$

(ที่มา : Tang et al. 2010)

กำหนดให้

$c_d$  = ค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่อระยะทาง เป็นค่าใช้จ่าย เช่น ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง, ค่าบำรุงรักษา เป็นต้น (บาท/กิโลกรัม)

$c_g$  = ค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าต่อน้ำหนักต่อระยะทาง (บาท/กิโลกรัม/กิโลเมตร)

$c_v$  = ค่าใช้จ่ายคงที่ในการใช้ยานพาหนะ เป็นรวมค่าใช้จ่าย เช่น ค่าจ้างพนักงาน, ค่าเสื่อมราคา,

ค่าขนถ่าย, ค่าต่อทะเบียน ค่าประกัน เป็นต้น (บาท/คัน)

$C_p$  = ค่าปรับ (บาท/ชม.)

$Q = \{q_1 + q_2 + \dots + q_m\}$  เขตความต้องการสินค้า (กิโลกรัม)

$A = \{r_1 + r_2 + \dots + r_m\}$  เขตเส้นทางระหว่างลูกค้า (กิโลเมตร)

$d_{r_i, i} \in \{1, 2, \dots, m+1\}$  ระยะทางของแต่ละเส้นทาง (กิโลเมตร)

ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องในการขนส่ง

2.3.1 ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) ได้แก่ ค่าจ้างพนักงาน

2.3.2 ค่าใช้จ่ายแปรผัน (Variable Cost) ได้แก่ ค่าน้ำมัน ค่าซ่อมบำรุง

2.3.3 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการบรรทุกน้ำหนักสินค้า (Loading) ได้แก่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกสินค้าที่ขึ้นอยู่กับระยะทาง

ตัวอย่างการจัดเส้นทางของยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) ที่จะแสดงต่อไปนี้จะจัดอยู่ในลักษณะความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน โดยมีความจุของยานพาหนะไม่เกินที่กำหนด มีจุดเริ่มต้นเป็นจุดเดียว และมีการคำนวณค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง ดังตัวอย่างที่ 2.3

ตัวอย่าง 2.3 กำหนดเงื่อนไขให้ศูนย์กระจายสินค้ามีแห่งเดียว รถขนส่งสินค้าเดินทางออกจากจุดกระจายสินค้าแล้วกลับมายังจุดเดิม รถมีหลายประเภทแต่ละประเภทมีการบรรทุกสินค้าไม่เท่ากัน รถแต่ละประเภทมีความเร็วไม่เท่ากันและมีความเร็วคงที่ตลอดการขนส่ง มีการคิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง (Variable Cost และ Loading Cost) ระยะทางการขนส่งสินค้าสมมาตรกัน

วัตถุประสงค์หาระยะทางที่สั้นที่สุดและหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งรวมทั้งหมด คือ ค่าใช้จ่ายแปรผันตามระยะทาง ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก และค่าใช้จ่ายในการปรับสินค้า โดยตัวอย่างนี้ไม่มีการหาค่าใช้จ่ายคงที่ของยานพาหนะ โดยมีข้อมูล ดังต่อไปนี้

บริษัทแห่งหนึ่งต้องส่งสินค้าให้ลูกค้าจำนวน 7 ราย โดยมีระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) ดังตารางที่ 2.5 แต่ละรายมีความต้องการแตกต่างกันโดยแสดงข้อมูลดังตารางที่ 2.6 และมีบริษัทเป็นจุดการกระจายสินค้า มีรถขนส่งสินค้า มี 3 ประเภท ประเภทละ 1 คัน แสดงข้อมูลดังตารางที่ 2.7 ซึ่งเวลาทำงานตั้งแต่ 8 ชั่วโมง 08.00 น. - 16.00 น. เป็นเวลาต่อเนื่องกัน

ตารางที่ 2.5 ระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร)

i/j	บริษัท	1	2	3	4	5	6	7
บริษัท	-							
1	20	-						
2	15	20	-					
3	30	15	30	-				
4	45	20	15	20	-			
5	30	10	30	20	15	-		
6	10	45	20	30	20	30	-	
7	20	10	10	30	45	20	15	-

ตารางที่ 2.6 แสดงข้อมูลการส่งสินค้าให้ลูกค้า

ลูกค้า	ความต้องการ สินค้า (ตัน)	กรอบเวลาจัดส่ง สินค้า	เวลาที่ใช้ในการขนถ่าย สินค้า	ค่าปรับ (บาท/นาฬิกา)
1	3	08.00 – 10.00 น.	30 นาที	10
2	2	09.00 – 12.00 น.	30 นาที	9
3	4	10.00 – 14.00 น.	1 ชั่วโมง	11
4	1	24 ชั่วโมง	2 ชั่วโมง	12
5	2	13.00 – 16.00 น.	1 ชั่วโมง	10
6	4	08.30 – 12.00 น.	30 นาที	10
7	3	09.00 – 12.00 น.	45 นาที	12

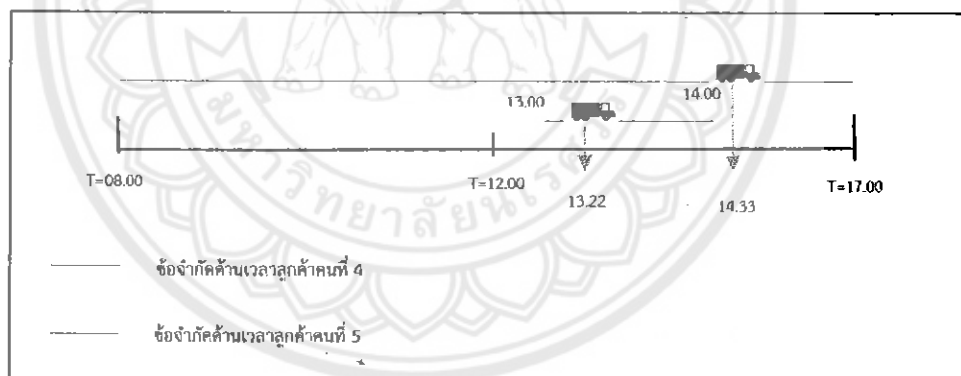
ตารางที่ 2.7 รถแต่ละประเภทสามารถบรรทุกสินค้า

ประเภทรถ	ขนาดบรรจุ (ตัน)	ความเร็วรถ (กิโลเมตร/ชั่วโมง)	Loading Cost (บาท)	ค่าน้ำมัน (บาท)
4 ล้อ	5	80	0.05	2
6 ล้อ	7	70	0.08	3
10 ล้อ	10	60	0.10	4

ยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง 0-5-4-0 ดังรูปที่ 2.4 รถขนขนสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าในเวลา 13.00 น. ไปลูกค้าคนที่ 5 มีความต้องการสินค้า 2 ตัน มีระยะทาง 30 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 22 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 13.22 น. ใช้เวลาในการขนส่งสินค้า 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดไว้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ ระยะทาง  $\times$  ค่าน้ำมัน (บาท) =  $30 \times 2 = 60$  บาท และคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) เท่ากับน้ำหนักบรรทุก  $\times$  ระยะทาง  $\times$  ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก  $3,000 \times 30 \times 0.05 = 4,500$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 5 เวลา 14.22 น. ไปลูกค้าคนที่ 4 มีความต้องการสินค้า 1 ตัน มีระยะทาง 15 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 11 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 4 เวลา 14.33 น. ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 2 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดไว้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง = ระยะทาง  $\times$  ค่าน้ำมัน (บาท) =  $15 \times 2 = 30$  บาท และคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) เท่ากับน้ำหนักบรรทุก  $\times$  ระยะทาง  $\times$  ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกในการเดินทาง  $1,000 \times 15 \times 0.05 = 750$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 4 เวลา 16.33 น. ไปยังศูนย์กระจายสินค้ามีระยะทาง 45 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 33 นาที ถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 17.06 น. มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 90 บาท ดังรูปที่ 2.4

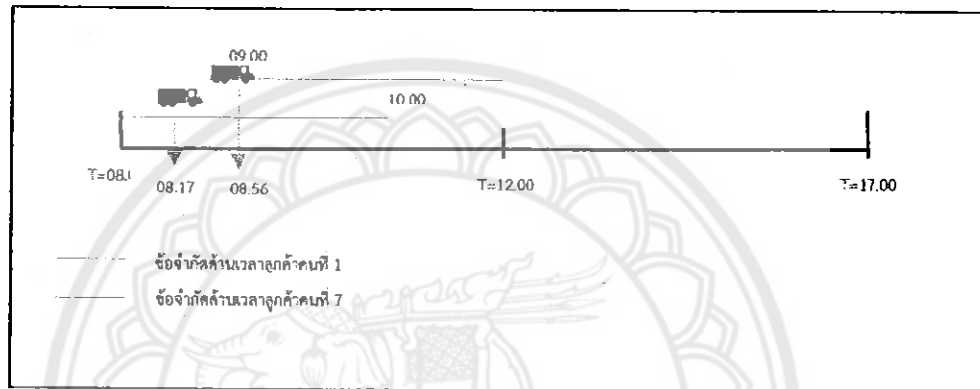


รูปที่ 2.4 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 1

ยานพาหนะคันที่ 2 มีเส้นทางการขนส่ง 0-1-7-0 แสดงดังรูปที่ 2.5 รถขนส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าในเวลา 08.00 น. ไปลูกค้าคนที่ 1 มีความต้องการสินค้า 3 ตัน มีระยะทาง 20 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 17 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 1 เวลา 08.17 น. ใช้เวลาในการขนส่งสินค้า 30 น. ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดไว้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 60 บาท และคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุกในการเดินทาง (Loading Cost)  $6,000 \times 20 \times 0.08 = 9,600$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 1 เวลา 08.47 น. ไปลูกค้าคนที่ 7 มีความต้องการสินค้า 3 ตัน มีระยะทาง 10 กิโลเมตร. ใช้เวลาในการเดินทาง 9 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 7 เวลา 08.56 น. ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 45 นาที ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทาง = 30 บาท และคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost)  $3,000 \times 10 \times 0.03 = 900$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 7 เวลา 09.45 น. ไปยังศูนย์กระจายสินค้ามีระยะทาง 20 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 17 นาที ถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 10.03 น. มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 60 บาท ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 2

ยานพาหนะคันที่ 3 มีเส้นทางการขนส่ง 0-6-2-3=0 แสดงดังรูปที่ 2.6 รถขนส่งสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าในเวลา 08.30 น. ไปลูกค้าคนที่ 6 มีความต้องการสินค้า 4 ตัน มีระยะทาง 10 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 10 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 6 เวลา 08.40 น. ใช้เวลาในการขนส่งสินค้า 30 นาที ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดไว้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 40 บาท และคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost)  $10,000 \times 10 \times 0.10 = 10,000$  บาท

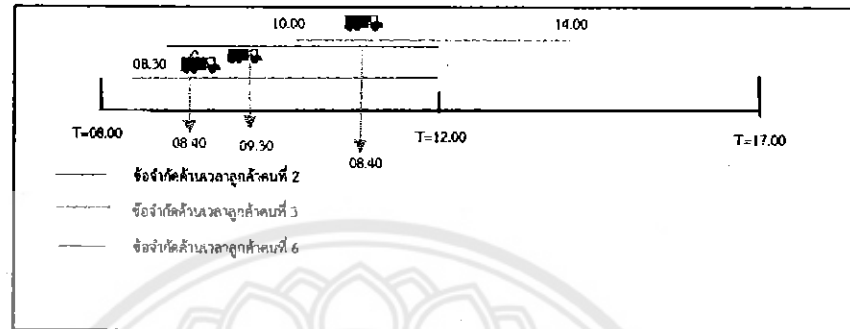
รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 6 เวลา 9.10 น. ไปยังลูกค้าคนที่ 2 มีความต้องการสินค้า 4 ตัน มีระยะทาง 20 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 20 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 2 เวลา 9.30 น. ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 30 นาที ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 80 บาท และมีการคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุกในการเดินทาง (Loading Cost)  $6,000 \times 20 \times 0.10 = 12,000$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 2 เวลา 10.00 น. ไปยังลูกค้าคนที่ 3 มีความต้องการสินค้า 2 ตัน มีระยะทาง 30 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 30 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 3 เวลา 10.30 น. ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนดให้มี



ในการเดินทางเท่ากับ 120 บาท และมีการคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุกในการเดินทาง (Loading Cost)  $2,000 \times 30 \times 0.10 = 6,000$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 3 เวลา 11.30 น. ไปยังศูนย์กระจายสินค้ามีระยะทาง 30 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 30 นาที ถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 12.00 น. มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 120 บาท ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 การขนส่งของยานพาหนะคันที่ 3

สรุป รถคันที่ 1 ใช้ระยะทางเดินทางรวม 90 กิโลเมตร และใช้เวลารวมทั้งหมด 4 ชั่วโมง 6 นาที มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม 5,430 บาท จำนวนค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) รวมทั้งหมดของรถคันที่ 1 เท่ากับ 5,250 บาท รถคันที่ 2 ใช้ระยะทางเดินทางรวม 50 กิโลเมตร และใช้เวลารวมทั้งหมด 1 ชั่วโมง 58 นาที มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม 10,650 บาท จำนวนค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) รวมทั้งหมดของรถคันที่ 2 เท่ากับ 10,500 บาท รถคันที่ 3 ใช้ระยะทางเดินทางรวม 90 กิโลเมตร และใช้เวลารวมทั้งหมด 3 ชั่วโมง 30 นาที มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวม 28,360 บาท จำนวนค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) รวมของรถคันที่ 3 เท่ากับ 28,000 บาท

เพราะฉะนั้น ใช้ระยะทางเดินทางรวมทั้งหมด 230 กิโลเมตร และใช้เวลารวมทั้งหมด 9 ชั่วโมง 34 นาที มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางรวมทั้งหมด 44,440 บาท จำนวนค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost) รวมทั้งหมดเท่ากับ 43,750 บาท

คำตอบที่เป็นไปได้สอดคล้องกับเงื่อนไขที่กำหนด คือ สามารถส่งสินค้าตามระยะเวลาที่กำหนด และไม่มีการละเมิดความจุของยานพาหนะ ซึ่งเป็นชุดคำตอบที่เป็นไปได้

## 2.4 วิธีการแก้ปัญหาของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

วิธีการแก้ปัญหาของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) ที่นิยมใช้กันสามารถแบ่งได้ ดังนี้

### 2.4.1 วิธีการแม่นยำตรง (Exact Method)

วิธีนี้จะใช้พื้นฐานจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงของ โปรแกรมจำนวนเต็มหรือวิธีการอื่นที่จะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุด ซึ่งการหาคำตอบโดยใช้วิธีในกลุ่มนี้จะใช้สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) จะใช้เวลาในการหาคำตอบนาน หรือบางครั้งหาคำตอบไม่ได้ในระยะเวลาที่กำหนด

### 2.4.2 วิธีการฮิวริสติก (Heuristic)

วิธีการฮิวริสติก (Heuristic) เป็นวิธีการที่ใช้เวลาน้อยกว่าวิธีการแบบแม่นยำตรง แต่ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด เนื่องจากวิธีฮิวริสติกเป็นวิธีที่ทำการทดลองค้นคว้าหา กฎด้วยตัวเอง โดยกฎที่ได้นี้อาจได้จากการใช้ผู้เชี่ยวชาญหรือได้จากการใช้วิธีลองผิดลองถูก ฮิวริสติก มักจะถูกใช้ในการแก้ปัญหาที่มีโครงสร้างไม่ตึก และสามารถใช้ในการหาทางแก้ปัญหาที่น่าพึงพอใจ สำหรับปัญหาที่ซับซ้อนหรือปัญหาที่มีโครงสร้างได้เร็วกว่า วิธีการฮิวริสติกเป็นระเบียบวิธีแบบอิสระที่สามารถสร้างกรรมวิธี หรือขั้นตอนใดๆ ให้ใช้งานและมีประสิทธิภาพใช้งานได้จริง ฮิวริสติกประเภทหนึ่งที่เรียกว่า เมตาฮิวริสติก

### 2.4.3 วิธีเมตาฮิวริสติก

เป็นชุดของลำดับขั้นการแก้ปัญหา (Algorithm) แบบฮิวริสติก ชนิดหนึ่งที่สามารถนำหลักการเดียวกันไปใช้แก้ปัญหาได้หลากหลายปัญหา ซึ่งในปัจจุบันวิธีการฮิวริสติกโดยอาศัยหลักการทางเมตาฮิวริสติกนี้ นิยมเป็นอย่างสูง เนื่องจากคำตอบที่ได้ให้ผลดีแก้ปัญหาได้รวดเร็วและใช้งานได้ง่าย โดย Blum and Roil. (2003). กล่าวว่าการเบื้องต้นของเมตาฮิวริสติก ดังนี้

2.4.3.1 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบวิธีในการหาคำตอบที่ดีภายในพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้

2.4.3.2 เมตาฮิวริสติกมีจุดประสงค์เพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงที่ดีที่สุด

2.4.3.3 วิธีการทางเมตาฮิวริสติกอาจจะมีทั้งแบบง่ายไม่ซับซ้อน เช่น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่หรือแบบที่ยุ่งยากซับซ้อนมากกว่า เช่น วิธีระบบมด (Ant System)

2.4.3.4 เมตาฮิวริสติกเป็นขั้นตอนการประมาณคำตอบ

2.4.3.5 เมตาฮิวริสติกอาจเกิดจากการรวมหลากหลายเทคนิค เพื่อค้นหาคำตอบที่ดีที่สุด ภายในพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้

2.4.3.6 เมตาฮิวริสติกมีระเบียบขั้นตอนมาตรฐานที่แน่นอน แต่ฮิวริสติกสำหรับปัญหาแต่ละปัญหาต้องดำเนินการตามขั้นตอนหลักของฮิวริสติกดั้งเดิม เช่น ประยุกต์ใช้วิธีระบบด (Ant System)

2.4.3.7 เมตาฮิวริสติกต้องสามารถใช้ได้กับปัญหาที่หลากหลาย

#### 2.4.4 การจำลองแบบปัญหา (Simulation)

ส่วนใหญ่จะใช้กับปัญหาที่มีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น

#### 2.4.5 การแบ่งวิธีเมตาฮิวริสติก

เนื่องจากงานวิจัยนี้เน้นหนักที่การหาคำตอบโดยวิธีเมตาฮิวริสติก จึงขออธิบายถึงการแบ่งประเภทเมตาฮิวริสติก ดังต่อไปนี้

2.4.5.1 เมตาฮิวริสติกแบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เช่น วิธีระบบด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการเลียนแบบการอบอุ่น เป็นต้น

2.4.5.2 เมตาฮิวริสติกแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น

2.4.5.3 เมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช่ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบออกมาเพียงหนึ่งคำตอบเท่านั้น เช่น วิธีเลียนแบบการอบอุ่น วิธีการค้นหาต้องห้าม และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ เป็นต้น

2.4.5.4 เมตาฮิวริสติกแบบใช้ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการค้นหาคำตอบจะได้คำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก เช่น วิธีระบบด วิธีทางพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ และวิธีการเกาะกลุ่มประชากรแบบกลุ่มอนุภาค เป็นต้น

2.4.5.5 เมตาฮิวริสติกแบบสมการเป้าหมายคงที่ คือ ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจมีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมายเพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น

2.4.5.6 เมตาฮิวริสติกแบบไม่มีการเปลี่ยนแปลงสมการเป้าหมาย เช่น วิธีระบบด วิธีทางพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ และวิธีเลียนแบบการอบอุ่น เป็นต้น

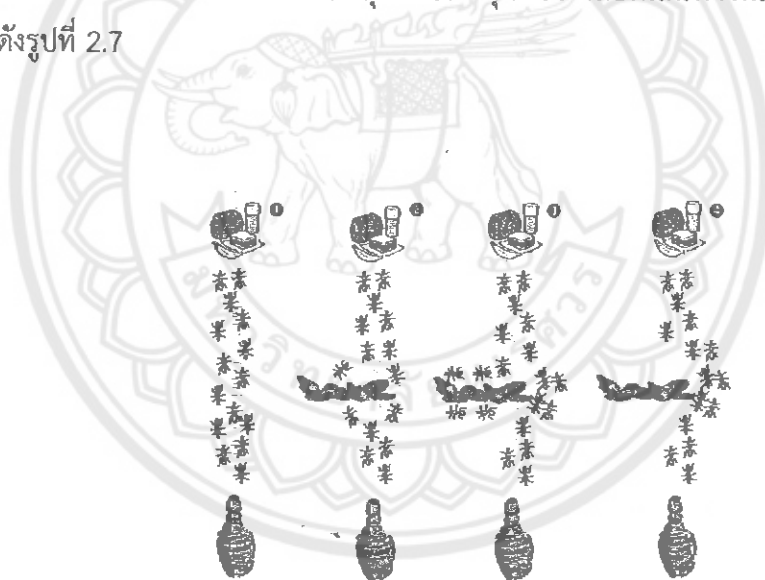
2.4.5.7 เมตาฮิวริสติกแบบมีการใช้หน่วยความจำ จะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป เช่น วิธีระบบด

2.4.5.8 เมตาฮิวริสติกแบบไม่ใช่หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ

## 2.5 การหาคำตอบโดยใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization)

การขนส่งและการกระจายสินค้าในปัจจุบันมีเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆมาเกี่ยวข้อง ซึ่งหนึ่งในนั้นคือ ข้อจำกัดด้านเวลาโดยบริษัทต้องส่งมอบสินค้าให้กับลูกค้าให้ทันตามเวลาที่กำหนด จึงต้องหาแนวทางในการแก้ปัญหาโดยนำแนวคิดการจัดเส้นทางการเดินทางรถมาพิจารณา โดยใช้อาณานิคมมดเป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาซึ่งมีรากฐานมาจากการศึกษาพฤติกรรมกลุ่มของมด ขั้นตอนวิธีนี้เหมาะกับการแก้ปัญหาการหาคำตอบการจัดเส้นทางในการขนส่ง ซึ่งเป็นปัญหาที่มีลักษณะเดียวกับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) มดจะเลือกเดินทางจากเมืองหนึ่งไปยังเมืองถัดไป โดยใช้ข้อมูลด้านระยะทางและปริมาณของฟีโรโมนที่ถูกทิ้งไว้บนเส้นทาง

วิธีระบบมดเป็นการหาคำตอบโดยการเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมด เป็นการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหารโดยมดจะอาศัยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เริ่มแรกมดจะมีการสุ่มเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเพื่อเดินทางไปยังแหล่งอาหาร ดังนั้นเส้นทางแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากัน มดที่เดินทางระยะทางสั้นกว่าจะถึงเร็วกว่ามดที่เดินทางระยะทางไกลกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินทางตามกลิ่นของฟีโรโมนที่แรงกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินทางตามหลังมาเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และสุดท้ายมดทุกตัวจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พฤติกรรมในการหาอาหารของมด

ที่มา : <http://slideplayer.com.br/slide/364000/>

### 2.5.1 พฤติกรรมการหาอาหารของมด

จากรูปที่ 2.7 อธิบายได้ว่า มดจะพยายามหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากรังไปยังแหล่งของอาหาร ซึ่งสามารถอธิบายการใช้ฟีโรโมนในการหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างรังกับแหล่งอาหารของมดได้ดังนี้ เริ่มแรกในการเดินออกจากรังของมดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร หากเส้นทางในการเดินทาง

ไปสู่แหล่งอาหารมีหลายเส้นทางด้วยกัน และไม่มีร่องรอยใดที่แสดงให้เห็นว่าเส้นทางไหนดีกว่ากัน พวกมดจึงจำเป็นต้องสุ่มเลือกเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง

ดังนั้น แต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากันที่มดแต่ละตัวในฝูงจะเลือกเส้นทางนั้นเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหารจึงสันนิษฐานได้ว่า ในแต่ละเส้นทางมีมดที่เลือกเดินจำนวนเท่ากันทุกเส้นทางสมมุติว่ามดแต่ละตัวเดินทางด้วยความเร็วใกล้เคียงกัน “มดที่เดินในเส้นทางที่สั้นกว่าจะใช้เวลาน้อยกว่ามดที่เดินในเส้นทางที่ไกลกว่า” เนื่องจากฟีโรโมนมีคุณสมบัติสามารถระเหยไปได้เมื่อระยะเวลาผ่านไป ในเส้นทางที่สั้นกว่าจะมีความเข้มข้นของฟีโรโมนมากกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินตามกลิ่นฟีโรโมนที่แรงหรือเข้มข้นกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินตามหลังมานั้นจะเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และท้ายที่สุดมดทุกตัวก็จะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อเดินไปยังแหล่งอาหาร ผู้วิจัยได้จำลองพฤติกรรมของมดโดยวิธีการ (Ant Colony Optimization) ในปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem) คือ การเดินทางจากเมืองหนึ่งไปยังทุกเมืองจนครบ แล้วจะมีเส้นทางหนึ่งที่มีระยะทางสั้นที่สุดหมายความว่าเส้นทางที่มีปริมาณฟีโรโมนมากที่สุด ดังตัวอย่างที่ 2.4

ตัวอย่างที่ 2.4 พนักงานขายส่งสินค้าตามเมืองต่างๆ ทั้งหมด 5 เมือง โดยมีระยะห่างกัน ดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ระยะห่างเมืองระหว่างเมืองแต่ละเมือง

	A	B	C	D	E
A	-	5	10	10	12
B	8	-	15	15	14
C	12	5	-	5	7
D	10	5	10	-	5
E	15	9	13	15	-

สมมติระยะทางการเดินทางทั้งหมดมีดังต่อไปนี้

- เส้นทางที่ 1 เดินทางจาก A-C-D-E-B-A ระยะทางรวมทั้งหมด 50 กิโลเมตร  
 เส้นทางที่ 2 เดินทางจาก B-A-E-D-C-B ระยะทางรวมทั้งหมด 52 กิโลเมตร  
 เส้นทางที่ 3 เดินทางจาก A-E-B-C-D-A ระยะทางรวมทั้งหมด 36 กิโลเมตร  
 เส้นทางที่ 4 เดินทางจาก B-E-A-D-C-B ระยะทางรวมทั้งหมด 45 กิโลเมตร  
 เส้นทางที่ 5 เดินทางจาก C-B-D-A-E-C ระยะทางรวมทั้งหมด 48 กิโลเมตร

จากเส้นทางการเดินทางทั้งหมดที่มีระยะทางการเดินทางไม่เท่ากันเนื่องจากระดับฟีโรโมนที่วางไว้ไม่เท่ากัน ดังนั้น ระยะทางที่สั้นที่สุดจะมีปริมาณฟีโรโมนที่มากที่สุด และระยะทางที่ยาวที่สุดจะมีปริมาณฟีโรโมนน้อยที่สุดสรุปได้ ดังตารางที่ 2.9

ตารางที่ 2.9 ปริมาณฟีโรโมนของเส้นทางแต่ละเส้นทาง

เส้นทางที่	การเดินทาง	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	ค่าฟีโรโมน
1	A-C-D-E-B-A	50	$(1/50) = 0.020$
2	B-A-E-D-C-B	52	$(1/52) = 0.019$
3	A-E-B-C-D-A	36	$(1/36) = 0.028$
4	B-E-A-D-C-B	45	$(1/45) = 0.022$
5	C-B-D-A-E-C	48	$(1/48) = 0.021$

จากตารางที่ 2.9 เส้นทางที่สั้นที่สุดคือเส้นทางที่ 3 เดินทางจาก A-E-B-C-D-A ซึ่งมีระดับฟีโรโมนมากที่สุด คือ เป็นเส้นทางที่มีความน่าสนใจที่มดตัวต่อไปจะเดินทางมากที่สุด

## 2.5.2 วิธีการพัฒนาหาคำตอบระบบอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO)

วิธีการระบบอาณานิคมมดขั้นพื้นฐาน ดังต่อไปนี้

2.5.2.1 ตั้งค่าที่คำนวณได้จากประชากร (Parameter) ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบมดอาณานิคมมด

ก. จำนวนรอบที่ต้องการวนซ้ำ (Iteration) การหาคำตอบประกอบด้วยมด 1 ผุง  
 ข. จำนวนประชากรมด (Ant Population) จำนวนเส้นทางจะมีค่าเท่ากับจำนวนประชากรมดทั้งหมด 1 ผุง

ค.  $\alpha$  เป็นน้ำหนักที่ให้ค่าฟีโรโมน

ง.  $\beta$  เป็นน้ำหนักที่ให้กับระยะทางเชื่อม

จ. อัตราการระเหยฟีโรโมน (Evaporation Rate :  $\rho$ )

2.5.2.2 คำนวณค่าความสนใจ (Attractiveness :  $\omega_{ij}$ ) ของเส้นทางแต่ละเส้นทาง ดังสมการที่ 2.2

$$\omega_{ij} = \tau_{ij}^{\alpha} \times \pi_{ij}^{\beta} \quad (2.2)$$

โดยค่าฟีโรโมน (Pheromones หรือ  $\tau_{ij}$ ) เพิ่มความน่าสนใจของเส้นทางที่มาตัวต่อไปจะเดินและระยะทางระหว่างเมือง (Distance หรือ  $d_{ij}$ ) ระยะทางระหว่างเมือง  $i$  ไปเมือง  $j$  นำไปหาค่าคงที่ของปัญหา (Traveling Salesman Problem) ซึ่งเป็นค่าส่วนกลับของระยะทางระหว่าง 2 เมือง

2.5.2.3 สร้างคำตอบเริ่มต้น โดยสร้างคำตอบเริ่มต้นจากการสุ่มเลือกเมืองให้เป็นจุดเริ่มต้นก่อน เมืองทุกเมืองจะมีโอกาสถูกเลือกทั้งหมด ดังสมการที่ 2.3

$$P_{i,j} = \frac{\omega_{ij}}{\sum_{j=1}^S \omega_{ij}} \quad (2.3)$$

S คือ ชุดของเมืองที่ยังไม่ได้ถูกเลือก

ก. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสะสม ดังสมการที่ 2.4

$$\text{Cumpop}_{i,j} = \sum_{k=1}^j P_{i,k} \quad (2.4)$$

ข. สุ่มตัวเลข (0,1) มา 1 ตัว หากตัวเลขตกอยู่ในช่วงเมืองใดจะเลือกเมืองนั้นเป็นลำดับแรก

2.5.2.4 เลือกเส้นทางของมดแต่ละตัวที่สั้นที่สุด

2.5.2.5 ทำการปรับค่าฟีโรโมน

มดที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดจะถูกเลือกเพื่ออัปเดตค่าฟีโรโมน

เมื่อ i และ j ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มีการอัปเดตฟีโรโมน ดังสมการที่ 2.5 เมื่อ i และ j ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มีการอัปเดตฟีโรโมน ดังสมการที่ 2.6

$$\tau_{i,j} = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^{n-1}) \quad (2.5)$$

$$\tau_{i,j} = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^{n-1}) + \pi^l \quad (2.6)$$

โดย  $\rho$  หมายถึง จำนวนรอบ และ  $\pi^l$  = ส่วนกลับของระยะทางรวมที่ต่ำที่สุด

2.5.2.6 ทำการวนซ้ำ ข้อ 3 – 4 ให้ครบจำนวนรอบแล้วหยุดการทำงาน

กำหนดให้

q หมายถึง จำนวนจริงที่ได้จากการสุ่มประชากรที่มีการแจกแจงแบบสมร่าเสมอในช่วง [0,1]

$\beta$  หมายถึง การให้น้ำหนักของระยะทางการเชื่อมของโหนด 2 โหนด

$\alpha$  หมายถึง น้ำหนักของค่าฟีโรโมน

$\tau_{i,j}$  หมายถึง ค่าฟีโรโมน

$\pi = 1/d_{i,j}$  หมายถึง ส่วนกลับของระยะทางหรือความไกลของระยะทางจากเมือง i ไป j ซึ่งหากคำนวณจากโปรแกรมจะเป็นค่าระยะกระจัด โดยหาระยะทาง ดังสมการที่ 2.7

$$c^2 = a^2 + b^2 \quad (2.7)$$

$d_{i,j}$  หมายถึง ระยะทางระหว่างเมือง  $i$  และเมือง  $j$

$N_i^k$  หมายถึง เซตของเมืองที่เหลือสำหรับมดตัวที่  $k$  ในขณะที่มดนี้อยู่ที่เมือง  $j$

$J$  หมายถึง ค่าความน่าจะเป็นสูงสุด

$P_{i,j}^k$  หมายถึง สัดส่วนความน่าจะเป็นที่แต่ละโหนดจะถูกเลือก

$\omega_{i,j}$  หมายถึง ค่าความน่าสนใจของแต่ละเส้นทาง ( $\tau_{i,j}^\alpha \times \eta_{i,j}^\beta$ )

$\rho$  หมายถึง อัตราการระเหย (Evaporation Rate)

การทำงานของวิธีอาณานิคมมดจะมีการทำงาน ดังตัวอย่างที่ 2.5

ตัวอย่างที่ 2.5 จงจัดเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายโดยใช้วิธีอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization : ACO) โดยกำหนดระยะทางเชื่อมระหว่างเมืองแต่ละเมือง (กิโลกรัม) ดังตารางที่ 2.10 และค่า Parameter ดังตารางที่ 2.11

ตารางที่ 2.10 ระยะทางเชื่อมระหว่างเมืองแต่ละเมือง (กิโลกรัม)

	1	2	3	4	5
1	0	5	3	10	5
2	6	0	8	7	8
3	7	6	0	5	10
4	5	4	7	0	8
5	10	5	3	6	0

ตารางที่ 2.11 ค่า Parameter ต่างๆ

จำนวนรอบวนซ้ำ	2 รอบ
จำนวนประชากรมด	2 ตัว
ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น	1 (ทุกคู่)
อัตราการระเหย	ร้อยละ 2 (0.02)
$\alpha$	5
$\beta$	5

### วนรอบที่ 1

ขั้นตอนที่ 1 ตั้งค่า Parameter ต่างๆทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับระบบมดอาณานิคมมด

จากโจทย์ได้กำหนดค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 2.11 มาให้ โดยจำนวนรอบวนซ้ำ 2 รอบ จำนวนประชากรมดมี 2 ตัว ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น 1 (ทุกคู่) อัตราการระเหยฟีโรโมน (Evaporation Rate :  $\rho$ ) = ร้อยละ 2 หรือ (0.02)  $\alpha, \beta = 5$



ตารางที่ 2.12 ค่าที่โรมันเริ่มต้น ( $\tau_{ij}^5$ )

	1	2	3	4	5
1	0	1	1	1	1
2	1	0	1	1	1
3	1	1	0	1	1
4	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	0

หาค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างเมือง ( $\pi_{ij}^B$ ) จากตารางที่ 2.10 คิดได้จาก

$$\pi_{1,2}^5 = \left(\frac{1}{d_{1,2}}\right)^5 = \left(\frac{1}{5}\right)^5 = 0.00032$$

$$\pi_{1,3}^5 = \left(\frac{1}{d_{1,3}}\right)^5 = \left(\frac{1}{3}\right)^5 = 0.00412$$

$$\pi_{1,4}^5 = \left(\frac{1}{d_{1,4}}\right)^5 = \left(\frac{1}{10}\right)^5 = 0.00001$$

เมื่อนำคำนวณค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างเมือง ( $\pi_{ij}^B$ ) จะได้ค่าทั้งหมด  
ดังตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 ค่าส่วนกลับระยะทางระหว่างเมือง ( $\pi_{ij}^B$ )

	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.00032	0.00412	0.00001	0.00032
2	0.00013	0.00000	0.00003	0.00006	0.00003
3	0.00006	0.00013	0.00000	0.00032	0.00001
4	0.00032	0.00098	0.00006	0.00000	0.00003
5	0.00001	0.00032	0.00412	0.00013	0.00000

คำนวณหาค่าความสนใจ (Attractiveness :  $\omega_{ij}$ )

$$\omega_{1,2} = \tau_{1,2}^5 \times \tau_{1,2}^5 = 1 \times 0.00032 = 0.00032$$

$$\omega_{1,3} = \tau_{1,3}^5 \times \tau_{1,3}^5 = 1 \times 0.00412 = 0.00412$$

$$\omega_{1,4} = \tau_{1,4}^5 \times \tau_{1,4}^5 = 1 \times 0.00001 = 0.00001$$

โดย ค่าความน่าสนใจ  $\omega_{ij}$  ที่คำนวณได้นั้น แสดงดังตารางที่ 2.14

17229018

ตารางที่ 2.14 ค่าความน่าสนใจ  $\omega_{ij}$ 

	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.00032	0.00412	0.00001	0.00032
2	0.00013	0.00000	0.00003	0.00006	0.00003
3	0.00006	0.00013	0.00000	0.00032	0.00001
4	0.00032	0.00098	0.00006	0.00000	0.00003
5	0.00001	0.00032	0.00412	0.00013	0.00000

ขั้นตอนที่ 3 สร้างคำตอบเริ่มต้น

มดตัวที่ 1 สมมติว่าเมืองที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นของพนักงาน ดังนั้น เมืองที่ 2-5 จะมีโอกาสถูกเลือกได้ จากสมการที่ 2.3 จะได้ดังนี้

$$P_{1,2} = \frac{0.00032}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.06708$$

$$P_{1,3} = \frac{0.00412}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.86373$$

$$P_{1,4} = \frac{0.00001}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.00210$$

$$P_{1,5} = \frac{0.00032}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.06708$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสม จากสมการที่ 2.4 จะได้ดังนี้

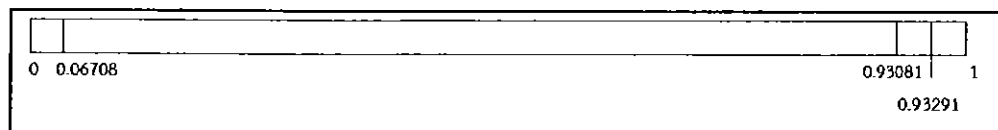
$$\text{Cumpop}_{1,2} = 0.06708$$

$$\text{Cumpop}_{1,3} = 0.06708 + 0.86373 = 0.93081$$

$$\text{Cumpop}_{1,4} = 0.06708 + 0.86373 + 0.00210 = 0.93291$$

$$\text{Cumpop}_{1,5} = 0.06708 + 0.86373 + 0.00210 + 0.06708 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.06708 - 0.93081 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.54300 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 3 ดังนั้น เมืองที่ 3 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{3,3} = \frac{0.00013}{0.00013 + 0.00032 + 0.00001} = 0.28261$$

$$P_{3,4} = \frac{0.00032}{0.00013 + 0.00032 + 0.00001} = 0.69565$$

$$P_{3,5} = \frac{0.00001}{0.00013 + 0.00032 + 0.00001} = 0.02174$$

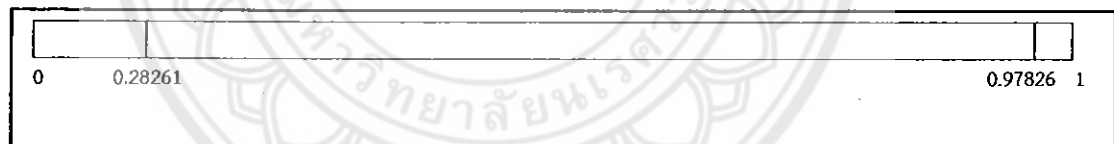
หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$Cumpop_{3,2} = 0.28261$$

$$Cumpop_{3,4} = 0.28261 + 0.69565 = 0.97826$$

$$Cumpop_{3,5} = 0.28261 + 0.69565 + 0.02174 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ท จะได้ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 3 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.28261-0.97826 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติว่าค่าที่สุ่มได้มีค่าเท่ากับ 0.15672 ซึ่งอยู่ในช่วงของเมืองที่ 2 ดังนั้น เมืองที่ 2 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{2,4} = \frac{0.00006}{0.00006 + 0.00003} = 0.66667$$

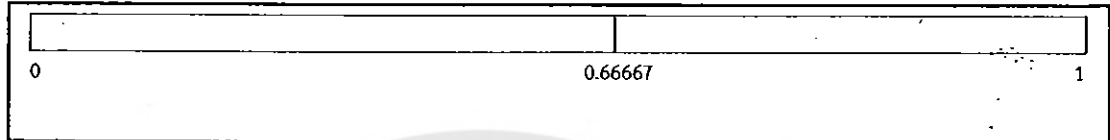
$$P_{2,4} = \frac{0.00003}{0.00006 + 0.00003} = 0.33333$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$\text{Cumpop}_{2,4} = 0.66667$$

$$\text{Cumpop}_{2,5} = 0.66667 + 0.33333 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมสุ่มแล้ว  
จะได้ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0-0.66667 มีช่วงมากที่สุด  
จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติว่าค่าที่สุ่มได้มีค่าเท่ากับ 0.8 ซึ่งอยู่  
ในช่วงของ เมืองที่ 5 ดังนั้น เมืองที่ 5 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองถัดไป ดังนั้น จะได้เส้นทางที่  
สมบูรณ์ คือ 1-3-2-5-4-1 โดยระยะทางรวมทั้งหมดเป็น 28 กิโลเมตร

มดตัวที่ 2 สมมติให้เมืองที่ 1 เป็นเมืองเริ่มต้นของพนักงานขายดังนั้นเมืองที่ 2-5 จะมี  
โอกาสถูกเลือก ดังนี้

$$P_{1,2} = \frac{0.00032}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.06708$$

$$P_{1,3} = \frac{0.00412}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.86373$$

$$P_{1,4} = \frac{0.00001}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.00210$$

$$P_{1,5} = \frac{0.00032}{0.00032 + 0.00412 + 0.00001 + 0.00032} = 0.06708$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสม จากสมการที่ 2.4  $\text{Cumpop}_{i,j} = \sum_{k=1}^j P_{i,k}$   
จะได้

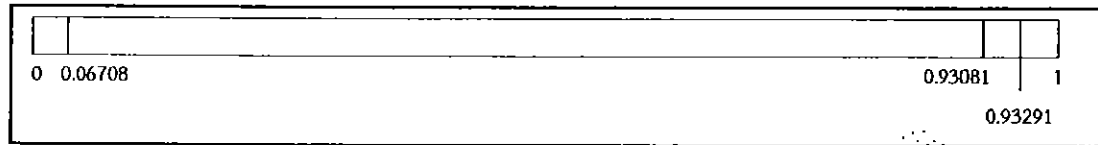
$$\text{Cumpop}_{1,2} = 0.06708$$

$$\text{Cumpop}_{1,3} = 0.06708 + 0.86373 = 0.93081$$

$$\text{Cumpop}_{1,4} = 0.06708 + 0.86373 + 0.00210 = 0.93291$$

$$\text{Cumpop}_{1,5} = 0.06708 + 0.86373 + 0.00210 + 0.06708 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.06708-0.93081 มีช่วงมากที่สุด  
จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.0200 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 2  
ดังนั้น เมืองที่ 2 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{2,3} = \frac{0.00003}{0.00003 + 0.00006 + 0.00003} = 0.25$$

$$P_{2,4} = \frac{0.00006}{0.00003 + 0.00006 + 0.00003} = 0.5$$

$$P_{2,5} = \frac{0.00003}{0.00003 + 0.00006 + 0.00003} = 0.25$$

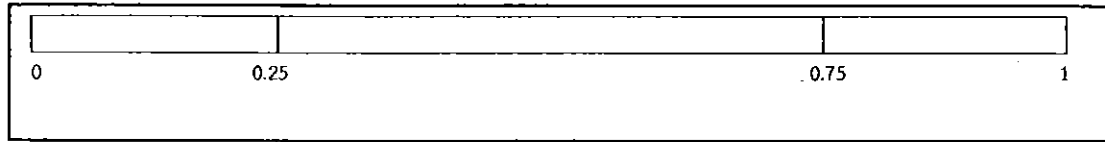
หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$\text{Cumpop}_{2,3} = 0.25$$

$$\text{Cumpop}_{2,4} = 0.25 + 0.5 = 0.75$$

$$\text{Cumpop}_{2,4} = 0.25 + 0.5 + 0.25 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.12 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.25-0.75 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.5 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 4 ดังนั้นเมืองที่ 4 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{4,3} = \frac{0.00006}{0.00006 + 0.00003} = 0.66667$$

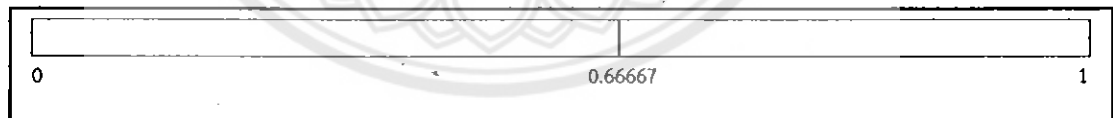
$$P_{4,5} = \frac{0.00003}{0.00006 + 0.00003} = 0.33333$$

ค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$\text{Cumpop}_{4,3} = 0.66667$$

$$\text{Cumpop}_{4,5} = 0.66667 + 0.33333 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต จะได้ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 4 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 1)

จากรูปที่ 2.13 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0-0.66667 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติค่าที่ได้มีค่าเท่ากับ 0.42816 อยู่ในช่วงเมืองที่ 3 ถัดไป ดังนั้น จะเส้นทางที่สมบูรณ์ คือ 1-2-4-3-5-1 โดยระยะทางรวมทั้งหมดเป็น 39 กิโลเมตร

ขั้นตอนที่ 4 เลือกเส้นทางของมดแต่ละตัวที่สั้นที่สุด นำผลมาเทียบจะได้ ดังตารางที่ 2.15

ตารางที่ 2.15 ผลสรุปการเลือกเส้นทางของมดแต่ละตัว

มดตัวที่	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทางทั้งหมด (กิโลเมตร)
1	1-3-2-5-4-1	28
2	1-2-4-3-5-1	39

จากตารางที่ 2.15 เป็นเส้นทางการเดินทางของมดแต่ละตัว มดตัวที่ 1 มีระยะทางที่สั้นที่สุด คือ 28 กิโลเมตร จึงถูกนำมาเพิ่มค่าฟีโรโมนในขั้นต่อไป กำหนดให้อัตราการระเหยร้อยละ 2

ขั้นตอนที่ 5 ทำการปรับค่าฟีโรโมน

ปรับค่าฟีโรโมน เมื่อมีอัตราการระเหยร้อยละ 2 จะได้ค่าฟีโรโมนใหม่ ดังตารางที่ 2.16

ตารางที่ 2.16 ฟีโรโมนหลังจากการระเหย ร้อยละ 2 รอบที่ 1

	1	2	3	4	5
1	0	0.98	0.98	0.98	0.98
2	0.98	0	0.98	0.98	0.98
3	0.98	0.98	0	0.98	0.98
4	0.98	0.98	0.98	0	0.98
5	0.98	0.98	0.98	0.98	0

นำเส้นทางที่ระยะทางสั้นที่สุด คือ 1-3-2-5-4-1 มาอัปเดตฟีโรโมนในเส้นทาง เพื่อเพิ่มค่า ฟีโรโมนส่วนที่เพิ่มในการอัปเดตค่าฟีโรโมน คือ  $\pi^1 = \frac{1}{28} = 0.03571$  ผลการอัปเดต มีค่าฟีโรโมน ดังตารางที่ 2.17

1-3	0.98	0.03571	1.01571
3-1	0.98	0.03571	1.01571
3-2	0.98	0.03571	1.01571
2-3	0.98	0.03571	1.01571

ตารางที่ 2.17 (ต่อ) ผลการอัปเดตค่าพีโรโมนในเส้นทาง 1-3-2-5-4-1

คู่เชื่อม	ค่าพีโรโมนจากการระเหย ร้อยละ 2	ค่า $\pi^I$	ค่าพีโรโมนหลังจากการอัปเดต
2-5	0.98	0.03571	1.01571
5-2	0.98	0.03571	1.01571
5-4	0.98	0.03571	1.01571
4-5	0.98	0.03571	1.01571
4-1	0.98	0.03571	1.01571
1-4	0.98	0.03571	1.01571

เมื่ออัปเดตพีโรโมนในเส้นทางที่สั้นที่สุดแล้ว จะได้ค่าพีโรโมนที่นำไปใช้วนซ้ำ  
รอบที่ 2 ดังตารางที่ 2.18

ตารางที่ 2.18 ระดับค่าพีโรโมนที่ใช้วนในรอบต่อไป

	1	2	3	4	5
1	0	0.98	1.01571	1.01571	0.98
2	0.98	0	1.01571	0.98	1.01571
3	1.01571	1.01571	0	0.98	0.98
4	1.01571	0.98	0.98	0	1.01571
5	0.98	1.01571	0.98	1.01571	0

ขั้นตอนที่ 6 ทำการวนซ้ำ รอบที่ 2 คำนวณหาค่าความน่าสนใจ  $\omega_{ij}$

$$\omega_{(1,2)} = 0.98^5 \times \left(\frac{1}{5}\right)^5 = 0.00029$$

$$\omega_{(1,3)} = 1.01571^5 \times \left(\frac{1}{3}\right)^5 = 0.00449$$

$$\omega_{(1,4)} = 1.01571^5 \times \left(\frac{1}{10}\right)^5 = 0.00001$$

โดย ค่าความน่าสนใจ  $\omega_{ij}$  ที่คำนวณได้หลังจากการปรับค่าพีโรโมนใหม่ ดัง  
ตารางที่ 2.19



ตารางที่ 2.19 ค่าความน่าสนใจ ( $\omega_{ij}$ )

	1	2	3	4	5
1	0.00000	0.00029	0.00449	0.00001	0.00029
2	0.00011	0.00000	0.00003	0.00005	0.00003
3	0.00006	0.00014	0.00000	0.00029	0.00001
4	0.00035	0.00088	0.00005	0.00000	0.00003
5	0.00001	0.00035	0.00372	0.00014	0.00000

วนรอบที่ 2 มดตัวที่ 1 สมมติว่าเมืองที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นของพนักงาน ดังนั้น เมืองที่ 2-5 จะมีโอกาสถูกเลือกได้ ดังนี้

$$P_{1,2} = \frac{0.00029}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.05709$$

$$P_{1,3} = \frac{0.00449}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.88386$$

$$P_{1,4} = \frac{0.00001}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.00197$$

$$P_{1,5} = \frac{0.00029}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.05709$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสมจากสมการที่ 2.4

$$\text{Cumpop}_{i,j} = \sum_{k=1}^j P_{i,k} \text{ จะได้}$$

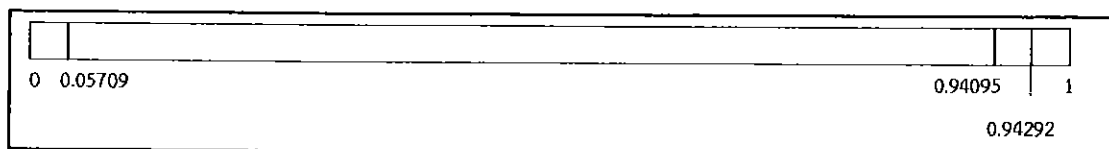
$$\text{Cumpop}_{1,2} = 0.05709$$

$$\text{Cumpop}_{1,3} = 0.05709 + 0.88386 = 0.94095$$

$$\text{Cumpop}_{1,4} = 0.05709 + 0.88386 + 0.00197 = 0.94292$$

$$\text{Cumpop}_{1,5} = 0.05709 + 0.88386 + 0.00197 + 0.05709 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.14



รูปที่ 2.14 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.14 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.05709-0.94095 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

สุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.003 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 2 ดังนั้น เมืองที่ 2 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป และหาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$P_{2,3} = \frac{0.00003}{0.00003 + 0.00005 + 0.00001 + 0.00003} = 0.27273$$

$$P_{2,4} = \frac{0.00005}{0.00003 + 0.00005 + 0.00001 + 0.00003} = 0.45454$$

$$P_{2,5} = \frac{0.00003}{0.00003 + 0.00005 + 0.00001 + 0.00003} = 0.27273$$

$$\text{Cumpop}_{2,3} = 0.27273$$

$$\text{Cumpop}_{2,4} = 0.27273 + 0.45454 = 0.72727$$

$$\text{Cumpop}_{2,5} = 0.27273 + 0.45454 + 0.27273 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต จะได้ดังรูปที่ 2.15



รูปที่ 2.15 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสม ที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 2 ของมดตัวที่ 1 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.15 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.27273-0.72727 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.8 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 4 ดังนั้น เมืองที่ 4 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{4,3} = \frac{0.00005}{0.00005 + 0.00003} = 0.62500$$

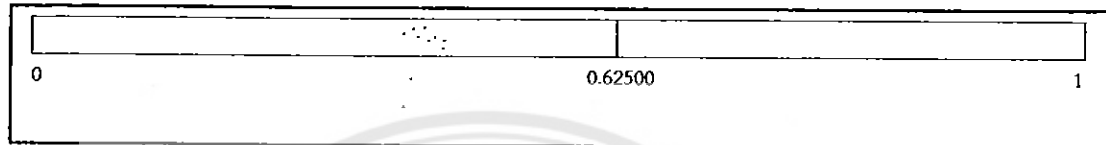
$$P_{4,5} = \frac{0.00003}{0.00005 + 0.00003} = 0.37500$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$\text{Cumpop}_{4,3} = 0.62500$$

$$\text{Cumpop}_{4,5} = 0.62500 + 0.37500 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.16



รูปที่ 2.16 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 4 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.16 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0-0.62500 มีช่วงมากที่สุด  
จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติว่าค่าที่สุ่มได้มีค่าเท่ากับ 0.56392  
ซึ่งอยู่ในช่วงของเมืองที่ 3 และเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองถัดไป ดังนั้น จะได้เส้นทางที่สมบูรณ์  
คือ 1-2-4-3-5-1 โดยระยะทางรวมทั้งหมด 39 กิโลเมตร

มดตัวที่ 2 สมมติว่าเมืองที่ 1 เป็นจุดเริ่มต้นของพนักงาน ดังนั้น เมืองที่ 2-5  
จะมีโอกาสถูกเลือกได้ ดังนี้

$$P_{1,2} = \frac{0.00029}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.05705$$

$$P_{1,3} = \frac{0.00449}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.88386$$

$$P_{1,4} = \frac{0.00001}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.00197$$

$$P_{1,5} = \frac{0.00029}{0.00029 + 0.00449 + 0.00001 + 0.00029} = 0.05709$$

หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

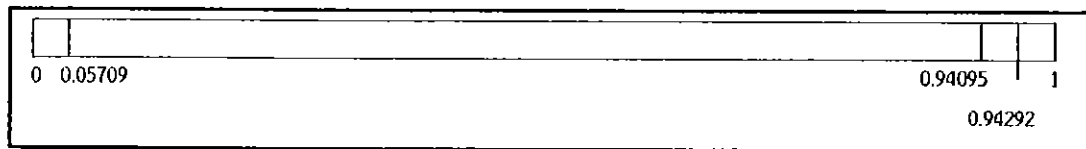
$$\text{Cumpop}_{1,2} = 0.05709$$

$$\text{Cumpop}_{1,3} = 0.05709 + 0.88386 = 0.94095$$

$$\text{Cumpop}_{1,4} = 0.05709 + 0.88386 + 0.00197 = 0.94292$$

$$\text{Cumpop}_{1,5} = 0.05709 + 0.88386 + 0.00197 + 0.00197 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสมที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 1 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.17 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.05709-0.94095 มีช่วงมากที่สุด  
จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.99888 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 5  
ดังนั้น เมืองที่ 5 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{5,2} = \frac{0.00032}{0.00032 + 0.00421 + 0.00013} = 0.07002$$

$$P_{5,3} = \frac{0.00421}{0.00032 + 0.00421 + 0.00013} = 0.90153$$

$$P_{5,4} = \frac{0.00013}{0.00032 + 0.00421 + 0.00013} = 0.02845$$

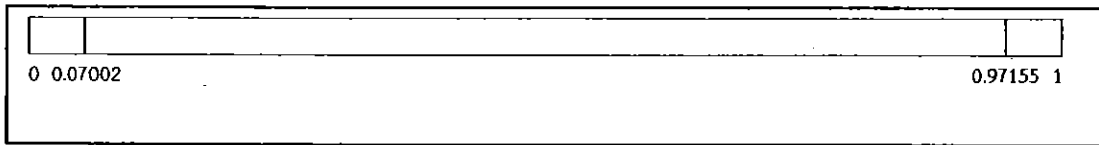
หาค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$\text{Cumpop}_{5,2} = 0.07002$$

$$\text{Cumpop}_{5,3} = 0.07002 + 0.90153 = 0.97155$$

$$\text{Cumpop}_{5,4} = 0.07002 + 0.90153 + 0.02845 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมรูเล็ต  
จะได้ดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ลักษณะความน่าจะเป็นสะสม ที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 5 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.18 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.07002-0.97155 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มตัวเลขระหว่าง (0,1) สมมติสุ่มได้ 0.25 อยู่ในช่วงของเมืองที่ 3 ดังนั้น เมืองที่ 3 จะเป็นเมืองที่ถูกเลือกให้เป็นเมืองเริ่มต้นถัดไป

$$P_{3,2} = \frac{0.00014}{0.00014 + 0.00029} = 0.32558$$

$$P_{3,4} = \frac{0.00029}{0.00014 + 0.00029} = 0.67442$$

ค่าความน่าจะเป็นสะสม

$$C_{3,2} = 0.32558$$

$$C_{3,4} = 0.32558 + 0.67442 = 1$$

เมื่อนำค่าความน่าจะเป็นสะสมมาเขียนในรูปของช่วงการสุ่มของวงกลมสุ่มแล้ว จะได้ดังรูปที่ 2.19



รูปที่ 2.19 ลักษณะความน่าจะเป็นที่มีจุดเริ่มต้นจากเมืองที่ 3 ของมดตัวที่ 2 (รอบที่ 2)

จากรูปที่ 2.19 จะเห็นได้ว่า ช่วงระหว่าง 0.32558-1 มีช่วงมากที่สุด จึงมีโอกาสที่จะสุ่มเจอมากกว่าช่วงอื่น

ทำการสุ่มได้ 0.67824 อยู่ในช่วงเมืองที่ 4 ถัดไป ดังนั้น จะเส้นทางที่สมบูรณ์ คือ 1-5-3-4-2-1 โดยระยะทางรวมทั้งหมดเป็น 23 กิโลเมตร

เมื่อทำการเปรียบเทียบเส้นทางของมดทั้ง 2 ตัว มีการแสดงเส้นทางการเดินทางและระยะทาง ดังตาราง 2.20

ตารางที่ 2.20 ผลสรุปการเลือกเส้นทางของมดแต่ละตัว

มดตัวที่	เส้นทางการเดินทาง	ระยะทางทั้งหมด (กิโลเมตร)
1	1-2-4-3-5-1	39
2	1-5-3-4-2-1	23

จากตารางที่ 2.20 จะเห็นได้ว่ามดตัวที่ 2 จะให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด ในเส้นทางการเดินทาง 1-5-3-4-2-1 ด้วยระยะทาง 23 กิโลเมตร

สรุปการวนซ้ำลำดับขั้นของวิธีการ ACO ดังรูปที่ 2.20

ลำดับขั้นของวิธีการ ACO

ตั้งค่าเริ่มต้นที่จำเป็น

เมื่อวนซ้ำยังไม่ครบจำนวนรอบที่กำหนด หรือเงื่อนไขอื่นๆ ที่ส่งผลให้หยุดการวนซ้ำยังไม่ครบกำหนด ดำเนินการดังนี้

เมื่อจำนวนมดยังไม่ครบตามจำนวนที่ตั้งค่าไว้

สร้างคำตอบเริ่มต้น

ปรับปรุงคำตอบ : Local Search (มีหรือไม่มีก็ได้ : Optional)

สิ้นสุดการสร้างคำตอบจากมดแต่ละตัว

ปรับปรุงค่าฟีโรโมนและพารามิเตอร์ต่างๆ (ด้วยวิธีการแตกต่างกันตามประเภทของ ACO)

สิ้นสุดการวนซ้ำ

รูปที่ 2.20 แสดงรหัสเทียมของวิธีการอาณานิคมมด

ที่มา : ผศ. ดร.ระพีพันธ์ ปิตาคะโต

จากรูปที่ 2.20 เป็นการแสดงลำดับขั้นของการวนซ้ำวิธีอาณานิคมมด และการอัปเดตฟีโรโมน จนสิ้นสุดการวนซ้ำ

## 2.6 การออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE)

การออกแบบการทดลอง เป็นเทคนิคทางสถิติขั้นสูงที่ใช้ในการปรับค่าสภาวะของกระบวนการ เพื่อให้ได้ผลตอบสนองเป็นไปตามที่เราต้องการ ซึ่งข้อแตกต่างอย่างเห็นได้ชัด ระหว่างวิธีการ โดยทั่วไปกับเทคนิคของการออกแบบการทดลอง คือ วิธีการโดยทั่วไปมักเป็นการทดลองแบบลองผิดลองถูก หรือใช้การทดลองปรับตั้งค่ากระบวนการทีละค่า (One-Factor-at-a-Time : OFAT) จะให้ผลตอบสนองเข้าสู่จุดมุ่งหมายที่ต้องการได้ช้ามาก และสิ้นเปลืองทรัพยากรในการวิเคราะห์รวมถึงต้องเก็บข้อมูลมาก และยังไม่เหมาะสมอย่างยิ่งกับกระบวนการที่มีอันตรกิริยาระหว่างตัวแปรของกระบวนการด้วยตัวเอง

### 2.6.1 ขั้นตอนการออกแบบการทดลอง

การใช้หลักการสถิติในการออกแบบ และวิเคราะห์การทดลองเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ผู้ทำการทดลองต้องมีความเข้าใจวิธีการเก็บข้อมูลตลอดจนการวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้มา ซึ่งขั้นตอนของการออกแบบการทดลอง สามารถสรุปได้ ดังนี้

2.6.1.1 กำหนดหัวข้อปัญหา (Problem Statement) จะต้องชัดเจน เข้าใจง่าย และเป็นรูปธรรม ประกอบด้วยองค์ประกอบหลัก 3 อย่าง อะไรที่กำลังเป็นปัญหา (What), ลักษณะของปัญหาเป็นเช่นไรขนาดไหน (How) และพบปัญหานั้นที่ไหนช่วงเวลาใด (Where)

2.6.1.2 การเลือกปัจจัย (Choice of Factor) และการกำหนดระดับของปัจจัย (Treatment) จำเป็นที่จะต้องเลือกปัจจัยที่มีผลต่อกระบวนการอย่างแท้จริง ซึ่งสามารถเลือกจากกรรมวิธีคัดกรองโดยเครื่องมือทางสถิติ

2.6.1.3 การเลือกตัวแปรตอบสนอง (Selection of Response Variable) จะต้องเน้นตัวแปรที่สามารถวัดได้ ทั้งที่วัดด้วยเครื่องมือวัด และวัดด้วยกระบวนการวัดอื่นๆ เช่น การนับ และจะต้องเป็นตัวแปรที่สื่อถึงกระบวนการที่เราต้องการศึกษานั้นได้ดีด้วย เป็นต้น

2.6.1.4 การเลือกแบบทดลอง (Choice of Experiment Design) เช่น การกำหนดจำนวนสิ่งตัวอย่าง, วิธีการเลือกสิ่งตัวอย่าง, วางแผนการทำการทดลอง, วิธีการบันทึกผลการทดลอง และการกำหนดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ เป็นต้น

2.6.1.5 ดำเนินการทดลอง (Performing the Experiment) ให้เป็นไปตามแผนการทั้งวิธีการดำเนินการ, ความถูกต้องในการวัด, การควบคุมตัวแปรในการทดลอง และเก็บผลการทดลอง

2.6.1.6 การวิเคราะห์ข้อมูล (Statistical Analysis of Data) ในการวิเคราะห์ข้อมูลจะใช้ความรู้ทางด้านสถิติเข้ามาวิเคราะห์ และสรุปผลรวมทั้งตัดสินความถูกต้องของข้อมูลที่เกิดขึ้นก่อนที่จะตีความข้อมูล และวิธีการทางสถิติไม่สามารถบอกได้ว่าปัจจัยมีผล (Effect) เท่าใดแน่นอน แต่เป็นเพียงเครื่องมือที่ให้แนวทางในการวิเคราะห์ภายใต้ช่วงของความเชื่อมั่นในการสรุปผล

2.6.1.7 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ ผู้ดำเนินการทดลองจะเป็นผู้ที่เข้าใจที่ไปที่มาของข้อมูลดี และมองออกว่าผลที่ได้เป็นเช่นนั้น เพราะอะไร การดำเนินการมีข้อบกพร่องตรงไหน

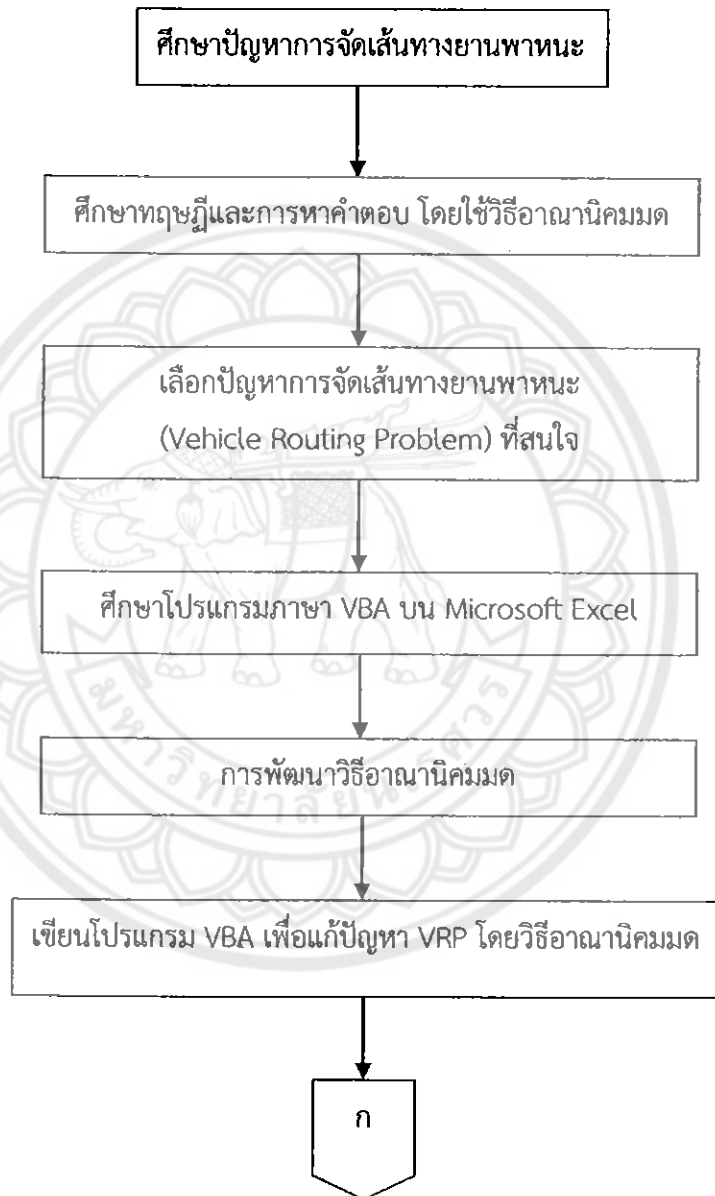
**MISSING**



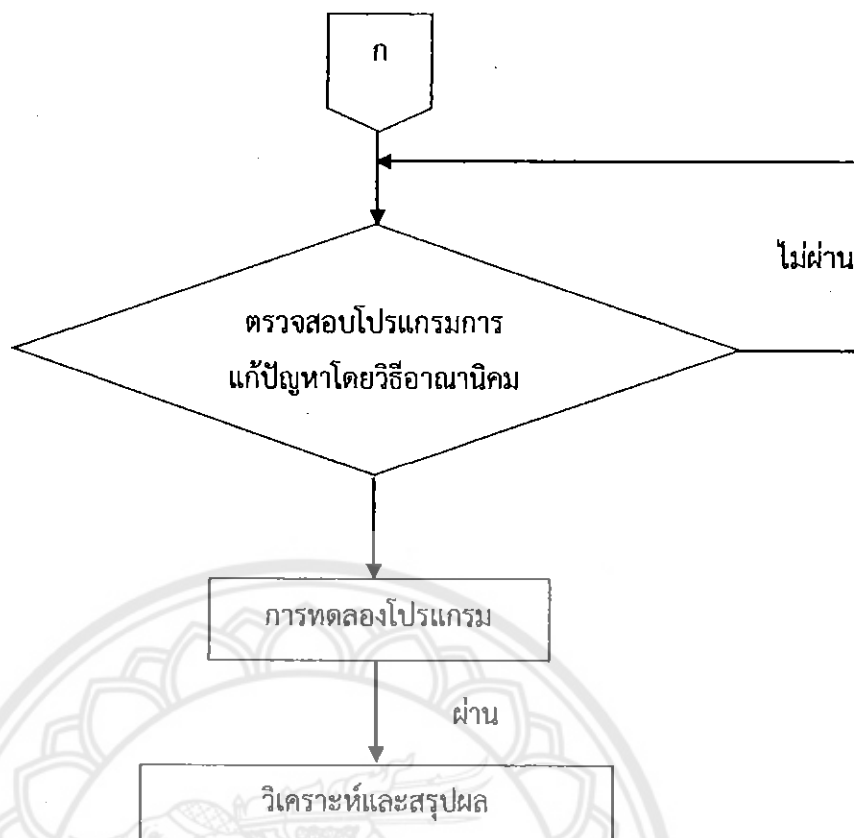


### บทที่ 3 วิธีดำเนินการโครงการ

ในการจัดทำโครงการ ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยวิธีอณานิคมมด ผู้จัดทำโครงการได้มีการแสดงการทำงานตามขั้นตอนดังต่อไปนี้ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินการโครงการ



รูปที่ 3.1(ต่อ) ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ

### 3.1 ศึกษาปัญหาการจัดการจัดเส้นทางยานพาหนะ

เป็นปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ที่บริษัทจะต้องหาวิธีการลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า ซึ่งเส้นทางการขนส่งมีการส่งมอบสินค้าให้ลูกค้าคลังสินค้าเป็นศูนย์กลาง และมีลูกค้ากระจายอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้ามีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันไป จะต้องใช้จำนวนรถในการขนส่งน้อยที่สุด และสามารถส่งสินค้าให้ลูกค้าได้ครบถ้วนทุกราย การจัดการเส้นทางรถขนส่งสินค้านั้นให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้าในเวลา และจำนวนที่กำหนดภายใต้เงื่อนไขที่จำกัดไว้ เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งประหยัดและมีประสิทธิภาพมากที่สุด

#### 3.1.1 วัตถุประสงค์การจัดการการขนส่ง

- 3.1.1.1 เพื่อลดจำนวนรถขนส่งสินค้า หรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่ง
- 3.1.1.2 เพื่อลดระยะทางในการเดินทาง หรือลดระยะเวลาในการเดินทาง
- 3.1.1.3 เพื่อลดทั้งค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่ และค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน
- 3.1.1.4 เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการทำงาน
- 3.1.1.5 เพื่อสร้างความพึงพอใจให้แก่ลูกค้า

### 3.2 ศึกษาทฤษฎีและการหาคำตอบโดยใช้วิธีอานานิคมมด

วิธีระบบมด เป็นการหาคำตอบโดยการเลียนแบบพฤติกรรมการหาอาหารของมด เป็นการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุด โดยมดจะอาศัยสารเคมีที่เรียกว่า ฟีโรโมน (Pheromone) เริ่มแรกมดจะมีการสุ่มเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเพื่อเดินทางไปยังแหล่งอาหาร ดังนั้น เส้นทางแต่ละเส้นทางจึงมีโอกาสเท่ากัน มดที่เดินทางระยะทางสั้นกว่าจะถึงเร็วกว่ามดที่เดินทางระยะทางไกลกว่า จากพฤติกรรมของมดจะเลือกเดินทางตามกลิ่นของฟีโรโมนที่แรงกว่า จึงส่งผลให้มดตัวที่เดินทางตามมาเลือกเส้นทางที่สั้นกว่า และสุดท้ายมดทุกตัวจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเพื่อไปยังแหล่งอาหาร

### 3.3 เลือกปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) ที่สนใจ

ในโครงการนี้เราได้เลือกศึกษาปัญหา VRP แบบมี Time Window วัตถุประสงค์ คือ การหาค่าใช้จ่ายต่ำสุดและหาระยะทางสั้นที่สุด ประกอบด้วยค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องและเงื่อนไขดังต่อไปนี้

#### 3.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

3.3.1.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้นยานพาหนะ คือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเลือกใช้นยานพาหนะที่มีขนาดบรรทุกต่างกัน โดยแต่ละขนาดจะมีค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน

3.3.1.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระยะทางของการขนส่งสินค้า เช่น ค่าน้ำมัน ค่าแรงงานคนงาน

3.3.1.3 ค่าล่วงเวลาที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา คือ ค่าใช้จ่ายเมื่อส่งสินค้าเกินกรอบเวลาที่ลูกค้าแต่ละรายจะกำหนดค่าปรับทุกช่วงเวลาของการขนส่ง

3.3.1.4 Loading Cost คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก

#### 3.3.2 มีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

3.3.2.1 ประเภทรถ คือ รถมีกี่ประเภท อะไรบ้าง

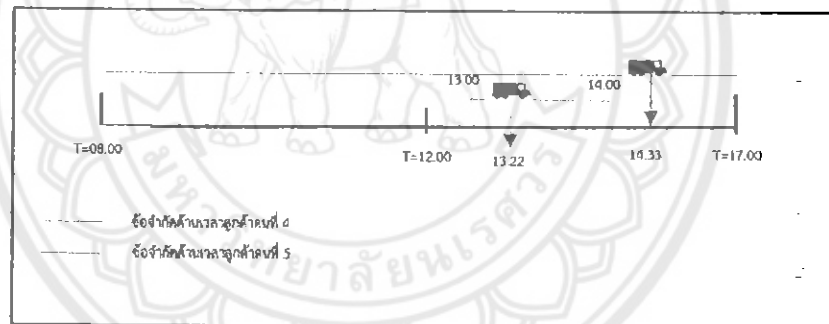
3.3.2.2 ขนาดความจุ คือ รถแต่ละคันมีความจุเท่าไร

3.3.2.3. ความเร็วรถ คือ รถสามารถวิ่งได้ กี่ กิโลเมตร/ชั่วโมง

ยานพาหนะคันที่ 1 มีเส้นทางการขนส่ง 0-5-4-0 รถขนสินค้าออกจากศูนย์กระจายสินค้าในเวลา 13.00 น. ไปลูกค้าคนที่ 5 มีความต้องการสินค้า 2 ตัน มีระยะทาง 30 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 22 นาที จากตารางที่ 2.7 ไปถึงลูกค้าคนที่ 5 เวลา 13.22 น. ใช้เวลาในการขนส่งสินค้า 1 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินกรอบเวลา และความจุที่กำหนดไว้ มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ ระยะทาง  $\times$  ค่าน้ำมัน (บาท) =  $30 \times 2 = 60$  บาท และมีการคำนวณ Loading Cost เท่ากับน้ำหนักบรรทุก  $\times$  ระยะทาง  $\times$  ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกในการเดินทาง  $3,000 \times 30 \times 0.05 = 4,500$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 5 เวลา 14.22 น. ไปลูกค้าคนที่ 4 มีความต้องการสินค้า 1 ตัน มีระยะทาง 15 กิโลเมตร ใช้เวลาในการเดินทาง 11 นาที ไปถึงลูกค้าคนที่ 4 เวลา 14.33 น. ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 2 ชั่วโมง ซึ่งไม่เกินกรอบเวลาและความจุที่กำหนด ให้มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 30 บาท และมีการคำนวณ Loading Cost  $1000 \times 15 \times 0.05 = 750$  บาท

รถขนส่งสินค้าออกจากลูกค้าคนที่ 4 เวลา 16.33 น. ไปยังศูนย์กระจายสินค้ามีระยะทาง 45 กม. ใช้เวลาในการเดินทาง 33 นาที ถึงศูนย์กระจายสินค้า เวลา 17.06 น. มีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ 90 บาท ดังรูปที่ 3.2



รูปที่ 3.2 การขนส่งยานพาหนะคันที่ 1

### 3.4 ศึกษาโปรแกรมภาษา VBA บน Microsoft Excel

Visual Basic for Application (VBA) เป็นการเขียนคำสั่งด้วยภาษา Visual Basic เพื่อสั่งงานให้โปรแกรม Microsoft Office ทำงานตามต้องการแบบอัตโนมัติ ซึ่งช่วยทำให้ผู้ใช้งานลดงานที่ซ้ำซ้อนลงได้ อีกทั้งงานที่ประมวลผลด้วย VBA จะรวดเร็วและถูกต้องมากกว่าการทำงานด้วยคน

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel ตัวอย่างเช่น การทำให้ Microsoft Excel ทำงานตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้น การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยมีเงื่อนไขในการค้นหาข้อมูล การสร้างเมนูเพิ่มขึ้นใน Microsoft Excel และการสร้างระบบงานใน Microsoft Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้น VBA จึงมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่

ข้อดีของการเขียนโปรแกรมด้วยภาษา VBA ใน Microsoft Excel ตัวอย่างเช่น การทำให้ Microsoft Excel ทำงานตามเงื่อนไขที่เกิดขึ้น การเชื่อมต่อฐานข้อมูลโดยมีเงื่อนไขในการค้นหาข้อมูล การสร้างเมนูเพิ่มขึ้นใน Microsoft Excel และการสร้างระบบงานใน Microsoft Excel ที่เหมือนโปรแกรมสำเร็จรูป ดังนั้น VBA จึงมีการประยุกต์ใช้กันอย่างแพร่หลาย เพราะเป็นโปรแกรมพื้นฐานที่มีใช้ทั่วไปในเครื่องคอมพิวเตอร์แทบจะทุกเครื่อง โดยเฉพาะในงานวางแผน และบริหารจะช่วยให้ทำงานได้ง่ายและรวดเร็วยิ่งขึ้น

### 3.5 การพัฒนาวิธีอาณานิคม

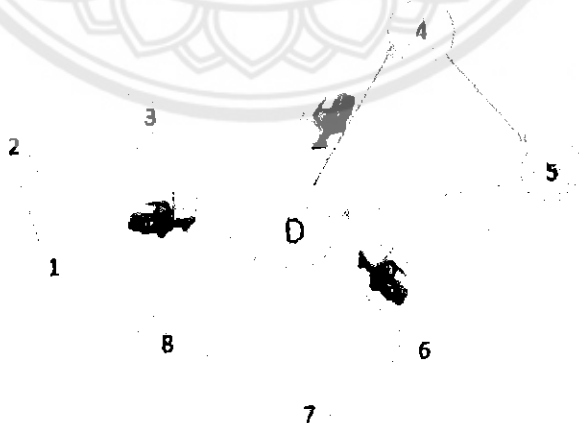
ขณะนี้ผู้วิจัยได้ทำการออกแบบตัวแทนคำตอบของปัญหาอาณานิคมไว้เรียบร้อยแล้ว ดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวแทนคำตอบของปัญหาอาณานิคม

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

จากตารางที่ 3.1 แสดงให้เห็นว่า รถคันที่ 1 วิ่งออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปหาลูกค้าคนที่ 1, 2 และ 3 แล้วกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่เดิม รถคันที่ 2 วิ่งออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปหาลูกค้าคนที่ 4 และ 5 แล้วกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่เดิม รถคันที่ 3 วิ่งออกจากศูนย์กระจายสินค้าไปหาลูกค้าคนที่ 6, 7 และ 8 แล้วกลับมายังจุดกระจายสินค้าที่เดิมจากตัวแทนคำตอบนี้จะใช้วิธีอาณานิคมพัฒนาคำตอบต่อไป

ดังรูปที่ 3.3 เป็นการแสดงลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ การเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้าเพื่อนำสินค้าไปยังลูกค้าจุดต่างๆ



รูป 3.3 ลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

### 3.6 เขียนโปรแกรม VBA เพื่อแก้ปัญหา VRP โดยวิธีอาณานิคม

ทำการเขียนโปรแกรม VBA บน Microsoft Excel เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยใช้วิธีอาณานิคม

### 3.7 ทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีอาณานิคม

โดยการทดสอบความถูกต้องของค่าคำตอบที่ได้จากโปรแกรม ด้วยการตรวจสอบจากการคำนวณการเปรียบเทียบ โดยใช้วิธีอื่น เช่น การคำนวณโดยใช้เครื่องคิดเลข หรือการใส่ค่าคำตอบที่ทราบค่าใช้จ่ายรวมอยู่แล้วลงไปโปรแกรม เป็นต้น

### 3.8 การทดลองโปรแกรม

3.8.1 พิจารณาโจทย์ที่ละเอียดในโจทย์ โดยจะทำการแบ่งโจทย์ปัญหาออกเป็น 3 ขนาด

3.8.1.1 ปัญหาขนาดเล็ก มีอยู่ 3 ปัญหา โดยมีข้อมูล ดังตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหา ข้อที่	ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย สินค้า)	Fix Cost (บาท/ คัน)	Variable Cost (บาท/ กิโลเมตร)	Loading Cost (บาท/หน่วย สินค้า/ กิโลเมตร)	Speed (กิโลเมตร /ชั่วโมง)
1	1	10	100	30	1.0	2.0	2.0
	2	5	200	80	1.2	3.0	1.5
2	1	5	300	45	1.0	2.0	2.0
	2	5	400	70	1.2	3.0	1.5
3	1	5	40	60	1.0	2.0	2.0
	2	10	80	150	1.2	3.0	1.5
	3	5	150	300	1.4	4.0	1.0

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดเล็ก

ปัญหาข้อที่	จำนวนลูกค้า	เวลาในการขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/นาที)
1	25	90	5
2	25	10	5
3	25	10	5

3.8.1.2 ปัญหาขนาดกลาง มีอยู่ 3 ปัญหา โดยมีข้อมูลดังตารางที่ 3.4 และตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาข้อที่	ประเภทของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วยสินค้า)	Fix Cost (บาท/คัน)	Variable Cost (บาท/กิโลเมตร)	Loading Cost (บาท/หน่วยสินค้า/กิโลเมตร)	Speed (กิโลเมตร/ชั่วโมง)
1	1	10	50	10	1.0	2.0	2.0
	2	10	80	20	1.2	3.0	1.5
	3	10	100	30	1.4	4.0	1.0
2	1	10	50	80	1.0	2.0	2.0
	2	10	80	140	1.2	3.0	1.5
	3	10	120	250	1.4	4.0	1.0
3	1	10	50	10	1.0	2.0	2.0
	2	15	80	20	1.2	3.0	1.5
	3	10	100	30	1.4	4.0	1.0

ตารางที่ 3.5 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดกลาง

ปัญหาข้อที่	จำนวนลูกค้า	เวลาในการขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/นาที)
1	50	90	5
2	50	10	5
3	50	10	5

3.8.1.3 ปัญหาขนาดใหญ่ มีอยู่ 3 ปัญหา โดยมีข้อมูล ดังตารางที่ 3.6 และตารางที่ 3.7

ตารางที่ 3.6 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับยานพาหนะของปัญหาขนาดใหญ่

ปัญหา ข้อที่	ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย สินค้า)	Fix Cost (บาท/ คัน)	Variable Cost (บาท/ กิโลเมตร)	Loading Cost (บาท/หน่วย สินค้า/กิโลเมตร)	Speed (กิโลเมตร /ชั่วโมง)
1	1	20	100	30	1.0	2.0	2.0
	2	5	200	80	1.5	3.0	1.5
2	1	10	300	45	1.0	2.0	2.0
	2	5	400	70	1.5	3.0	1.5
3	1	10	40	60	1.0	2.0	2.0
	2	20	80	150	1.5	3.0	1.5
	3	10	150	300	2.0	4.0	1.0

ตารางที่ 3.7 แสดงรายละเอียดเกี่ยวกับลูกค้าของปัญหาขนาดใหญ่

ปัญหาข้อที่	จำนวนลูกค้า	เวลาในการขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/นาที)
1	100	90	5
2	100	10	5
3	100	10	5

3.8.2 พิจารณาโจทย์ที่ละเอียดข้อในโจทย์ข้อที่สนใจทำการทดลองเพื่อหาคำตอบอย่างน้อย 500 คำตอบ

3.8.3 ทำการทดลองของโจทย์ข้อนั้น โดยเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวิธีอานานิคมมด ดังตารางที่ 3.8

ตารางที่ 3.8 การเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ของวิธีอานานิคมมด

พารามิเตอร์	ต่ำ	สูง
จำนวนมด/จำนวนรอบ	100/100	500/20
$\alpha$	0.5	3
$\beta$	0.5	3
$\rho$	0.01	0.05



3.8.4 นำผลลัพธ์จากการ Run ทั้งหมด มาวิเคราะห์ความแปรปรวน Anova ในโปรแกรม Minitab เพื่อดูว่าค่าพารามิเตอร์ใด ที่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของค่าคำตอบบ้าง จากนั้นทำการเลือกพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของโจทย์ข้อที่เราพิจารณา

3.8.5 เลือกโจทย์ข้อต่อไป และทำซ้ำข้อ 3.8.1-3.8.3 จนกระทั่งพิจารณาโจทย์ครบทุกข้อ จึงหมดการทดลอง

3.8.6 นำค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมที่สุด ที่ได้เลือกจากโจทย์แต่ละข้อมาทำการ Run หาค่าคำตอบ หรือจะเก็บค่าคำตอบไว้ก่อน แล้วนำค่าคำตอบไป Run ซ้ำอีก 10 รอบ จากนั้นจะได้คำตอบใหม่ แล้วนำมาเปรียบเทียบกับวิธีกลุ่มอื่น

### 3.9 วิเคราะห์และสรุปผล

นำผลลัพธ์ที่ได้มาวิเคราะห์และนำมาพิจารณาว่าผลลัพธ์ที่ได้เหมาะสมหรือไม่



## บทที่ 4

### ผลการดำเนินโครงการ

ในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินโครงการการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด โดยวิธีอานานิคมมต ซึ่งมี 2 วิธี ใช้ในกระบวนการหาคำตอบ คือ การปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบระยะทางรวม โดยมีฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 กรณี คือ การขนส่งโดยบรรทุกน้ำหนักตามที่รถบรรทุกได้ และการขนส่งโดยบรรทุกน้ำหนักตามที่ลูกค้าสั่งใช้ภาษา Visual Basic For Application บน Microsoft Excel และผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำที่สุด นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบ และวิเคราะห์ผลการทดลองกับงานวิจัยอื่นๆ ด้วย ซึ่งจะประกอบไปด้วย

4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ

4.2 วิธีการหาคำตอบ

4.3 การซ่อมแซมคำตอบ

4.4 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีอานานิคมมต

4.5 การใช้งานของโปรแกรม

4.6 ผลการทดสอบโปรแกรมและการวิเคราะห์ผลการทดลอง (แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนักเต็ม

ความจุยานพาหนะ

4.8 ผลการทดสอบโปรแกรมและการวิเคราะห์ผลการ (แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดสอบฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนักเต็ม

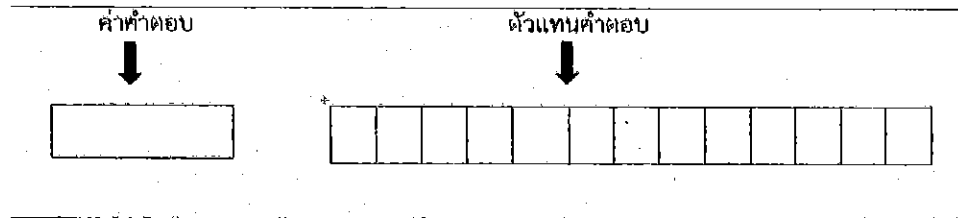
ความจุตามความต้องการของลูกค้า

4.10 การแสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย

4.11 การคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของโปรแกรม

#### 4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ

การสร้างตัวแทนคำตอบของวิธีอานานิคมมต จะสร้างได้เพียงแค่ว่าคำตอบซึ่งจะได้มาจากการที่เราคำนวณค่าจากวิธีอานานิคมมต และจะมีค่าคำตอบอยู่ตำแหน่งซ้ายมือของตัวแทนคำตอบ ดังรูปที่ 4.1



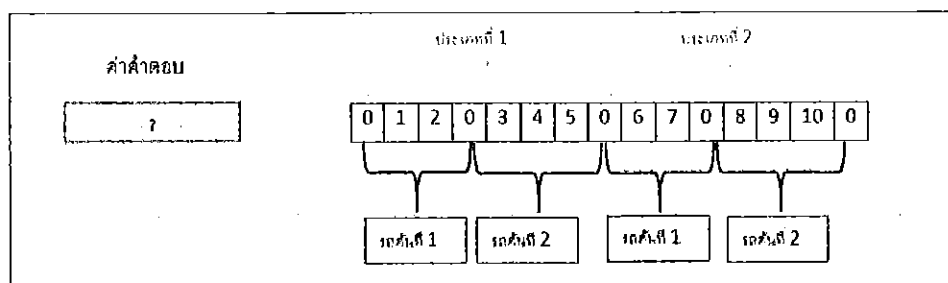
รูปที่ 4.1 แสดงตัวแทนคำตอบ

ตัวอย่างที่ 4.1 กำหนดให้มีรถบรรทุก 2 ประเภท ประเภทละ 2 คัน ซึ่งรถบรรทุกประเภทที่ 1 สามารถบรรทุกสินค้าได้ 200 กิโลกรัม และรถบรรทุกประเภทที่ 2 สามารถบรรทุกได้ 100 กิโลกรัม และมีลูกค้าจำนวน 10 คน ซึ่งลูกค้าแต่ละคนมีความต้องการต่างกัน ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละคน

ลูกค้า	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
ความต้องการ (กิโลกรัม)	70	80	65	80	50	45	50	35	27	30

ตัวแทนคำตอบนี้ได้จากการสุ่มตัวเลขขึ้นมาหนึ่งชุดของมด ให้เป็น 0-1-2-0-3-4-5-0-6-7-0-8-9-10-0 ซึ่งหมายถึงรถบรรทุกประเภทที่ 1 คันที่ 1 ออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 1 คนที่ 2 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ต่อมารถบรรทุกประเภทที่ 1 คันที่ 2 ออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 3 คนที่ 4 คนที่ 5 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ต่อมารถบรรทุกประเภทที่ 2 คันที่ 1 ออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 6 คนที่ 7 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ต่อมารถบรรทุกประเภทที่ 2 คันที่ 2 ออกจากศูนย์กระจายสินค้าส่งสินค้าให้ลูกค้าคนที่ 8 คนที่ 9 คนที่ 10 และกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า ดังรูปที่ 4.2



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการสร้างตัวแทนคำตอบ

## 4.2 วิธีการหาคำตอบ

### 4.2.1 การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่

#### 4.2.1.1 ตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับอาณานิคมมด

- ก. จำนวนรอบการวนซ้ำ (Iteration)
- ข. จำนวนประชากรมด (Ant Population)
- ค. แอลฟา (Alpha)
- ง. เบต้า (Beta)
- จ. อัตราการระเหย (Evaporation Rate) ดังรูปที่ 4.3

Ant	300
Iteration	20
Initial	1
Evaporation rate (rho)	0.05
Problem 5	
Add	

รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการตั้งค่า Parameter ทั้งหมด

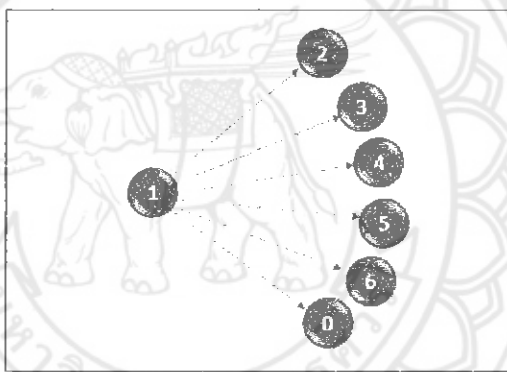
จากรูปที่ 4.3 เป็นการแสดงตัวอย่างการตั้งค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวิธีอาณานิคมมด

4.2.1.2 คำนวณค่าความน่าสนใจ (Attractiveness :  $\omega_{ij}$ ) เส้นทางแต่ละเส้นทาง ดังสมการที่ 2.2 โดยค่าฟีโรโมน (Pheromones หรือ  $\tau_{ij}$ ) เพิ่มความน่าสนใจของเส้นทางที่มดตัวต่อไปจะเดินทางไปหาลูกค้า ซึ่งจากโจทย์ได้กำหนดให้ค่าฟีโรโมนเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 1 แสดงตัวอย่างการตั้งค่าฟีโรโมนเริ่มต้น ดังตารางที่ 4.2 และระยะทางในการเดินทาง (Distance หรือ  $d_{ij}$ ) ระยะทางระหว่างลูกค้าคนที่  $i$  ไปยังลูกค้าที่  $j$  นำไปหาค่าคงที่ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) โดย  $\frac{1}{d_{ij}} = \pi_{ij}$  ซึ่งเป็นส่วนกลับระยะทางจากลูกค้าที่  $i$  ไปลูกค้าที่  $j$

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าพีโรมอนเริ่มต้น

ลูกค้า	0	1	2	3	4	5
0	0	1	1	1	1	1
1	1	0	1	1	1	1
2	1	1	0	1	1	1
3	1	1	1	0	1	1
4	1	1	1	1	0	1
5	1	1	1	1	1	0

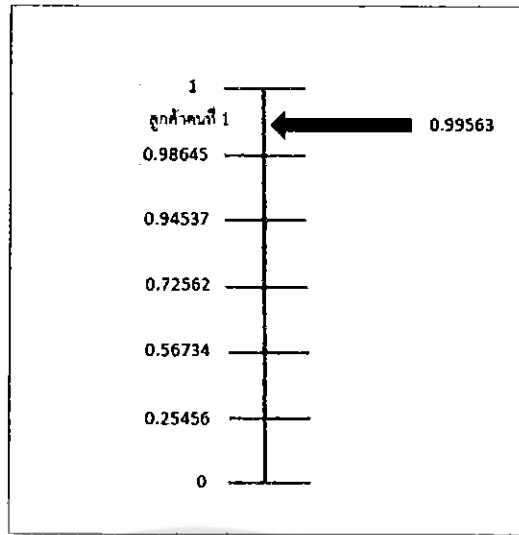
4.2.1.3 สร้างคำตอบเริ่มต้น โดยสร้างคำตอบเริ่มต้นจากการสุ่มเลือกลูกค้าแต่ละคน โดยการสุ่มเลือกจะเพิ่ม 0 หรือ 1 แต่ละคัน เข้าไปด้วยซึ่งจุดเริ่มต้นตั้งค่าให้เป็น 1 และจุดสุดท้ายตั้งค่าให้เป็น 0 ทำการสุ่มเลือก ดังสมการที่ 2.3 แสดงตัวอย่างการสุ่มเลือกลูกค้า ดังรูปที่ 4.4



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการสุ่มเลือกลูกค้าแต่ละคน

ก. คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นสะสม ดังสมการที่ 2.4

ข. สุ่มตัวเลข (0-1) มา 1 ตัว หากตัวเลขตกอยู่ในช่วงใดจะเลือกลูกค้านั้นเป็นลำดับแรก แต่ถ้าสุ่มได้ 0 ก็จะเป็นรถคันถัดไป แสดงตัวอย่างการสุ่มเลือกตัวเลข 0-1 จากวงกลมรูเล็ต ดังรูปที่ 4.5



รูปที่ 4.5 การสุ่มเลือกตัวเลข 0-1 จากวงกลมสุ่ม

ค. สร้างตัวแทนคำตอบของมตทุกตัวจากการสุ่มเส้นทาง

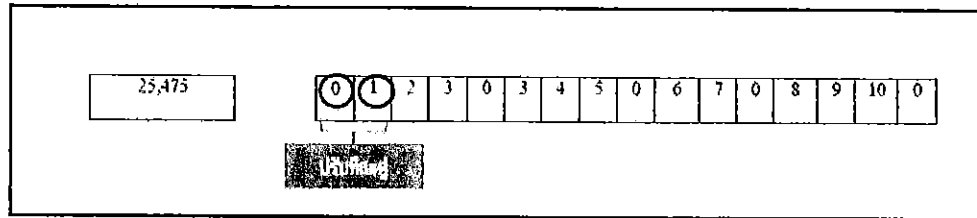
4.2.2.4 เลือกเส้นทางของมตที่ให้ค่าคำตอบ จากตัวแทนคำตอบที่ดีที่สุดของรอบนั้น แสดงตัวอย่าง ดังรูปที่ 4.6

**ตัวแทนคำตอบที่ดีที่สุด**

25,475	0	1	2	3	0	0	4	5	0	6	7	0	8	9	10	0
45,258	0	3	5	0	6	8	9	0	1	2	0	4	7	0	10	0
93,354	0	4	7	0	1	5	2	0	3	8	0	0	10	9	0	0
56,745	0	1	2	0	3	4	5	0	9	10	6	0	8	0	7	0
36,854	0	3	0	1	5	0	6	7	8	0	2	4	0	9	10	0

รูปที่ 4.6 ตัวอย่างการเลือกเส้นทางของมตที่ให้ค่าคำตอบที่ดีที่สุดของรอบนั้น

4.2.2.5 ทำการปรับค่าฟีโรโมน มตที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดจะถูกเลือกเพื่ออัปเดตค่าฟีโรโมน เมื่อ  $i$  และ  $j$  ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มีการอัปเดตฟีโรโมน ดังสมการที่ 2.5 เมื่อ  $i$  และ  $j$  ไม่ได้อยู่ในเส้นทางที่มีการอัปเดตฟีโรโมน ดังสมการที่ 2.6 มตที่ให้คำตอบที่ดีที่สุดจะถูกเลือกเพื่ออัปเดตค่าฟีโรโมนแบบทีละคู่ ปรับค่าฟีโรโมนโดยปรับทีละคู่ของระยะทาง  $i$  ไป  $j$  ใช้สมการที่ 2.6 คือ  $\tau_{i,j} = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^{n-1}) + \pi^l$  ซึ่งค่า  $\pi^l$  หมายความว่า เป็นส่วนกลับของระยะทางคู่ของแต่ละคู่ ตัวอย่างการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางเป็นคู่ ดังรูปที่ 4.7



รูปที่ 4.7 ตัวอย่างการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางเป็นคู่

4.2.1.6 เลือกคำตอบที่ดีที่สุดที่ได้จากค่าคำตอบที่ดีของแต่ละรอบ

4.2.1.7 ทำการวนซ้ำข้อ 4.2.1.2 - 4.2.1.6 ให้ครบจำนวนรอบแล้วหยุดการทำงาน

#### 4.2.2 การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางเป็นรวม

วิธีอานานิคมมดแบบปรับค่าฟีโรโมนระยะทางรวม มีขั้นตอนแบบเดียวกับวิธีอานานิคมมดแบบปรับค่าฟีโรโมนระยะทางคู่ มีการปรับค่าฟีโรโมนระยะทางรวมในข้อตอน 4.2.2.5 มดที่หาคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น จะถูกเลือกเพื่ออัปเดตค่าฟีโรโมนแบบที่ละคู่ แสดงตัวอย่างการเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด ดังรูปที่ 4.8 แล้วปรับค่าฟีโรโมนโดยปรับที่ละคู่ของระยะทาง  $i$  ไป  $j$  ใช้สมการที่ 2.6 คือ  $\tau_{i,j} = (1 - \rho)(\tau_{i,j}^{n-1}) + \pi^l$  ซึ่งค่า  $\pi^l$  หมายความว่า เป็นส่วนกลับของระยะทางรวมที่สั้นที่สุดของรอบนั้น

ระยะทางรวม	ระยะทางคู่															
	0	1	2	3	0	3	4	5	0	6	7	0	8	9	10	0
25	0	3	5	0	2	0	0	1	2	0	1	7	0	10	0	
50	0	4	7	0	1	5	2	0	3	8	0	0	10	9	6	0
75	0	1	2	0	3	4	5	0	9	10	6	0	8	0	7	0
32	0	3	0	1	5	0	6	7	8	0	2	4	0	9	10	0
33																

รูปที่ 4.8 ตัวอย่างการเลือกระยะทางที่สั้นที่สุด

#### 4.3 การซ่อมแซมคำตอบ

ส่วนนี้จะมีขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไข และการซ่อมแซมคำตอบหลังจากสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ในกระบวนการนี้จะมีจุดประสงค์ เพื่อปรับปรุงคำตอบเริ่มต้นนั้นไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบความจุของยานพาหนะทุกคันตามตัวแทนคำตอบ

ถ้าหากมียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความจุ ก็จะนำความจุนั้นไปใส่คันแรกก่อนเสมอ ถ้าคันแรกเต็มก็จะนำไปใส่คันถัดไป แล้วถ้าจะเริ่มรอบใหม่ก็เริ่มคันแรก ดังรูปที่ 4.9 เป็นตัวอย่างวิธีการซ่อมแซมคำตอบไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ มีขั้นตอนการทำงาน ดังนี้

ขั้นที่ 1 ได้ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่มาจากกรุปุ่ม

ขั้นที่ 2 ตรวจสอบความจุของยานพาหนะแต่ละคันตามตัวแทนคำตอบ โดยดูความจุของยานพาหนะในเส้นทางเดียวกัน ถ้าหากพบว่ามียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความสามารถ (Infeasible Solution)ให้นำลูกค้าที่เกินออกก่อน

ขั้นที่ 3 ตรวจสอบความจุจนครบจำนวนยานพาหนะทุกคัน ถ้าหากมีการละเมิดความจุที่ ยานพาหนะ ให้กลับเข้าไปใส่ยานพาหนะ โดยเริ่มตั้งแต่ยานพาหนะคันแรกเสมอจนกว่ายานพาหนะ คันแรกจะบรรจุสินค้าเต็มจึงจะไปใส่คันถัดไป

Vehicle Capacity											180	80	80	80
Total Demand	35	40	55	65	50	70	20	50	45					
ตัวแทนค่าตอบ(ก่อน)	0	1	2	3	0	4	5	0	6	7	0	8	9	0
ลูกค้าที่เกินความจุ														
	0	1	2	3		4	0	6	7	0	8	9	0	
	0	1	2	3	5	0	4	0	6	7		0	8	0
ตัวแทนค่าตอบ(หลัง)	0	1	2	3	5	0	4	0	6	7		0	8	0
Total Demand											180	65	145	50

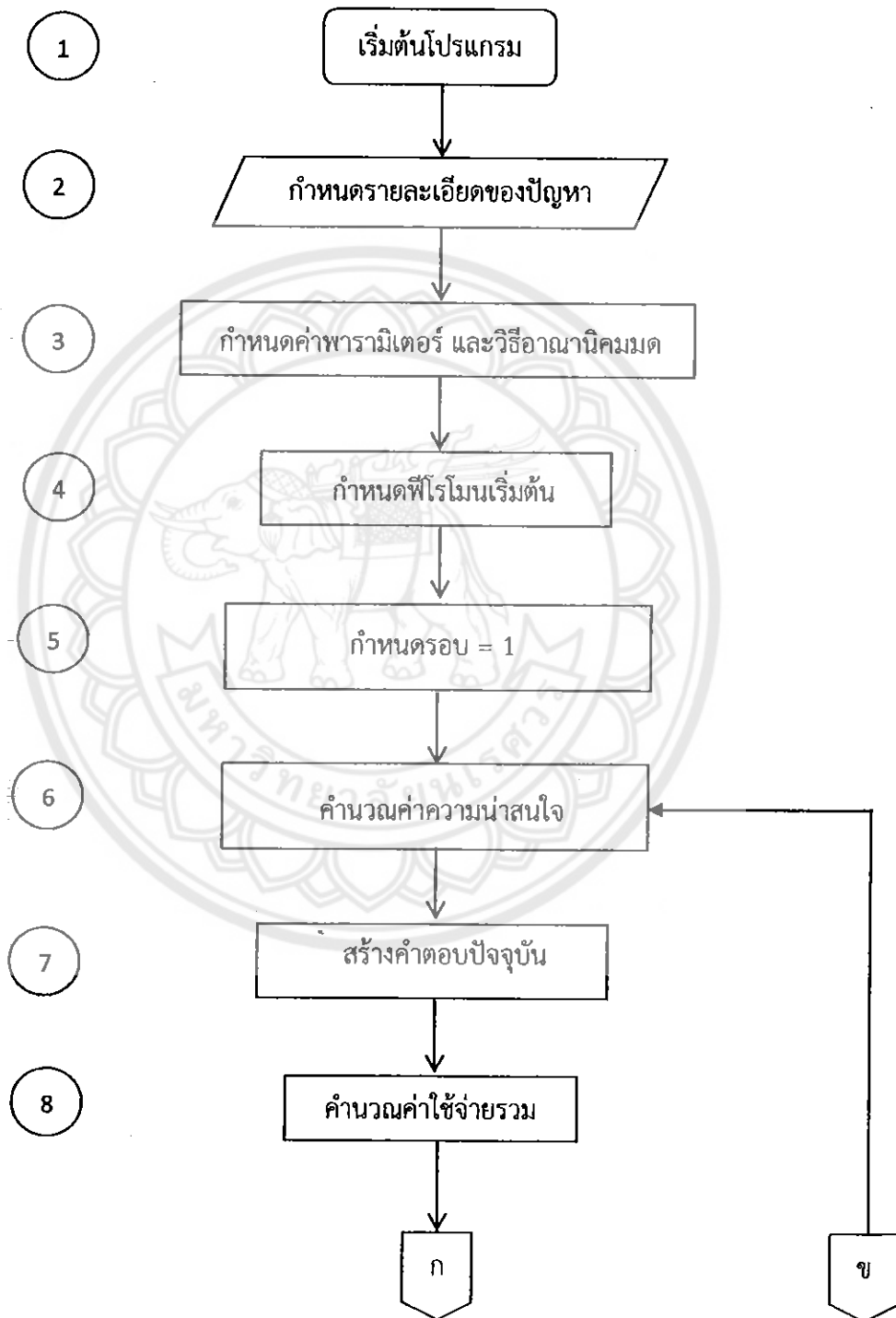
รูปที่ 4.9 การซ่อมแซมคำตอบ

จากรูปที่ 4.9 จากตัวแทนคำตอบพบว่ายานพาหนะคันที่ 2 และคันที่ 4 มีการบรรทุกสินค้าเกิน จึงนำลูกค้ารายที่ 5 และรายที่ 9 ออกมา หลังจากนั้นจึงนำลูกค้าที่เกินมากลับใส่เข้าไปในยานพาหนะ โดยเริ่มตั้งแต่ยานพาหนะคันแรก ทำซ้ำจนไม่มียานพาหนะบรรทุกเกินมา

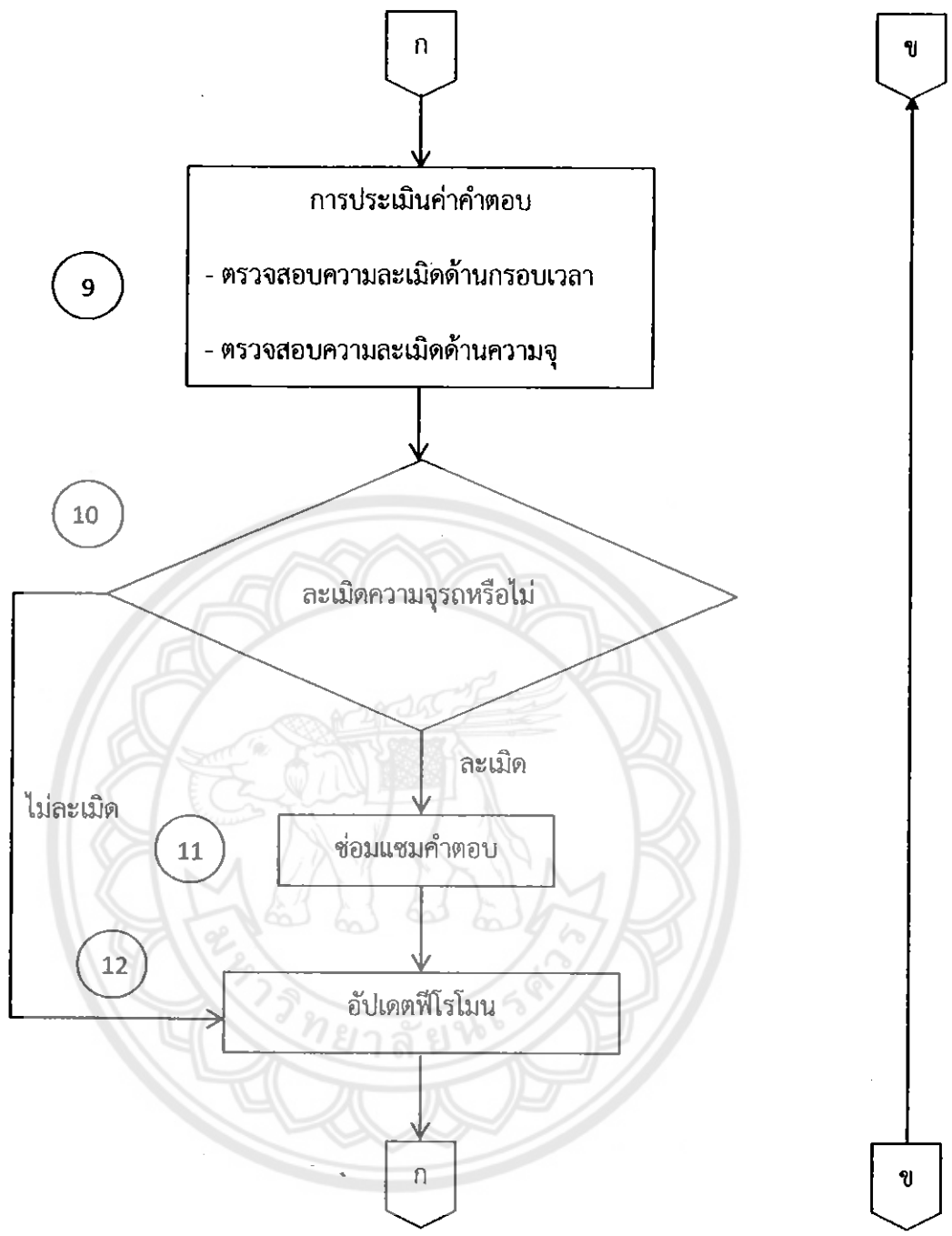


#### 4.4 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีอานานิคมมด

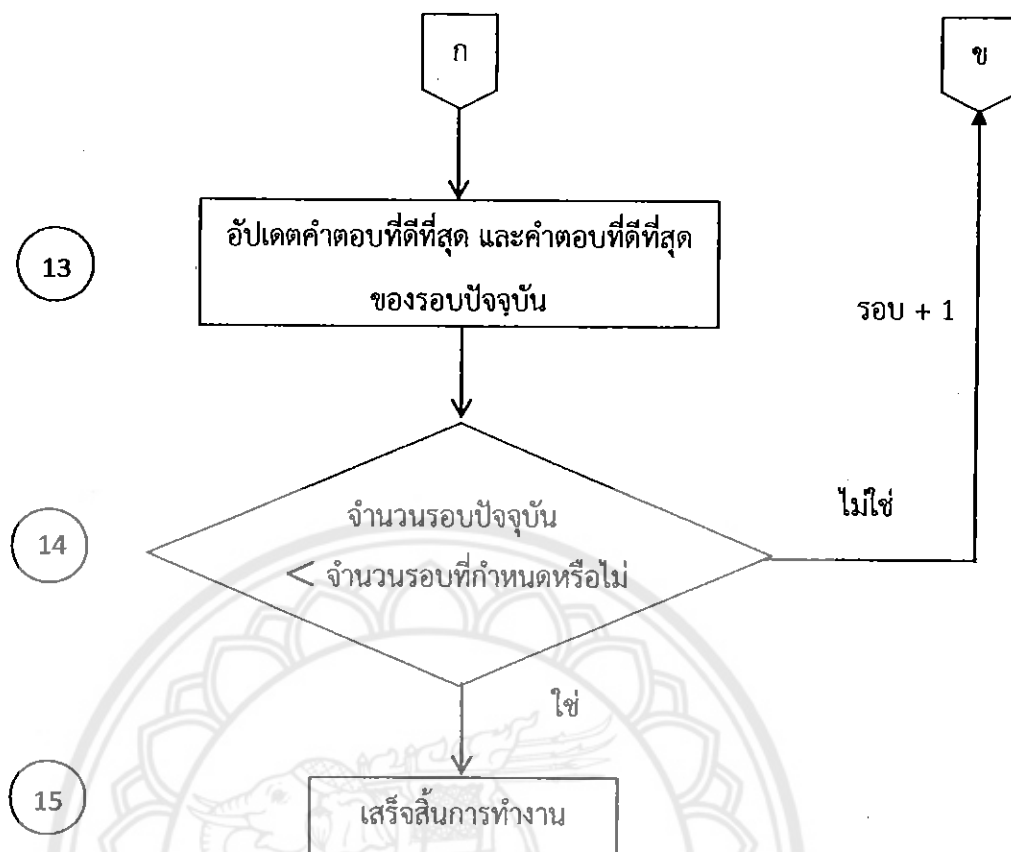
การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยวิธีอานานิคมมด มีการหาค่าคำตอบเพื่อประเมินหาค่าใช้จ่ายที่ดีที่สุด ซึ่งกระบวนการ ดังรูปที่ 4.10



รูปที่ 4.10 แสดงการทำงานของวิธีอานานิคมมด



รูปที่ 4.10 (ต่อ) แสดงการทำงานของวิธีอาณานิคมมด



รูปที่ 4.10 (ต่อ) แสดงการทำงานของวิธีอานานิคมมด

จากรูปที่ 4.10 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีอานานิคมมดได้ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การเริ่มต้นเปิดโปรแกรมขึ้นมาจากหน้าต่าง Excel

ขั้นตอนที่ 2 การกำหนดรายละเอียดของปัญหา ขนาดของโจทย์ที่ต้องการรัน และวิธีการหาคำตอบ

ขั้นตอนที่ 3 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ทั้งหมดที่เกี่ยวข้องกับวิธีอานานิคมมด โดยมีการตั้งค่าจำนวนมด จำนวนรอบในการรัน อัตราการระเหย ค่าแอลฟา และค่าเบต้า

ขั้นตอนที่ 4 กำหนดค่าฟีโรโมนเริ่มต้น ซึ่งตั้งค่าเท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 5 กำหนดจำนวนรอบ เท่ากับ 1

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณหาค่าความน่าสนใจ เพื่อหาความน่าสนใจที่มดจะเดินทางไป

ขั้นตอนที่ 7 คำนวณหาค่าความน่าจะเป็นที่มีโอกาสในการเลือกมดแต่ละตัว

ขั้นตอนที่ 8 เป็นการสุ่มตัวเลขจากวงกลมรูเล็ต ตั้งแต่เลข 0 - 1 ว่าจะตกอยู่ในช่วงใดก็จะเลือกมดตัวนั้นเป็นลำดับแรก เมื่อทำการสุ่มตัวเลขจากวงกลมรูเล็ตครบก็จะได้ค่าตัวแทนคำตอบออกมา

ขั้นตอนที่ 9 ประเมินหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบนั้น

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบว่าน้ำหนักบรรทุกทุกละเมิดความจุของรถหรือไม่ ถ้าหากละเมิดความจุของรถ ให้ทำการซ่อมแซมคำตอบก่อน ในกรณีที่ไม่มีการละเมิดความจุรถเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 11 การซ่อมแซมคำตอบในกรณีที่น้ำหนักบรรทุกทุกความจุของรถเกิน

ขั้นตอนที่ 12 การปรับค่าฟีโรโมน จะทำการอัปเดตค่าฟีโรโมนของมดทุกตัว โดยการระเหยของฟีโรโมน

ขั้นตอนที่ 13 ทำการอัปเดตค่าฟีโรโมนของคำตอบที่ดีที่สุด ขั้นตอนนี้จะแยกออกเป็น 2 วิธี คือ ปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ จะใช้สมการที่ 2.6 แต่จะอัปเดตโดยใช้ระยะที่ละคู่ ส่วนการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม ใช้สมการที่ 2.6 แต่จะอัปเดตโดยใช้ระยะทางรวมที่ต่ำที่สุด ในการหาค่าคงที่หรือส่วนกลับของระยะทางที่นำมาใช้ในสมการ 2.6

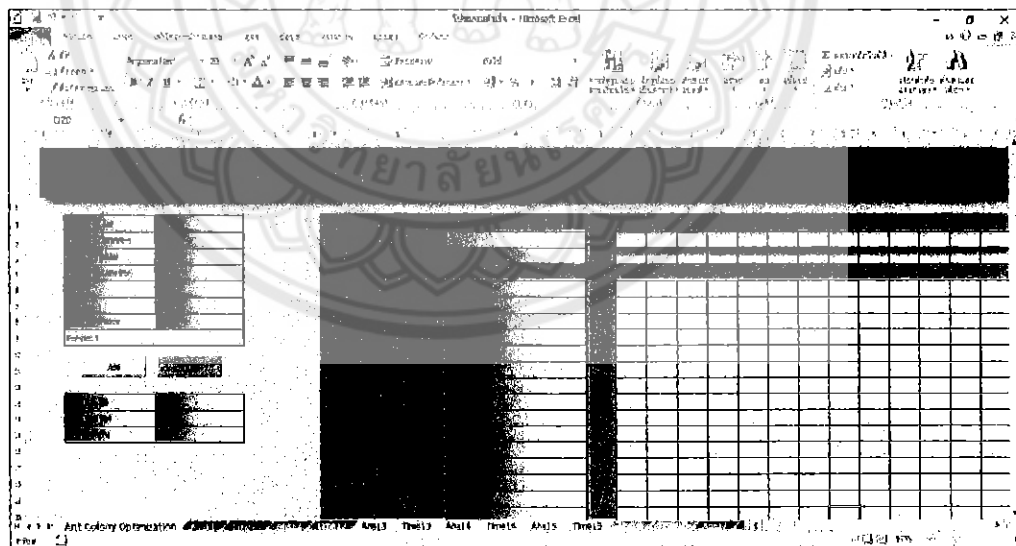
ขั้นตอนที่ 14 ถ้าหากไม่ครบจำนวนรอบการวนซ้ำตามที่ผู้ใช้กำหนดก็ทำการวนซ้ำเรื่อยๆ

ขั้นตอนที่ 15 สิ้นสุดการทำงาน

## 4.5 การใช้งานของโปรแกรมและการค้นหาคำตอบ

### 4.5.1 เริ่มต้นเปิดโปรแกรม

เมื่อเริ่มต้นเปิดโปรแกรมขึ้นมาจากหน้าต่าง Excel จะมีหน้าต่าง ดังรูปที่ 4.11



รูปที่ 4.11 การเริ่มต้นเปิดโปรแกรมขึ้นมาจากหน้าต่าง Excel

#### 4.5.2 แสดงการ Input ข้อมูล

ให้ผู้ใช้คลิกปุ่ม Add เพื่อเข้าสู่หน้าต่าง User form กรอกค่าพารามิเตอร์ ดังรูปที่ 4.12

Number of Ant	100
Number of Bacteria	100
Phormone Initial	1
Evaporation rate (rho)	0.7
Alpha	3
Beta	5

Problem 5

Add

รูปที่ 4.12 แสดงการคลิกปุ่ม Add

#### 4.5.3 การกรอกค่าบน User form

4.5.3.1 กรอกค่าพารามิเตอร์บน User form ประกอบด้วย จำนวนมด จำนวนรอบ อัตราการระเหย แอลฟา และเบต้า โดยกรอกค่าพีโรโมนเริ่มต้นไปด้วย แสดงหมายเลข 1 ดังรูปที่ 4.13

4.5.3.2 เลือกวิธีการปรับค่าพีโรโมน ทำการเลือกการใช้งานระหว่างการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ หรือการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงหมายเลข 2 ดังรูปที่ 4.13

4.5.3.3 เลือกขนาดของโจทช์ ซึ่งมีอยู่ 3 ขนาด ซึ่งประกอบไปด้วย ขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ขนาดละ 3 ข้อ เลือกโจทช์ที่จะรันแล้วคลิกปุ่ม OK แสดงหมายเลข 3 ดังรูปที่ 4.13

Number of Ant	100
Number of Iteration	100
Phormone Initial	1
Evaporation rate (rho)	0.7
Alpha	3
Beta	5

Problem: Problem 1

OK Cancel

รูปที่ 4.13 กรอกค่าพารามิเตอร์ การเลือกการปรับค่าพีโรโมน และการเลือกขนาดของปัญหา

#### 4.5.4 การรันโปรแกรม

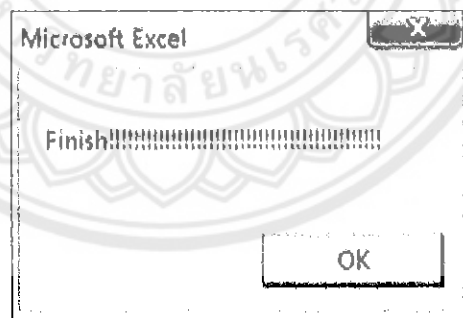
ตรวจสอบการกรอกค่าพารามิเตอร์ และโจทย์ที่ต้องการรันให้ครบ เมื่อกรอกค่าพารามิเตอร์ครบจะได้ ดังรูปที่ 4.14 แล้วคลิกปุ่มรันเพื่อคำนวณหาค่าใช้จ่าย

Number of Ant	100
Number of Iteration	10
Number of Trial	1
Loss weight (rho)	0.05
Ant	3
Iteration	3
รวม	
Problem 5	
Add	

รูปที่ 4.14 แสดงผลเมื่อกรอกค่าพารามิเตอร์เสร็จ

#### 4.5.5 แสดงผลเมื่อรันโปรแกรมเสร็จ

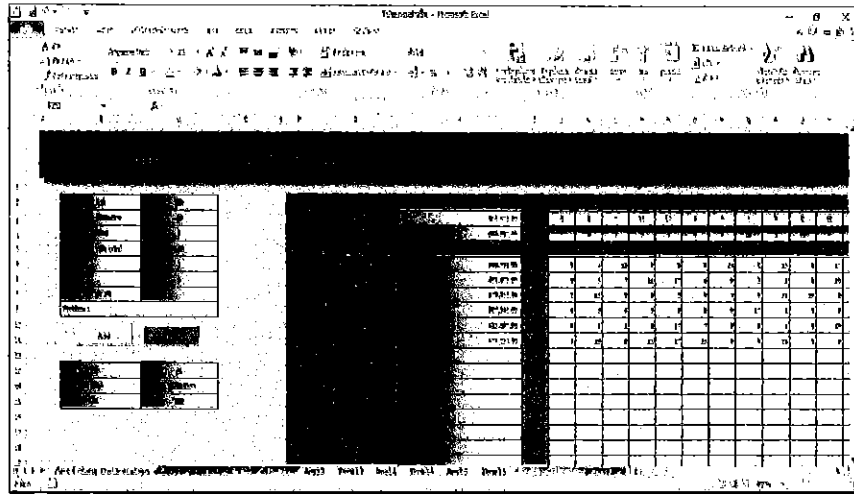
โปรแกรมทำการรันหาคำตอบที่ดีที่สุด เมื่อโปรแกรมรันเสร็จเรียบร้อยแล้วจะมีหน้าต่าง ดังรูปที่ 4.15 แสดงผลออกมา



รูปที่ 4.15 แสดงผลเมื่อโปรแกรมรันเสร็จเรียบร้อยแล้ว

#### 4.5.6 แสดงค่าคำตอบ

เมื่อโปรแกรมรันคำตอบเสร็จแล้ว จะได้คำตอบที่ดีที่สุด ดังรูปที่ 4.16



รูปที่ 4.16 แสดงผลโปรแกรมรันค่าตอบเสร็จแล้ว

#### 4.6 ผลการทดสอบโปรแกรมของฟังก์ชันเข้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนักเต็มความจุยานพาหนะ (ฟังก์ชันเข้าประสงค์ 1)

หลังจากได้ทำการทดสอบโปรแกรมเบื้องต้นแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

ซึ่งคณะผู้ดำเนินโครงการได้ทำการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ในการค้นหาคำตอบที่ดีที่สุดโดยทั้ง 2 วิธีนี้เราจะใช้พารามิเตอร์ชุดเดียวกันและจำนวนรอบที่รันเท่ากัน และมีการทำซ้ำในพารามิเตอร์แต่ละชุด 5 ครั้ง รายละเอียดการตั้งค่าพารามิเตอร์ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด

พารามิเตอร์ชุดที่	จำนวนม/จำนวนรอบการวนซ้ำ	ค่าฟีโรโมน	ค่าอัตราการระเหย	แอลฟา	บีตา
1	100/100	1	0.01	0.5	0.5
2	100/100	1	0.01	0.5	1.5
3	100/100	1	0.01	0.5	3.0
4	100/100	1	0.01	1.5	0.5
5	100/100	1	0.01	1.5	1.5
6	100/100	1	0.01	1.5	3.0
7	100/100	1	0.01	3.0	0.5
8	100/100	1	0.01	3.0	1.5
9	100/100	1	0.01	3.0	3.0
10	100/100	1	0.03	0.5	0.5

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด

พารามิเตอร์ ชุดที่	จำนวนมด/จำนวน รอบการวนซ้ำ	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตราการ ระเหย	แอลฟา	บีต้า
11	100/100	1	0.03	0.5	1.5
12	100/100	1	0.03	0.5	3.0
13	100/100	1	0.03	1.5	0.5
14	100/100	1	0.03	1.5	1.5
15	100/100	1	0.03	1.5	3.0
16	100/100	1	0.03	3.0	0.5
17	100/100	1	0.03	3.0	1.5
18	100/100	1	0.03	3.0	3.0
19	100/100	1	0.05	0.5	0.5
20	100/100	1	0.05	0.5	1.5
21	100/100	1	0.05	0.5	3.0
22	100/100	1	0.05	1.5	0.5
23	100/100	1	0.05	1.5	1.5
24	100/100	1	0.05	1.5	3.0
25	100/100	1	0.05	3.0	0.5
26	100/100	1	0.05	3.0	1.5
27	100/100	1	0.05	3.0	3.0
28	200/50	1	0.01	0.5	0.5
29	200/50	1	0.01	0.5	1.5
30	200/50	1	0.01	0.5	3.0
31	200/50	1	0.01	1.5	0.5
32	200/50	1	0.01	1.5	1.5
33	200/50	1	0.01	1.5	3.0
34	200/50	1	0.01	3.0	0.5
35	200/50	1	0.01	3.0	1.5
36	200/50	1	0.01	3.0	3.0
37	200/50	1	0.03	0.5	0.5
38	200/50	1	0.03	0.5	1.5
39	200/50	1	0.03	0.5	3.0



ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด

พารามิเตอร์ ชุดที่	จำนวนมด/จำนวน รอบการวนซ้ำ	ค่าพีโรโมน	ค่าอัตราการ ระเหย	แอลฟา	บีต้า
40	200/50	1	0.03	1.5	0.5
41	200/50	1	0.03	1.5	1.5
42	200/50	1	0.03	1.5	3.0
43	200/50	1	0.03	3.0	0.5
44	200/50	1	0.03	3.0	1.5
45	200/50	1	0.03	3.0	3.0
46	200/50	1	0.05	0.5	0.5
47	200/50	1	0.05	0.5	1.5
48	200/50	1	0.05	0.5	3.0
49	200/50	1	0.05	1.5	0.5
50	200/50	1	0.05	1.5	1.5
51	200/50	1	0.05	1.5	3.0
52	200/50	1	0.05	3.0	0.5
53	200/50	1	0.05	3.0	1.5
54	200/50	1	0.05	3.0	3.0
55	500/20	1	0.01	0.5	0.5
56	500/20	1	0.01	0.5	1.5
57	500/20	1	0.01	0.5	3.0
58	500/20	1	0.01	1.5	0.5
59	500/20	1	0.01	1.5	1.5
60	500/20	1	0.01	1.5	3.0
61	500/20	1	0.01	3.0	0.5
62	500/20	1	0.01	3.0	1.5
63	500/20	1	0.01	3.0	3.0
64	500/20	1	0.03	0.5	0.5
65	500/20	1	0.03	0.5	1.5
66	500/20	1	0.03	0.5	3.0
67	500/20	1	0.03	1.5	0.5
68	500/20	1	0.03	1.5	1.5

ตารางที่ 4.3 (ต่อ) แสดงค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด

พารามิเตอร์ชุดที่	จำนวนมด/จำนวนรอบการวนซ้ำ	ค่าฟีโรโมน	ค่าอัตราการระเหย	แอลฟา	บีตา
69	500/20	1	0.03	1.5	3.0
70	500/20	1	0.03	3.0	0.5
71	500/20	1	0.03	3.0	1.5
72	500/20	1	0.03	3.0	3.0
73	500/20	1	0.05	0.5	0.5
74	500/20	1	0.05	0.5	1.5
75	500/20	1	0.05	0.5	3.0
76	500/20	1	0.05	1.5	0.5
77	500/20	1	0.05	1.5	1.5
78	500/20	1	0.05	1.5	3.0
79	500/20	1	0.05	3.0	0.5
80	500/20	1	0.05	3.0	1.5
81	500/20	1	0.05	3.0	3.0

#### 4.6.1 ผลการทดสอบโปรแกรม วิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1

หลังจากทำการทดลองแล้วต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะปัญหา ซึ่งมีขนาดเล็ก 3 ปัญหา ขนาดกลาง 3 ปัญหา และขนาดใหญ่ 3 ปัญหา จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ ดังตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8, 4.9, 4.10, 4.11 และ 4.12

#### ตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด

โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	74,890.93	79,454.61	70,292.39	14.64
2	72,937.09	78,659.04	66,752.80	13.13
3	72,877.78	77,433.69	69,155.86	4.58
4	72,026.68	75,383.15	64,136.37	4.57

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
5	67,115.33	69,061.23	65,702.37	4.65
6	66,894.69	71,456.31	63,112.39	4.59
7	67,212.84	72,313.32	54,603.18	4.59
8	66,516.36	69,726.13	64,506.71	4.61
9	64,264.05	70,507.15	58,824.24	4.57
10	72,867.10	78,760.70	68,031.31	4.60
11	70,508.80	79,707.00	64,847.29	4.56
12	69,345.61	72,821.13	59,239.72	4.57
13	73,324.28	83,942.14	61,092.84	4.60
14	70,487.97	75,638.42	64,587.12	4.57
15	64,342.00	70,881.65	57,304.22	4.55
16	59,854.93	64,553.56	55,249.13	4.57
17	60,999.53	65,343.94	53,741.20	4.59
18	62,779.39	66,970.03	59,733.69	4.52
19	73,853.09	78,157.10	70,337.66	4.57
20	73,208.80	77,712.35	69,089.15	4.56
21	61,954.84	65,613.49	59,119.57	4.61
22	70,501.55	77,517.85	64,757.74	4.70
23	66,489.64	73,430.18	57,253.51	4.54
24	63,070.83	73,688.78	54,575.08	4.53
25	65,323.24	68,856.61	60,559.40	4.54
26	63,849.22	66,871.28	59,463.99	4.61
27	67,115.33	67,568.70	67,115.33	4.53
28	72,912.64	79,049.76	62,526.74	4.56
29	72,893.96	76,082.49	63,563.83	4.56
30	70,995.51	76,908.07	59,923.30	4.60
31	71,147.24	75,001.48	68,829.08	4.59
32	67,937.14	70,498.43	64,486.69	4.59

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
33	66,338.62	75,559.48	60,384.90	4.52
34	63,880.36	71,984.00	54,969.34	4.51
35	62,442.20	70,058.39	51,552.66	4.52
36	64,457.34	68,259.18	55,164.93	4.53
37	75,215.65	79,463.22	70,164.52	4.56
38	72,101.08	76,850.11	66,583.72	4.57
39	70,824.13	75,866.56	64,517.99	4.62
40	70,085.39	73,298.52	59,713.93	4.60
41	66,525.30	71,479.31	59,624.45	4.54
42	69,745.80	71,648.09	67,231.54	4.53
43	67,037.57	73,194.38	58,723.54	4.54
44	66,408.68	69,635.62	62,776.14	4.58
45	65,515.12	68,347.07	60,926.45	4.52
46	71,829.54	79,107.12	61,296.12	4.55
47	71,151.99	80,312.28	56,387.42	4.58
48	73,059.76	78,685.99	65,695.29	4.56
49	67,855.57	73,414.63	61,928.37	4.59
50	68,000.94	75,371.16	62,953.24	4.54
51	64,595.94	72,016.56	60,293.84	4.54
52	62,113.40	69,495.20	51,877.41	4.55
53	64,704.53	69,030.02	61,376.36	4.60
54	62,989.67	68,772.98	56,780.23	4.52
55	72,829.04	76,977.06	67,040.98	4.57
56	73,194.10	80,382.84	69,229.71	4.57
57	73,952.07	79,692.97	70,423.66	4.54
58	73,862.80	75,346.18	72,172.73	4.63
59	69,212.03	77,629.79	61,839.70	4.58
60	69,108.04	74,227.98	61,866.42	4.54

ตารางที่ 4.4 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
61	66,987.81	73,797.35	55,714.60	4.56
62	64,644.68	69,675.85	61,554.07	4.56
63	68,460.59	71,901.19	57,912.76	4.55
64	72,456.17	78,219.46	68,857.05	4.59
65	76,046.98	82,187.41	74,179.19	4.59
66	72,551.12	76,714.49	67,684.29	4.61
67	70,404.66	73,458.76	66,117.94	4.60
68	69,575.64	74,721.79	64,681.07	4.56
69	66,613.91	70,669.90	62,082.89	4.62
70	67,380.99	69,731.27	63,652.50	4.54
71	65,096.14	72,102.91	54,917.61	4.58
72	66,281.74	72,735.88	58,744.64	4.54
73	71,932.13	76,038.01	62,924.16	4.61
74	76,177.64	78,154.06	72,511.19	4.58
75	73,221.00	75,675.52	66,985.05	4.59
76	67,278.94	78,896.56	55,707.07	4.60
77	75,520.01	79,654.99	72,103.96	4.59
78	71,189.90	80,263.10	62,919.04	4.59
79	65,920.15	72,203.73	62,465.06	4.63
80	62,253.30	71,205.93	52,285.05	4.55
81	63,275.46	69,621.90	57,224.29	4.55

จากตารางที่ 4.4 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่า  
พีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
27 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 59,319.48 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 27  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 47,907.85 บาท

ตารางที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	388,636.15	444,064.39	339,133.42	3.91
2	392,300.86	436,022.94	341,086.38	3.91
3	401,330.51	417,094.89	364,041.81	3.94
4	425,362.11	443,061.09	416,393.52	3.98
5	387,229.50	415,605.60	345,927.31	3.91
6	387,954.63	421,059.20	314,985.62	3.91
7	377,215.35	438,665.11	318,635.85	3.92
8	390,881.17	411,678.22	357,125.51	3.90
9	387,151.92	394,248.70	376,494.09	3.94
10	410,523.72	468,535.16	362,069.17	3.94
11	414,852.74	428,497.72	388,060.38	3.91
12	390,652.15	413,455.19	362,779.91	3.92
13	387,833.28	411,095.28	350,030.70	3.96
14	403,828.62	434,867.39	383,406.66	3.95
15	379,086.31	421,033.79	347,806.66	3.95
16	403,405.64	413,362.36	393,601.77	3.93
17	383,324.35	430,479.87	317,425.75	3.96
18	383,526.32	422,854.06	364,886.24	3.94
19	409,948.84	424,015.16	396,247.38	3.89
20	395,061.74	400,771.51	391,634.34	3.97
21	368,077.01	403,920.10	302,451.57	3.93
22	385,738.81	446,083.12		3.96
23	370,230.29	426,130.17	333,515.48	3.97
24	394,524.80	420,493.67	340,920.04	3.92
25	391,570.84	435,116.59	303,563.38	3.96
26	387,201.03	434,900.24	360,312.13	3.91

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
27	388,864.80	406,076.18	361,522.77	3.90
28	418,157.25	441,596.81	393,692.47	3.90
29	394,382.57	453,992.21	323,371.57	3.94
30	389,629.37	433,149.60	286,457.63	3.94
31	397,144.91	443,650.41	377,895.20	3.91
32	380,114.74	412,413.58	306,205.95	3.88
33	381,077.92	412,898.20	299,834.99	3.92
34	407,711.13	438,007.21	367,057.03	3.89
35	398,082.11	438,592.94	377,942.45	3.90
36	362,994.43	406,099.03	301,794.99	3.89
37	392,997.47	419,440.11	362,337.39	3.90
38	397,527.83	433,351.97	331,878.74	3.91
39	394,933.86	418,235.22	371,326.44	3.89
40	388,379.81	424,474.93	361,108.60	3.90
41	396,377.58	436,768.97	307,995.01	3.89
42	413,531.56	438,334.81	389,295.93	3.91
43	395,745.38	428,299.21	358,689.51	3.91
44	381,746.06	404,194.35	364,254.82	3.91
45	363,475.24	403,576.63	301,163.28	3.93
46	382,767.09	439,165.84	319,123.53	3.91
47	387,101.93	411,260.67	360,751.07	3.91
48	374,480.31	406,900.26	333,432.54	3.90
49	403,183.55	431,465.75	335,738.50	3.94
50	414,609.82	438,297.67	381,277.52	3.92
51	386,321.51	427,809.49	334,612.24	3.92
52	374,433.91	418,712.59	321,384.68	3.94
53	364,897.22	435,437.09	298,328.35	3.91
54	392,037.47	442,084.03	312,852.02	3.95

ตารางที่ 4.5 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	403,336.70	424,212.70	375,200.89	3.90
56	386,599.09	430,578.69	348,837.71	3.93
57	396,827.66	416,818.47	328,552.95	3.89
58	399,657.44	409,031.26	377,613.25	3.91
59	400,479.01	430,581.54	368,371.12	3.93
60	387,544.60	431,479.55	350,725.12	3.97
61	381,250.82	443,308.70	342,777.62	3.96
62	390,263.43	440,097.40	346,956.80	3.91
63	377,685.25	428,715.20	309,022.43	3.91
64	389,343.25	410,312.32	357,792.04	3.91
65	392,661.54	419,332.63	318,988.09	3.93
66	391,055.73	413,742.35	365,920.01	3.95
67	395,043.03	406,424.19	384,624.14	3.92
68	407,675.49	415,651.59	393,148.52	3.90
69	381,020.98	420,770.21	331,122.32	3.90
70	371,856.02	437,793.60	336,912.45	3.93
71	372,810.03	405,503.02	314,577.32	3.89
72	407,765.11	442,634.73	367,130.63	3.90
73	392,671.73	417,072.41	363,200.68	3.93
74	398,104.02	429,226.67	370,700.94	3.94
75	387,036.95	406,501.62	354,628.63	3.91
76	406,223.80	427,488.40	395,980.72	3.89
77	401,482.54	439,357.21	344,093.69	3.95
78	379,041.85	442,747.75	306,905.94	3.91
79	357,785.03	428,715.20	285,785.11	3.91
80	402,555.54	438,265.43	362,915.00	3.92
81	378,588.63	427,395.44	340,436.92	3.94



จากตารางที่ 4.5 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอาณานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 38 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 357,715.08 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 14 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 265,703.58 บาท

ตารางที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	116,608.96	118,716.55	113,264.41	5.31
2		120,673.67	87,799.26	5.26
3	108,733.29	117,221.62	102,868.31	5.23
4	107,793.03	115,067.26	100,202.50	5.32
5	110,013.48	117,998.58	89,939.20	5.24
6	107,797.90	116,711.58	101,902.15	5.24
7	112,191.90	123,997.79	106,354.82	5.24
8	106,677.65	114,944.79	99,868.27	5.27
9	113,352.91	118,324.33	107,941.52	5.20
10	111,725.40	119,425.83	96,883.66	5.23
11	110,322.87	116,835.65	103,063.66	5.31
12	110,461.22	120,118.03	97,139.91	5.24
13	112,219.21	123,840.06	94,045.27	5.24
14	115,437.56	121,335.20	112,033.55	5.26
15	114,063.24	129,197.82	99,316.75	5.21
16	111,843.38	118,302.95	99,868.27	5.31
17	116,807.30	123,250.21	105,133.90	5.23
18	117,393.02	122,310.21	112,658.08	5.29
19	116,797.96	121,777.65	107,374.41	5.28
20	114,985.95	125,318.16	100,231.60	5.27
21	110,690.12	118,728.36	95,852.69	5.28

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	108,499.96	117,175.19	98,731.01	5.26
23	108,811.74	120,785.28	98,946.65	5.21
24	114,531.74	118,164.96	107,585.00	5.23
25	119,238.87	123,274.47	113,475.58	5.29
26	113,618.23	121,545.49	107,703.35	5.24
27	114,054.65	119,348.26	100,196.99	5.23
28	113,293.32	120,821.92	106,312.46	5.24
29	114,165.62	123,467.12	100,399.92	5.24
30	115,693.01	122,958.21	103,764.03	5.22
31	109,046.24	114,169.42	99,893.30	5.23
32	111,762.71	118,167.87	103,193.47	5.28
33	111,211.35	118,253.46	105,468.33	5.23
34	115,008.92	120,808.57	100,078.76	5.24
35	110,544.25	116,924.06	104,963.55	5.25
36	116,386.59	126,134.07	111,351.17	5.23
37	114,343.41	120,196.82	108,237.48	5.24
38	117,696.31	124,446.43	110,611.41	5.29
39	112,015.85	117,357.50	102,475.15	5.29
40	111,917.12	124,930.18	104,341.88	5.20
41	113,054.38	121,036.41	95,834.87	5.23
42	112,494.68	122,334.90	103,417.21	5.27
43	113,799.40	128,043.74	104,986.98	5.22
44	113,579.37	123,041.78	107,342.60	5.26
45	117,738.10	127,089.58	97,880.74	5.29
46	114,564.28	123,378.44	107,294.75	5.22
47	108,520.99	115,551.22	96,028.09	5.20
48	109,737.67	113,687.35	102,723.00	5.27
49	114,698.76	120,509.25	106,589.29	5.31

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
50	116,678.66	122,722.72	104,882.28	5.31
51	118,710.05	123,115.24	112,352.43	5.23
52	111,718.37	118,547.58	104,798.92	5.31
53	114,540.54	119,626.55	109,694.17	5.22
54	109,489.30	117,477.22	99,213.42	5.21
55	114,602.30	123,254.61	99,613.05	5.26
56	112,545.11	120,592.41	105,046.39	5.27
57	115,115.62	121,411.74	102,545.68	5.24
58	113,243.88	123,318.65	99,153.36	5.23
59	110,808.08	116,851.58	101,329.63	5.30
60	115,416.37	126,462.91	97,001.44	5.21
61	114,295.67	123,130.51	106,305.56	5.28
62	114,767.92	122,231.16	107,509.23	5.25
63	111,744.44	117,852.71	109,702.60	5.27
64	114,850.77	120,592.41	106,062.40	5.25
65	113,704.12	121,485.56	109,302.32	5.25
66	114,845.48	124,576.68	104,693.59	5.29
67	109,606.35	114,541.83	104,811.42	5.21
68	108,444.74	117,740.12	95,512.80	5.22
69	113,049.77	118,815.03	107,500.21	5.26
70	116,941.89	130,861.49	111,056.93	5.23
71	105,703.98	122,209.75	91,496.32	5.22
72	106,414.23	114,376.82	94,642.70	5.30
73	111,971.25	121,739.73	100,866.67	5.31
74	112,602.60	123,220.32	101,227.50	5.25
74	112,602.60	123,220.32	101,227.50	5.25
75	115,318.42	127,704.30	108,807.02	5.26

ตารางที่ 4.6 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
76	113,404.33	124,631.69	105,125.87	5.35
77	115,779.64	121,772.36	101,781.52	5.22
78	113,460.85	118,415.64	107,942.09	5.26
79	107,615.90	122,909.71	84,804.39	5.23
80	109,640.28	118,263.36	103,568.21	5.3
81	115,710.48	125,050.50	110,065.04	5.24

จากตารางที่ 4.6 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 2 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 104,090.10 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 79 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 84,804.39 บาท

ตารางที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	216,651.42	230,952.04	194,343.19	11.03
2	216,942.86	226,763.27	210,038.02	11.02
3	219,901.03	230,834.19	211,082.23	11.04
4	224,011.12	233,258.84	211,838.96	11.27
5	220,818.87	228,975.77	214,864.16	10.97
6	230,075.61	239,879.40	215,620.38	11.00
7	227,137.11	230,218.38	219,751.05	11.18
8	220,622.06	235,394.46	217,118.79	11.14
9	229,365.80	240,255.48	211,709.72	11.18
10	213,885.64	221,444.17	204,855.72	11.13
11	216,394.60	231,386.44	204,765.72	11.23

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
12		222,288.70	199,842.58	11.00
13	227,640.08	235,671.91	211,490.02	11.04
14	232,755.64	242,179.57	222,730.49	11.14
15	232,172.38	236,754.94	225,595.18	11.08
16	228,362.12	239,249.78	217,305.02	11.00
17	227,979.33	237,274.21	216,811.01	11.11
18	233,471.29	241,941.85	228,562.46	11.02
19	219,465.65	230,224.71	211,082.23	10.97
20	225,622.24	236,774.68	218,866.67	11.05
21	225,281.65	229,983.84	222,335.20	11.20
22	226,709.23	234,560.36	215,975.40	11.02
23	232,429.43	240,357.29	224,564.20	11.06
24	221,724.05	236,076.99	200,476.71	11.06
25	228,092.69	231,971.05	220,587.94	11.10
26	219,155.39	234,314.33	196,426.28	11.18
27	225,205.78	234,425.35	220,055.03	11.22
28	221,031.57	225,883.13	214,324.37	11.11
29	223,854.27	231,946.85	211,832.83	10.96
30	220,785.80	230,901.59	212,716.45	11.11
31	224,448.32	232,349.62	208,901.85	10.95
32	219,204.35	233,461.92	196,271.38	10.86
33	219,850.99	229,796.10	210,113.49	10.92
34	220,526.21	235,396.63	208,331.66	11.17
35	233,349.25	240,041.36	227,082.14	11.25
36	230,327.20	239,091.12	220,087.89	11.25
37	218,262.01	232,450.73	208,208.05	11.29
38	220,990.23	231,683.55	203,282.05	11.27
39	218,272.67	224,175.64	213,514.64	11.03

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
40	216,266.02	221,866.65	203,893.36	11.08
41	227,656.43	238,325.09	218,112.93	11.06
42	232,874.04	240,488.05	225,017.96	11.09
43	232,298.68	245,107.36	211,881.48	11.10
44	227,938.69	241,224.80	218,793.55	11.03
45	223,155.83	235,251.09	207,836.76	11.12
46	223,832.53	226,743.63	218,928.42	11.03
47	222,063.23	233,432.29	206,328.41	11.16
48	219,844.57	235,074.03	204,915.29	11.00
49	231,000.96	240,626.54	211,756.48	11.14
50	219,538.90	226,515.13	208,296.55	11.21
51	224,306.34	231,348.78	209,157.96	11.14
52	227,030.47	233,786.90	215,865.47	11.16
53	230,715.93	242,205.08	213,947.41	11.11
54	230,421.61	249,230.79	219,480.85	11.06
55	217,537.08	224,816.18	210,009.72	10.79
56	217,290.58	224,368.11	199,996.58	11.00
57	218,171.93	226,911.69	211,364.74	11.24
58	220,277.23	232,686.21	201,206.95	10.97
59	222,506.43	240,181.36	207,177.63	10.99
60	226,161.48	232,853.12	221,121.75	11.03
61	232,666.76	242,743.55	220,519.45	10.99
62	228,446.10	238,603.15	213,510.42	11.01
63	232,316.67	242,607.79	215,393.98	10.97
64	218,919.09	230,547.18	210,163.98	11.19
65	225,241.86	232,169.06	219,217.61	11.15
66	216,094.63	224,198.43	206,098.63	11.04
67	220,788.28	232,603.15	211,587.73	11.11

ตารางที่ 4.7 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
68	226,467.21	234,189.81	217,835.30	11.03
69	228,783.10	237,667.07	219,388.95	11.04
70	229,197.80	237,555.01	209,843.82	10.99
71	226,643.89	235,430.16	206,564.70	10.82
72	230,795.41	238,247.80	220,085.44	11.06
73	219,535.16	225,760.62	208,666.88	11.10
74	219,637.00	223,161.80	214,918.32	11.14
75	223,342.59	238,494.14	204,897.61	11.01
76	220,391.51	230,528.79	205,223.35	11.06
77	225,674.44	235,667.61	218,435.22	10.89
78	227,417.68	235,523.36	215,225.68	10.92
79	235,429.87	241,045.15	230,151.33	11.10
80	227,985.23	244,034.28	207,659.41	10.99
81	227,340.43	245,783.55	200,003.98	10.97

จากตารางที่ 4.7 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับ  
ลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 12 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 213,296.25 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 191,418.74 บาท

ตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	199,391.46	217,677.07	179,313.45	11.49
2	205,920.32	211,421.46	203,032.69	11.63
3	205,811.41	227,265.55	194,498.53	11.45

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
4	211,182.18	216,871.48	200,652.42	11.33
5	211,340.99	225,700.25	199,926.59	11.35
6	211,930.97	225,076.66	192,402.29	11.38
7	209,905.31	223,443.92	187,204.77	11.4
8	211,914.38	233,463.03	188,139.71	11.54
9	214,032.87	230,010.01	202,518.45	11.54
10	201,479.90	214,937.57	179,444.40	11.46
11	200,477.25	206,867.73	183,014.87	11.61
12	214,093.80	217,762.23	207,789.82	11.69
13	197,942.18	208,266.26	189,915.59	11.38
14	216,827.21	224,686.03	207,216.87	11.44
15	214,025.02	236,730.50	192,465.70	11.42
16	201,031.07	215,571.56	190,974.00	11.41
17	216,747.83	231,080.45	183,510.84	11.42
18	223,752.37	246,172.13	205,551.15	11.30
19	199,321.58	216,123.34	169,988.92	11.43
20	214,866.35	228,356.80	186,067.91	11.36
21	219,682.62	235,980.45	206,344.94	11.30
22	200,144.55	214,453.11	186,996.34	11.38
23	196,928.54	224,512.80	176,326.64	11.35
24	202,359.24	226,659.35	173,511.86	11.38
25	215,329.83	230,023.43	194,913.59	11.31
26	221,597.77	237,453.10	200,752.02	11.33
27	207,563.23	220,618.65	185,850.73	11.36
28	201,839.90	209,092.16	193,403.60	11.29
29	194,580.13	212,664.15	187,097.58	11.42
30	200,203.17	214,388.87	184,393.67	11.21
31	217,714.14	222,875.68	214,281.96	11.30



ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
32	214,853.20	226,594.12	200,658.06	11.33
33	210,166.47	234,358.30	192,339.43	44.55
34	216,881.78	234,726.03	204,540.42	11.32
35	221,184.47	238,507.85	209,005.06	11.27
36	211,532.90	221,493.76	196,850.08	11.29
37	205,931.14	216,106.23	200,852.46	11.32
38	196,420.14	207,712.71	183,514.76	11.20
39	204,542.33	224,974.11	184,684.54	11.30
40	202,293.28	216,571.73	191,810.25	11.40
41	209,349.56	220,772.84	190,255.24	11.39
42	216,452.19	242,617.84	181,711.04	11.34
43	210,380.19	232,011.75	191,950.75	11.31
44	207,345.23	225,218.52	191,965.67	11.39
45	217,404.72	223,384.13	206,875.14	11.33
46	200,034.65	217,076.50	183,767.26	11.37
47	203,796.30	217,446.37	194,103.75	11.30
48	201,523.15	201,523.15	182,598.96	11.32
49	203,657.04	221,108.31	165,743.29	11.37
50	211,306.60	229,310.93	194,627.20	11.42
51	206,148.19	233,241.26	190,457.54	11.27
52	224,527.30	238,382.42	211,895.24	11.29
53	225,164.48	242,611.78	213,984.61	11.25
54	221,628.75	228,085.38	212,935.98	11.25
55	200,414.73	221,591.03	186,939.84	11.24
56	195,068.17	210,419.18	181,941.85	11.22
57	205,270.16	215,452.99	192,539.05	11.26
58	208,517.43	219,961.09	194,204.76	11.32
59	202,109.68	210,054.62	189,363.42	11.29

ตารางที่ 4.8 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
60	206,965.76	223,000.28	195,202.43	11.29
61	208,152.71	233,680.08	182,857.18	11.29
62	211,964.28	227,638.51	173,101.93	11.19
63	210,822.09	220,392.08	203,435.66	11.31
64	198,102.94	205,607.58	182,476.36	11.35
65	198,929.82	212,379.74	190,018.56	130.29
66	204,484.31	209,986.24	196,767.38	11.40
67	205,774.84	240,747.92	179,106.59	11.37
68	205,715.45	218,083.78	196,580.33	11.49
69	205,962.57	212,714.26	198,643.01	11.51
70	218,208.81	227,468.65	207,810.28	11.42
71	214,420.88	230,946.66	191,134.49	11.38
72	203,797.28	230,820.92	164,924.46	11.39
73	199,474.49	207,846.48	180,525.87	11.46
74	201,276.71	214,197.49	180,510.67	11.47
75	193,540.25	204,670.88	176,474.04	11.49
76	205,747.31	213,608.96	198,612.42	11.46
77	207,423.36	224,324.69	187,873.09	11.48
78	214,735.66	232,844.14	196,350.95	11.55
79	213,250.03	237,896.92	196,976.12	11.40
80	215,212.32	220,359.81	210,691.44	11.44
81	214,185.68	236,012.56	197,737.41	11.39

จากตารางที่ 4.8 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 48 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 189,661.35 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 29 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 162,091.68 บาท

ตารางที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรมันแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	446,408.63	468,467.27	398,525.86	11.94
2	454,751.86	472,011.67	440,936.33	11.72
3	467,599.70	477,390.06	457,393.54	11.93
4	449,293.17	483,938.72	411,344.69	11.88
5	438,533.32	474,258.96	397,986.84	12.07
6	456,052.35	476,173.47	437,705.71	12.05
7	443,290.35	482,596.11	410,227.59	11.89
8	433,386.50	475,838.37	364,780.02	11.87
9	438,987.10	469,181.78	409,276.44	11.85
10	457,199.34	474,104.44	449,003.28	11.84
11	435,797.47	457,364.12	407,540.37	11.88
12	460,501.14	487,606.89	430,816.07	11.68
13	451,772.05	468,013.89	436,148.56	11.71
14	448,715.91	479,675.33	428,854.20	11.98
15	456,570.00	478,015.73	436,693.79	11.82
16	425,681.81	482,055.80	366,466.70	12.08
17	440,795.28	479,462.69	409,334.38	12.00
18	449,971.70	475,441.91	403,718.37	12.11
19	449,281.31	477,556.26	430,039.95	12.12
20	439,313.25	478,582.16	391,552.27	12.12
21	433,329.73	463,523.98	400,089.67	12.07
22	446,033.95	469,600.31	424,340.10	11.98
23	450,763.54	461,517.42	436,150.05	11.98
24	430,409.76	454,378.74	403,425.78	12.10
25	440,696.36	466,395.47	414,928.79	11.87
26	452,215.68	485,603.30	411,349.41	11.78
27	435,738.55	462,828.07	383,454.86	11.85
28	435,555.53	499,086.93	372,166.19	11.64

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
29	451,774.16	460,658.85	445,751.01	11.94
30	461,949.46	479,573.62	446,313.84	11.76
31	450,316.89	479,298.93	425,717.52	12.23
32	447,437.94	476,353.40	420,516.98	11.98
33	433,846.23	470,180.11	409,713.18	12.08
34	443,200.01	463,477.67	418,846.98	12.05
35	431,607.62	463,167.00	395,641.86	12.04
36	438,522.50	467,657.56	390,241.16	11.98
37	445,291.75	482,961.84	403,282.34	12.13
38	456,419.88	470,571.98	437,686.97	12.00
39	448,587.57	472,792.56	396,718.71	12.02
40	432,571.89	457,836.99	404,115.15	11.88
41	447,829.45	481,184.01	417,347.04	12.04
42	458,541.05	485,819.46	436,464.53	11.86
43	450,211.63	489,386.21	418,159.69	12.02
44	444,448.64	464,324.36	415,434.18	12.02
45	455,567.15	486,039.02	409,726.72	11.96
46	450,751.69	463,508.35	436,176.85	12.04
47	445,008.44	474,134.47	404,938.12	12.05
48	452,645.72	485,000.42	401,272.12	12.05
49	434,680.36	470,246.91	363,308.05	11.96
50	456,895.19	475,877.33	431,021.43	12.02
51	452,769.45	475,091.46	405,509.96	12.09
52	428,999.70	462,507.57	391,191.09	11.91
53	435,990.00	461,026.81	407,102.69	11.95
54	435,742.77	447,829.07	424,153.24	11.81
55	444,701.28	470,504.53	417,509.47	11.76
56	450,005.17	495,888.88	428,431.95	11.78

ตารางที่ 4.9 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
57	441,605.69	456,341.15	431,500.23	11.94
58	456,778.07	475,503.94	419,872.02	12.09
59	430,017.39	445,983.80	415,209.39	11.84
60	444,504.14	486,715.23	390,510.95	11.97
61	433,258.50	453,165.32	393,315.79	11.89
62	448,822.49	461,382.03	424,631.51	20.05
63	465,078.96	477,338.24	436,379.34	11.77
64	436,748.86	475,288.24	382,328.08	11.93
65	442,713.54	463,154.51	405,577.57	11.97
66	448,469.92	462,979.68	429,843.85	12.04
67	446,217.87	474,938.69	420,748.82	11.97
68	444,730.52	466,995.12	419,647.29	11.86
69	439,480.69	473,740.15	411,274.51	12.01
70	439,651.92	468,229.54	420,650.14	12.02
71	451,243.77	488,222.30	434,627.62	12.01
72	432,129.33	469,260.58	404,713.81	11.79
73	439,959.45	476,438.82	401,100.30	11.80
74	461,108.76	477,084.02	438,684.26	11.78
75	449,806.23	464,973.73	423,430.17	11.89
76	456,161.61	483,788.23	438,490.42	11.86
77		453,292.69	384,268.37	11.85
78	444,894.31	472,558.91	417,435.67	11.88
79	447,388.39	465,244.39	421,198.08	11.84
80	450,991.41	474,104.40	409,082.12	11.80
81	443,937.40	488,412.54	380,657.01	11.76

จากตารางที่ 4.9 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 77 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 424,973.44 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 16 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 336,486.94 บาท

ตารางที่ 4.10 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	561,255.70	586,199.40	561,282.75	46.13
2	584,931.72	603,120.21	567,546.30	46.31
3	560,150.02	571,863.29	544,715.32	46.28
4	566,536.71	579,204.78	557,580.54	45.92
5	581,390.15	599,391.18	552,895.89	46.08
6	579,103.15	586,889.63	563,990.30	46.07
7	556,336.98	587,978.19	531,622.56	46.12
8	568,848.78	580,349.47	534,274.64	42.32
9	554,468.61	569,426.42	535,730.36	45.10
10	578,716.48	595,889.10	568,346.66	46.06
11	557,406.76	586,515.28	523,106.32	46.11
12	573,042.83	598,393.64	556,486.73	46.14
13	574,325.66	600,663.74	563,912.04	46.10
14	581,798.17	591,147.09	573,433.90	45.93
15	550,325.69	573,783.06	527,198.78	45.85
16	561,385.39	583,000.93	518,954.04	45.74
17	575,312.03	583,626.71	567,126.86	46.05
18	557,893.48	571,090.79	545,672.43	45.95
19	565,625.40	591,185.71	549,698.04	45.81
20	562,237.80	577,194.17	550,215.44	45.84
21	569,347.00	595,888.00	542,020.41	46.07
22	573,115.95	590,994.34	554,557.15	46.13

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
23	560,050.44	580,825.45	539,636.95	47.08
24	570,983.99	599,492.78	548,498.13	47.29
25	561,681.75	571,255.30	550,873.84	42.24
26	567,164.36	574,041.51	552,311.06	40.91
27	567,164.36	561,740.01	523,448.47	40.90
28	578,889.98	591,153.44	568,466.32	46.36
29	573,952.48	591,085.63	563,718.48	40.81
30	567,615.50	593,646.18	537,848.09	40.65
31	567,327.57	589,410.74	548,035.87	40.70
32	573,026.34	588,683.80	539,983.40	40.80
33	575,167.73	592,028.79	557,258.53	40.65
34	566,095.56	584,489.82	540,810.35	40.73
35	563,097.23	582,825.81	545,662.43	43.89
36	570,954.99	583,272.35	559,867.54	45.95
37	571,956.50	582,532.84	563,420.11	45.76
38	574,969.10	597,115.60	547,851.16	45.99
39	566,305.51	580,847.48	542,024.94	46.12
40	576,800.95	597,010.88	549,655.75	49.49
41	565,314.67	582,291.79	553,631.32	45.66
42	567,362.78	596,242.94	555,194.22	45.74
43	565,023.52	582,272.23	543,906.06	45.74
44	582,056.93	611,021.26	547,539.20	46.05
45	563,897.20	591,227.25	532,942.88	45.95
46	575,108.59	596,814.87	559,429.44	45.81
47	574,880.24	589,238.18	552,197.23	45.84
48	571,615.17	591,968.66	560,260.13	46.07
49	579,651.17	596,973.52	556,488.81	46.13
50	568,190.25	586,102.94	550,835.11	47.08

ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
51	560,735.87	579,305.56	545,958.01	47.29
52	567,563.33	588,874.59	545,317.56	42.24
53	576,286.30	606,032.65	554,179.11	40.91
54	567,696.22	600,922.57	542,617.24	40.90
55	572,081.38	587,308.98	557,554.70	46.36
56	569,221.34	574,359.45	562,707.13	40.81
57	568,456.08	573,590.28	564,409.64	45.60
58	579,063.78	603,583.94	546,859.14	45.85
59	564,219.57	589,797.63	523,746.41	45.72
60	558,411.76	585,101.18	529,963.47	45.64
61	567,122.70	586,407.80	552,261.67	46.01
62	557,242.07	578,492.89	531,312.93	46.06
63	559,366.89	568,047.94	549,983.16	45.99
64	561,511.09	578,213.87	540,515.86	46.24
65	577,302.86	598,503.48	551,503.95	45.81
66	574,978.25	588,144.78	558,766.80	45.95
67	552,301.52	574,003.27	523,746.41	46.02
68	584,049.12	599,248.97	572,057.68	45.93
69	578,596.15	589,718.15	567,651.46	45.70
70	563,851.88	582,818.82	541,473.23	46.13
71	564,493.20	573,005.01	549,202.12	45.75
72	569,025.10	582,292.03	559,912.21	45.74
73	573,380.83	592,328.80	553,186.14	47.98
74	564,382.53	599,497.17	535,527.55	45.62
75	564,831.18	579,155.37	547,067.22	45.57
76	578,283.08	589,630.01	565,601.17	45.55
77	564,793.85	590,882.34	541,236.56	45.55
78	564,818.00	586,479.99	533,656.76	45.54



ตารางที่ 4.10 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
79	559,976.33	570,987.71	551,621.46	45.67
80	572,508.49	598,149.19	545,708.16	45.53
81	550,480.97	587,681.18	526,136.97	45.40

จากตารางที่ 4.10 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีอานานิคมมด โดยปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
27 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 541,256.43 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 1  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 512,822.75 บาท

ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,442,036.75	1,502,542.08	1,365,795.46	30.22
2	1,453,701.47	1,505,120.07	1,327,188.69	29.27
3	1,454,949.29	1,558,135.98	1,378,095.46	29.62
4	1,421,826.59	1,491,499.09	1,279,866.99	29.28
5	1,453,615.13	1,486,112.40	1,417,213.16	30.30
6	1,479,327.77	1,525,994.48	1,433,442.93	29.84
7	1,407,077.53	1,464,106.58	1,317,604.16	28.98
8	1,397,391.09	1,460,402.59	1,270,214.24	28.81
9	1,443,975.67	1,464,572.03	1,424,853.10	28.89
10	1,463,119.43	1,504,637.19	1,417,489.92	29.01
11	1,464,117.89	1,534,746.23	1,425,341.77	29.01
12	1,445,639.73	1,487,977.28	1,359,588.36	29.75
13	1,455,966.58	1,539,238.50	1,362,577.18	30.07
14	1,469,133.71	1,533,902.14	1,414,751.83	29.40
15	1,450,412.02	1,541,884.52	1,411,545.50	29.42

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
16	1,425,437.52	1,491,143.56	1,376,199.16	28.86
17	1,441,066.73	1,564,814.78	1,363,206.65	29.66
18	1,477,462.20	1,514,795.71	1,431,761.17	30.42
19	1,445,084.61	1,510,800.89	1,373,706.94	29.92
20	1,455,089.22	1,488,681.18	1,432,559.86	30.07
21	1,487,246.29	1,524,532.98	1,439,796.59	30.17
22	1,459,728.84	1,502,632.75	1,425,776.87	29.55
23	1,433,758.46	1,489,481.80	1,382,360.34	29.89
24	1,406,097.16	1,494,738.15	1,301,319.49	29.96
25	1,445,524.20	1,542,966.82	1,386,987.20	29.96
26	1,422,083.01	1,449,470.19	1,396,235.04	29.53
27	1,439,112.70	1,490,043.05	1,391,088.46	29.96
28	1,445,116.49	1,504,127.35	1,364,771.54	29.94
29	1,466,533.45	1,492,949.47	1,440,692.72	29.93
30	1,435,311.37	1,456,189.92	1,375,230.25	29.32
31	1,459,688.82	1,522,414.70	1,371,835.51	29.52
32	1,459,926.79	1,503,907.33	1,411,276.46	28.43
33	1,481,022.84	1,512,210.55	1,433,159.90	29.24
34	1,458,627.41	1,511,714.20	1,355,924.86	29.42
35	1,477,471.65	1,505,115.24	1,443,632.14	29.66
36	1,418,945.51	1,475,184.72	1,357,677.33	29.58
37	1,470,116.06	1,522,131.09	1,440,453.16	29.13
38	1,456,452.16	1,511,570.06	1,402,716.24	28.82
39	1,460,743.13	1,521,794.15	1,414,417.04	31.50
40	1,476,845.77	1,526,361.61	1,448,925.09	33.14
41	1,502,013.38	1,546,819.58	1,471,676.22	34.18
42	1,449,845.59	1,529,248.55	1,413,739.83	34.12
43	1,493,257.68	1,509,132.35	1,471,998.49	34.03

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
44		1,428,818.92	1,347,529.15	34.12
45	1,432,675.36	1,512,782.71	1,273,939.90	32.16
46	1,453,267.87	1,541,757.32	1,365,581.49	30.51
47	1,478,878.80	1,538,405.06	1,432,306.08	29.05
48	1,443,800.91	1,532,148.21	1,389,811.91	29.30
49	1,452,417.22	1,517,800.86	1,403,619.80	29.14
50	1,478,683.61	1,509,090.08	1,449,714.96	29.27
51	1,504,481.37	1,565,100.35	1,435,396.28	29.57
52	1,435,755.61	1,521,036.55	1,320,640.75	29.50
53	1,443,210.58	1,472,680.38	1,393,458.97	29.97
54	1,437,429.01	1,542,839.56	1,353,483.85	29.17
55	1,493,541.89	1,563,326.02	1,401,384.92	29.41
56	1,428,174.59	1,506,772.12	1,376,051.01	29.22
57	1,457,393.02	1,523,068.40	1,313,974.41	29.10
58	1,479,663.01	1,511,179.80	1,448,530.97	29.26
59	1,478,270.41	1,513,728.52	1,425,630.99	29.54
60	1,444,669.31	1,456,500.45	1,431,002.85	29.49
61	1,445,295.96	1,554,387.34	1,372,924.76	29.12
62	1,467,364.44	1,557,567.73	1,423,415.85	29.02
63	1,410,104.53	1,491,884.03	1,319,164.68	29.05
64	1,443,309.46	1,507,735.10	1,386,301.13	29.43
65	1,459,066.50	1,495,500.50	1,409,508.64	29.59
66	1,482,430.26	1,521,395.18	1,461,407.15	29.43
67	1,479,144.68	1,542,738.57	1,428,614.01	29.45
68	1,435,797.94	1,491,940.97	1,338,190.08	29.31
69	1,478,602.55	1,549,625.88	1,434,235.15	29.44
70	1,420,217.16	1,512,689.53	1,344,235.56	29.58
71	1,435,380.49	1,478,903.40	1,375,793.39	29.39

ตารางที่ 4.11 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
72	1,399,550.72	1,509,190.55	1,219,206.40	29.38
73	1,457,717.07	1,498,125.67	1,421,210.44	29.44
75	1,478,867.01	1,516,695.13	1,432,213.77	29.57
76	1,467,706.08	1,514,194.30	1,419,418.68	29.45
77	1,451,720.03	1,500,825.70	1,403,592.57	29.39
78	1,475,889.36	1,528,955.74	1,423,400.82	29.43
79	1,461,806.67	1,517,153.57	1,329,758.78	29.52
80	1,413,995.27	1,534,056.12	1,251,769.02	29.13
81	1,402,761.86	1,470,759.53	1,349,721.71	28.86

จากตารางที่ 4.11 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอานานิคมมด โดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 44 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,390,016.81 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 72 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 1,219,206.40 บาท

ตารางที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,009,349.40	1,041,396.48	975,523.90	69.90
2	1,037,321.59	1,082,117.82	917,871.44	71.29
3	1,043,023.73	1,082,592.84	987,983.19	70.52
4	1,023,973.00	1,062,801.25	970,876.86	69.50
5	1,018,696.36	1,099,552.98	935,905.15	72.02
6	1,042,593.44	1,082,084.19	1,001,938.21	69.56
7	976,184.29	1,021,012.62	955,179.00	69.00
8	974,845.68	996,780.87	944,796.24	69.00
9	974,893.46	1,029,701.84	887,388.42	68.93

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
10	1,019,786.41	1,062,995.79	940,551.37	69.63
11	1,042,776.91	1,090,350.88	972,857.77	70.49
12	1,066,372.15	1,107,699.91	1,012,758.52	70.16
13	1,029,731.85	1,073,029.43	999,392.20	69.58
14	1,002,018.85	1,084,186.95	946,045.76	69.56
15	1,024,319.78	1,074,541.99	952,888.83	69.10
16	980,018.23	993,414.87	961,616.53	68.92
17	978,779.19	1,022,359.77	948,756.75	69.21
18	978,483.36	1,026,256.69	912,370.31	68.79
19	1,058,852.43	1,082,071.77	1,032,466.57	69.97
20	1,022,864.38	1,065,546.50	982,123.06	69.23
21	1,068,754.12	1,164,285.66	1,006,615.84	69.52
22	1,015,736.81	1,087,629.74	939,205.26	69.32
23	1,044,595.17	1,071,314.47	984,115.45	69.91
24	1,024,323.89	1,042,548.59	979,073.13	69.04
25	1,001,328.09	1,079,776.68	939,025.73	68.89
26	975,795.07	1,022,352.21	928,673.87	71.30
27	959,790.43	1,014,624.37	874,314.40	68.90
28	1,059,504.03	1,098,107.66	1,019,185.17	69.53
29	1,042,769.61	1,091,193.24	946,779.78	69.36
30	968,973.96	1,020,216.34	880,259.30	69.36
31	1,053,430.01	1,110,872.14	1,027,454.14	69.35
32	967,739.77	1,027,481.66	848,255.24	69.63
33	1,027,158.39	1,088,809.26	952,869.81	70.57
34	985,908.14	1,072,122.74	909,281.21	69.76
35	1,017,154.02	1,055,368.37	975,216.64	68.95
36	967,426.47	1,006,950.80	931,070.68	69.06
37	1,036,242.48	1,066,441.40	967,180.64	69.87

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
38	1,022,364.59	1,086,796.61	934,969.88	69.71
39	1,050,642.32	1,124,602.34	1,016,427.51	69.53
40	1,058,320.02	1,109,219.08	982,789.50	69.62
41	1,031,159.24	1,079,252.47	986,402.11	69.36
42	1,049,089.44	1,065,237.12	1,029,040.41	69.43
43	968,644.18	999,930.68	908,748.22	69.29
44	995,948.57	1,032,070.60	944,973.94	69.06
45	949,055.93	1,017,429.28	904,748.99	69.05
46	969,199.33	1,017,697.27	896,864.09	70.28
47	1,077,347.81	1,107,462.62	1,054,654.80	69.60
48	989,337.78	1,041,850.53	946,838.50	69.30
49	1,052,446.26	1,102,330.29	961,738.21	69.64
50	1,047,107.90	1,093,578.46	954,207.74	69.45
51	1,083,632.82	1,098,875.73	1,040,858.07	69.47
52	963,096.26	1,005,974.19	933,538.49	69.07
53	987,217.37	1,035,164.63	955,843.98	69.31
54	962,330.07	1,000,858.25	881,552.19	69.22
55	1,040,368.07	1,076,570.50	989,301.01	69.82
56	1,012,246.57	1,052,323.95	968,211.96	69.40
57	1,039,630.06	1,085,555.34	1,011,018.39	69.34
58	1,070,751.79	1,132,861.56	1,021,839.23	69.17
59	1,014,133.28	1,071,934.64	957,686.33	69.41
60	1,050,346.67	1,069,469.73	1,024,522.65	69.34
61	957,735.64	989,228.58	916,028.09	69.03
62	989,205.76	1,028,974.83	931,783.76	68.69
63	1,013,721.63	1,055,107.32	938,932.86	68.83
64	980,275.92	1,057,753.27	888,814.38	69.63
65	1,042,533.99	1,069,485.84	1,008,741.72	69.26

ตารางที่ 4.12 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
66	1,027,310.88	1,078,019.09	959,531.38	69.33
67	1,073,960.83	1,105,348.95	1,055,152.10	69.80
68	1,037,352.63	1,076,132.97	1,001,306.75	69.33
69	1,036,391.38	1,139,864.41	941,622.37	69.15
70	993,879.49	1,016,675.42	951,903.20	68.50
71	1,008,380.50	1,046,746.55	946,814.11	68.76
72	950,289.66	1,013,394.91	912,411.87	68.46
73	1,034,264.10	1,062,981.24	999,775.46	69.30
74	1,037,629.20	1,083,501.38	1,019,291.03	69.43
75	1,013,643.52	1,085,556.16	971,858.11	63.23
76	1,025,630.28	1,118,194.98	914,130.77	61.62
77	1,035,360.35	1,100,632.22	979,763.80	61.64
78	966,543.72	1,048,711.33	886,437.87	61.52
79	1,008,885.70	1,025,239.42	986,632.07	61.30
80	967,164.09	1,011,200.48	895,527.13	61.01
81	1,003,577.48	1,037,992.82	944,659.73	61.49

จากตารางที่ 4.12 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีอานานิคมมด โดยปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
62 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 939,905.75 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 62  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 821,783.24 บาท

4.6.2 ผลการทดสอบโปรแกรม วิธีอณานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

หลังจากทำการทดลองแล้วต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ของวิธีอณานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม ดังตารางที่ 4.13, 4.14, 4.15, 4.16, 4.17, 4.18, 4.19, 4.20 และ 4.21

ตารางที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	72,099.39	77,144.57	66,550.75	5.06
2	73,284.66	77,746.01	68,333.48	4.64
3	70,817.21	75,265.48	65,006.01	4.64
4	71,237.65	74,036.44	68,508.60	4.63
5	67,802.68	73,677.88	64,018.61	4.74
6	73,083.41	80,655.16	65,911.05	4.64
7	69,361.86	74,660.86	60,749.82	4.60
8	64,806.02	70,960.00	57,553.30	4.63
9	69,155.02	73,352.86	62,420.38	4.64
10	76,208.24	78,510.37	74,258.57	4.70
11	76,785.97	81,125.37	72,962.58	4.66
12	74,162.34	76,820.41	69,299.57	4.64
13	71,833.51	78,644.16	64,312.70	4.65
14	72,650.99	79,849.38	62,741.79	4.60
15	65,655.62	69,516.86	63,108.43	4.64
16	65,732.51	74,573.10	57,845.74	4.64
17	65,046.68	70,928.96	60,322.98	4.67
18	65,264.48	67,739.31	62,633.57	4.71
19	73,465.71	79,223.88	69,789.49	4.62
20	70,109.87	73,868.23	67,689.46	4.67



ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
21	73,186.32	78,385.22	69,831.24	4.62
22	74,367.67	79,527.12	69,736.06	4.69
23	71,188.09	79,202.57	65,239.33	4.63
24	71,115.75	74,453.49	66,515.29	4.63
25	67,875.29	73,668.52	62,420.38	4.61
26	67,284.90	76,516.74	62,857.03	4.59
27	69,838.41	74,838.70	59,864.63	4.58
28	74,793.92	86,316.97	67,643.14	4.69
29	74,511.76	77,474.11	70,459.87	4.61
30	73,471.41	81,882.44	67,097.71	4.66
31	69,844.18	74,156.29	63,004.54	4.69
32	72,044.95	76,149.96	64,792.37	4.62
33	67,939.53	77,087.22	59,745.69	4.65
34	67,653.32	70,072.42	62,932.03	4.56
35	66,193.09	70,454.56	62,386.32	4.63
36	67,850.24	74,178.51	60,240.23	4.59
37	73,808.38	78,832.79	67,659.30	4.63
38	75,415.68	76,928.71	72,702.14	4.68
39	73,966.57	78,485.32	68,363.36	4.66
40	68,754.09	72,245.82	57,254.73	4.69
41	73,215.56	78,644.42	67,921.17	4.69
42	68,687.62	74,423.26	65,373.50	4.64
43	63,136.78	69,870.69	58,808.88	4.67
44	65,517.74	73,962.07	58,184.82	4.63
45	67,421.76	73,480.88	61,594.47	4.67
46	73,592.32	82,487.01	67,097.71	4.65
47	76,412.67	79,278.64	74,119.41	4.62

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
48	74,887.28	81,394.32	68,108.23	4.65
49	70,235.08	77,087.22	59,745.69	4.65
50	68,336.83	73,944.45	59,928.38	4.64
51	63,327.33	67,110.97	58,246.79	4.59
52	69,163.84	74,416.80	60,240.23	4.60
53	66,581.44	72,659.21	61,530.43	4.62
54	66,461.27	69,371.66	60,431.60	4.60
55	72,735.84	76,313.51	66,429.91	4.66
56	76,821.72	81,518.07	70,458.63	4.69
57	75,064.96	83,371.06	66,504.14	4.65
58	71,288.70	74,014.38	66,301.16	4.63
59	72,087.39	78,259.65	65,454.15	4.62
60	71,805.19	80,004.22	63,818.53	4.67
61	65,982.16	75,148.36	57,880.65	4.59
62	63,580.25	70,456.07	57,405.07	4.59
63	64,617.56	70,803.87	57,512.11	4.62
64	75,648.61	78,763.47	73,827.26	4.66
65	71,296.73	74,762.48	63,750.04	4.71
66	72,872.26	77,429.95	68,161.01	4.62
67	67,431.35	72,359.81	63,630.04	4.65
68	70,901.16	74,360.10	64,026.95	4.69
69	71,813.41	77,562.46	65,204.55	4.66
70	67,463.73	70,533.93	62,610.35	4.66
71	64,551.77	68,285.99	56,273.44	4.60
72	67,733.23	75,541.81	61,452.09	4.63
73	74,457.74	83,371.06	66,504.14	4.69
74	74,237.06	82,078.02	69,740.16	4.70

ตารางที่ 4.13 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
75	72,674.07	74,497.15	70,503.30	4.70
76	70,407.77	78,267.82	63,818.53	4.66
77	72,066.87	74,827.61	65,115.18	4.65
78	72,856.97	75,660.89	67,975.37	4.69
79	62,868.03	70,803.87	57,512.11	4.63
80	68,870.67	72,483.88	66,982.24	4.67
81	64,289.43	71,287.53	58,837.48	4.63

จากตารางที่ 4.13 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่า  
พีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุด  
ที่ 79 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 62,868.03 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 61  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 55,881.68 บาท

ตารางที่ 4.14 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	376,403.13	413,154.31	344,382.95	4.10
2	403,497.30	431,107.50	365,601.49	4.09
3	403,991.25	436,616.86	377,106.03	4.07
4	407,051.80	446,606.04	377,221.12	4.08
5	404,228.70	421,303.37	361,001.23	4.08
6	373,726.58	404,981.38	314,137.46	4.19
7	383,374.94	421,893.78	301,585.91	4.12
8	388,854.16	429,449.52	354,547.73	4.06
9	393,458.69	416,501.27	343,686.57	4.11

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด

โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
10	403,497.30	431,107.50	365,601.49	4.11
11	398,587.42	423,709.92	386,209.52	4.17
12	424,964.05	453,546.92	396,247.38	4.18
13	404,228.70	421,303.37	361,001.23	4.16
14	401,500.14	454,212.44	355,593.77	4.15
15	396,415.29	456,967.40	308,527.52	4.07
16	388,121.28	429,705.45	354,547.73	4.13
17	387,391.81	402,941.13	349,844.74	4.09
18	388,124.71	417,989.83	356,297.90	4.11
19	391,172.59	423,709.92	349,684.31	4.18
20	421,969.13	440,388.36	396,247.38	4.17
21	393,503.83	422,915.56	358,234.61	4.23
22	405,573.49	460,404.79	362,300.28	4.20
23	393,606.92	434,795.92	350,314.03	4.23
24	371,251.33	398,100.04	342,882.83	4.15
25	401,393.45	432,019.10	384,354.04	4.19
26	380,127.45	425,111.15	299,714.16	4.20
27	394,433.40	415,367.54	372,691.55	4.18
28	393,324.97	413,608.29	376,918.06	4.17
29	396,373.63	434,128.98	373,366.27	4.16
30	385,148.59	417,743.24	320,862.16	4.18
31	408,603.47	455,821.18	373,134.95	4.18
32	385,632.10	430,211.39	349,166.10	4.17
33	394,195.88	412,378.94	381,519.61	4.18
34	400,492.06	416,424.76	383,930.70	4.22
35	399,908.21	451,534.12	364,403.50	4.15

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
36	391,908.74	443,629.07	345,366.91	4.18
37	396,708.94	434,128.98	373,366.27	4.20
38	386,118.76	417,743.24	320,862.16	4.18
39	401,318.38	438,817.48	335,700.15	4.16
40	389,129.77	430,211.39	349,166.10	4.23
41	394,195.88	412,378.94	381,519.61	4.17
42	387,957.80	439,360.08	322,769.06	4.18
43	384,347.08	403,607.57	364,403.50	4.24
44	382,063.96	419,404.27	345,366.91	4.22
45	387,786.11	404,526.31	369,884.31	4.18
46	386,818.11	421,239.95	320,862.16	4.17
47	401,318.38	438,817.48	335,700.15	4.20
48	373,830.10	406,659.11	322,532.99	4.16
49	388,058.60	412,378.94	366,874.09	4.16
50	375,366.41	433,475.84	322,769.06	4.19
51	403,938.70	433,715.45	365,373.81	4.21
52	388,716.65	444,751.62	345,366.91	4.21
53	383,072.23	426,881.90	345,653.58	4.19
54	386,731.07	394,791.73	363,259.40	4.17
55	398,850.15	452,767.36		4.19
56	399,002.16	418,592.47	373,321.18	4.16
57	395,135.59	430,578.69	357,792.04	4.25
58	401,747.76	427,925.64	384,079.48	4.20
59	401,037.45	418,372.14	376,784.49	4.17
60	392,405.35	402,666.39	379,811.09	4.16
61	384,516.59	406,099.03	356,475.87	4.17

ตารางที่ 4.14 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
62	376,425.66	410,949.32	321,527.68	4.14
63	391,852.12	423,919.28	361,290.67	4.08
64	399,002.16	418,592.47	373,321.18	4.12
65	395,135.59	430,578.69	357,792.04	4.08
66	390,312.56	402,040.73	363,200.68	4.10
67	402,907.97	427,724.73	376,784.49	4.12
68	392,405.35	402,666.39	379,811.09	4.13
69	406,220.46	427,399.77	389,078.47	4.14
70	370,033.26	406,514.20	321,527.68	4.13
71	385,670.48	420,287.79	356,001.50	4.13
72	376,049.18	408,600.61	299,119.61	4.18
73	395,135.59	430,578.69	357,792.04	4.11
74	390,312.56	402,040.73	363,200.68	4.14
75	410,722.62	425,144.12	386,171.05	4.10
76	392,405.35	402,666.39	379,811.09	4.15
77	406,220.46	427,399.77	389,078.47	4.16
78	390,601.07	439,783.01	363,989.09	4.15
79	388,928.09	421,447.35	366,385.57	4.11
80	376,263.30	408,600.61	299,119.61	4.14
81	412,919.06	432,881.45	393,906.49	4.18

จากตารางที่ 4.14 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 70 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 370,033.26 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 55 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 296,249.81 บาท

ตารางที่ 4.15 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด

โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	116,213.78	121,021.07	101,665.58	5.31
2	115,683.93	118,565.36	112,678.88	5.30
3	110,288.22	115,024.85	105,619.61	5.26
4	119,715.84	127,957.19	107,671.74	5.30
5	116,131.09	123,364.77	102,151.09	5.30
6	114,137.07	119,794.64	105,783.54	5.30
7	111,137.42	119,914.39	99,133.18	5.29
8	110,662.42	122,332.49	84,126.77	5.31
9	114,138.16	122,483.77	108,515.86	5.31
10	115,508.45	118,480.74	112,678.88	5.29
11	110,729.44	115,024.85	107,002.71	5.28
12	110,340.94	119,436.65	100,380.29	5.28
13	115,426.43	121,995.58	102,151.09	5.28
14	114,137.07	119,794.64	105,783.54	5.32
15	113,634.75	124,148.37	103,508.42	5.31
16	110,662.42	122,332.49		5.33
17	112,546.10	122,896.88	106,389.15	5.29
18	115,445.75	123,591.07	110,319.33	5.29
19	110,199.92	115,024.85	105,619.61	5.31
20	112,724.62	123,301.06	100,380.29	5.33
21	114,602.44	122,927.05	101,665.58	5.27
22	112,082.11	122,616.43	104,280.71	5.28
23	110,840.54	121,211.39	99,884.92	5.28
24	121,176.01	127,845.21	116,255.11	5.28
25	110,731.03	122,896.88	97,313.82	5.32
26	115,645.54	123,591.07	109,439.03	5.28
27	109,340.88	115,950.34	99,133.18	5.34

ตารางที่ 4.15 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด

โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	109,967.33	115,707.92	101,432.27	5.26
29	118,036.24	127,119.70	111,108.27	5.29
30	110,655.25	118,244.16	96,655.03	5.29
31	109,282.63	116,591.06	102,150.91	5.26
32	111,256.09	121,651.59	100,700.84	5.28
33	117,662.97	126,213.77	99,221.02	5.25
34	115,487.65	120,695.37	108,776.79	5.29
35	105,156.46	111,540.80	96,850.35	5.23
36	113,996.96	124,476.41	98,277.02	5.35
37	118,802.80	127,119.70	111,108.27	5.32
38	114,395.41	118,244.16	104,551.69	5.29
39	113,174.29	122,186.91	108,000.31	5.27
40	111,256.09	121,651.59	100,700.84	5.29
41	117,662.97	126,213.77	99,221.02	5.28
42	107,603.69	113,030.26	99,760.02	5.28
43	107,603.69	111,540.80	96,850.35	5.28
44	110,185.37	116,905.14	98,277.02	5.31
45	119,407.80	126,818.80	113,753.74	5.27
46	114,395.41	118,244.16	104,551.69	5.29
47	112,355.02	121,813.27	108,000.31	5.27
48	112,486.87	122,234.55	101,432.27	5.32
49	117,662.97	126,213.77	99,221.02	5.29
50	107,484.94	112,436.49	99,760.02	5.35
51	106,766.20	116,591.06	100,842.93	5.28
52	110,083.79	116,905.14	98,277.02	5.28
53	118,801.52	123,787.38	113,753.74	5.28
54	115,333.89	120,537.26	108,776.79	5.29



ตารางที่ 4.15 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	106,231.41	110,950.57	98,020.28	5.26
56	112,715.42	119,306.42	105,302.56	5.32
57	118,817.83	124,539.17	114,822.31	5.28
58	108,302.59	123,311.79	96,114.99	5.31
59	112,861.49	120,604.17	102,815.70	5.38
60	106,434.73	114,740.10	96,623.43	5.33
61	115,813.97	118,903.98	111,463.83	5.27
62	115,571.96	125,155.44	100,651.84	5.27
63	112,052.87	116,861.80	109,454.85	5.26
64	112,710.76	119,283.15	105,302.56	5.28
65	119,124.19	126,070.98	114,822.31	5.33
66	107,731.47	116,451.47	89,294.19	5.26
67	112,861.49	120,604.17	102,815.70	5.29
68	106,434.73	114,740.10	96,623.43	5.29
69	115,537.19	125,544.92	108,115.41	5.29
70	115,571.96	125,155.44	100,651.84	5.28
71	112,052.87	116,861.80	109,454.85	5.30
72	115,495.37	121,194.37	107,448.46	5.29
73	119,124.19	126,070.98	114,822.31	5.32
74	107,731.47	116,451.47	89,294.19	5.29
75	106,686.63	110,950.57	98,020.28	5.29
76	106,434.73	114,740.10	96,623.43	5.28
77	115,537.19	125,544.92	108,115.41	5.33
78	108,457.29	124,085.34	96,114.99	5.28
79	112,254.76	116,861.80	109,454.85	5.34
80	115,495.37	121,194.37	107,448.46	5.33
81	115,799.48	118,903.98	111,463.83	5.30

จากตารางที่ 4.15 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอานานิคมมตโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 43 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 105,156.46 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 16 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 84,126.77 บาท

ตารางที่ 4.16 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	216,277.02	224,813.61	209,150.77	17.89
2	210,102.64	227,180.88	162,217.27	15.84
3	220,477.06	228,556.28	211,082.23	15.55
4	222,003.96	225,677.37	215,950.16	15.81
5	218,577.85	240,078.74	184,768.63	15.71
6	226,790.03	233,318.15	217,735.19	15.73
7	226,819.02	244,879.63	220,724.70	15.73
8	218,841.09	228,843.37	204,968.76	15.67
9	231,320.78	241,554.00	212,663.54	15.53
10	208,950.73	223,455.51	162,217.27	15.46
11	217,999.85	228,725.83	211,082.23	15.81
12	207,935.92	224,357.34	196,761.98	15.60
13	218,901.66	234,896.54	184,768.63	15.68
14	216,453.54	235,168.44	206,760.21	15.61
15	230,785.41	242,061.53	214,180.77	15.61
16	230,140.59	243,714.31	222,907.62	15.67
17	230,033.55	237,441.61	224,520.24	15.67
18	223,167.63	235,540.18	207,824.53	15.54
19	219,036.34	228,725.83	211,082.23	15.64
20	216,995.95	231,282.92	196,761.98	15.65
21	208,335.84	222,770.81	190,836.81	15.73

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	225,626.09	242,155.72	211,052.49	15.59
23	222,944.31	232,707.98	213,942.16	15.62
24	226,219.24	234,026.53	219,661.50	15.69
25	234,838.66	239,478.69	225,113.44	15.64
26	230,638.70	245,399.69	221,170.50	15.65
27	232,109.65	238,065.90	229,201.70	15.73
28	216,052.08	223,794.09	201,513.77	15.59
29	215,570.85	228,927.84	204,702.90	15.61
30	213,560.07	219,819.42	205,711.34	15.57
31	229,550.05	234,305.99	219,050.06	15.64
32	219,608.08	225,900.92	207,853.21	15.54
33	225,739.04	232,821.85	219,584.43	15.63
34	224,114.42	234,042.45	213,179.84	15.66
35	231,843.48	239,903.90	223,192.03	15.73
36	226,430.82	242,098.67	216,704.41	15.63
37	217,219.98	231,241.38	204,702.90	15.67
38	218,314.62	221,605.13	211,187.84	15.63
39	213,863.23	224,082.00	203,104.74	15.66
40	213,999.63	226,066.13	207,450.66	15.54
35	231,843.48	239,903.90	223,192.03	15.73
36	226,430.82	242,098.67	216,704.41	15.63
37	217,219.98	231,241.38	204,702.90	15.67
38	218,314.62	221,605.13	211,187.84	15.63
39	213,863.23	224,082.00	203,104.74	15.66
40	213,999.63	226,066.13	207,450.66	15.54
41	224,009.39	227,197.11	218,988.61	15.59
42	219,908.14	233,699.79	197,221.63	15.53

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
43	232,341.00	242,600.35	220,199.05	15.79
44	229,647.74	239,523.86	219,179.63	15.55
45	227,751.07	235,472.52	219,742.84	15.49
46	218,603.00	221,605.13	211,187.84	15.69
47	213,863.23	224,082.00	203,104.74	15.58
48	221,062.69	224,303.59	217,581.43	15.59
49	224,681.82	227,197.11	217,232.15	15.57
50	220,811.38	231,700.12	197,221.63	15.52
51	226,648.82	235,571.09	216,547.22	15.63
52	228,130.12	241,922.89	218,787.62	15.68
53	235,121.85	243,183.94	224,280.92	15.62
54	235,989.43	246,563.26	225,791.92	15.62
55	218,839.66	229,493.09	208,516.69	15.62
56	207,345.15	216,430.37	193,598.12	15.62
57	216,169.96	228,615.14	197,483.25	15.50
58	224,272.69	230,972.59	211,534.73	15.57
59	224,567.14	231,793.90	218,952.51	15.59
60	216,448.21	221,490.75	209,015.23	15.59
61	226,589.46	235,515.89	211,316.83	15.59
62	227,838.19	237,129.46	215,765.00	15.51
63	234,148.17	249,896.60	223,391.62	15.58
64		216,430.37	193,598.12	15.62
65	216,808.83	225,091.10	197,483.25	15.59
66	217,008.48	234,895.85	208,348.72	15.54
67	223,513.47	226,525.56	218,952.51	15.61
68	217,119.22	221,490.75	211,960.41	15.58
69	233,849.56	240,089.65	221,460.53	15.59

ตารางที่ 4.16 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
70	228,132.31	234,366.67	222,078.90	15.67
71	230,788.38	237,571.45	223,391.62	15.62
72	228,368.27	235,208.12	223,982.45	15.61
73	216,808.83	225,091.10	197,483.25	15.68
74	216,903.77	234,372.28	208,348.72	15.72
75	218,540.33	227,801.36	211,401.98	15.60
76	219,104.08	222,294.60	211,960.41	15.55
77	229,119.48	236,750.67	212,142.97	15.64
78	219,536.77	231,216.12	202,759.52	15.64
79	230,620.93	237,874.82	223,391.62	15.65
80	225,886.31	232,136.72	215,269.82	15.51
81	216,638.35	243,178.16	199,435.81	15.59

จากตารางที่ 4.16 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 64 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 207,345.15 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 2 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 162,217.27 บาท

ตารางที่ 4.17 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	199,632.64	208,559.53	192,296.43	15.91
2	196,081.54	208,546.89	188,908.50	15.91
3	192,038.05	208,250.91	181,445.05	15.94
4	204,620.41	223,303.57	189,502.84	15.86

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
5	201,842.09	218,057.01	178,775.29	16.02
6	205,191.84	216,206.38	195,306.27	16.13
7	213,194.38	237,880.74	176,540.91	15.90
8	206,234.20	223,682.08	184,007.03	16.01
9	214,326.09	232,018.41	200,518.24	15.96
10		190,602.79	171,743.50	16.02
11	194,464.90	203,445.95	185,311.12	15.90
12	191,739.03	214,260.31	163,813.67	15.86
13	196,860.90	221,478.05	177,705.08	15.97
14	202,447.00	223,834.21	175,756.49	15.90
15	209,836.65	230,155.69	193,733.32	15.84
16	203,551.25	227,370.88	172,559.90	15.99
17	213,976.37	224,025.71	200,737.65	15.91
18	217,299.11	231,835.08	202,775.04	15.86
19	192,324.14	208,250.91	181,445.05	15.87
20	196,143.31	207,711.74	188,535.26	15.86
21	190,590.38	208,990.50	164,501.25	15.89
22	211,250.59	216,206.38	205,514.67	15.92
23	211,062.25	222,189.42	188,787.31	16.01
24	202,055.93	212,379.59	188,841.04	15.98
25	212,142.72	235,209.33	195,482.65	15.94
26	217,247.45	237,438.42	199,197.50	15.92
27	216,980.23	227,702.74	188,924.76	15.93
28	195,687.06	218,958.56	182,007.37	15.92
29	198,686.62	217,021.11	182,947.45	15.87
30	202,848.17	224,570.24	186,820.73	15.78
31	213,996.05	231,200.83	197,590.23	15.88

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
32	208,952.86	229,257.20	198,154.65	15.84
33	214,068.91	221,339.26	197,675.86	15.82
34	216,240.42	233,933.68	209,312.94	15.81
35	202,618.26	233,778.68		15.82
36	207,046.27	224,195.45	192,591.66	15.85
37	197,315.39	209,603.06	187,110.24	15.94
38	193,792.62	205,543.65	182,824.07	15.84
39	197,707.12	212,247.35	182,546.35	15.96
40	196,584.11	207,318.18	188,888.03	15.88
41	204,429.31	226,291.58	171,523.86	15.83
42	202,586.13	216,253.75	197,134.33	15.81
43	207,293.84	228,931.82	189,807.68	15.84
44	205,391.98	235,359.77	188,028.29	15.89
45	200,195.29	211,983.86	189,877.06	15.86
46	202,587.17	220,963.01	186,820.73	15.88
47	199,456.06	205,219.11	186,469.92	15.77
48	186,240.41	209,443.81	147,894.62	15.85
49	213,621.24	223,726.47	201,646.58	15.77
50	209,911.01	215,536.62	200,047.71	15.89
51	203,751.27	225,037.56	186,186.19	16.05
52	220,408.25	237,437.17	198,815.13	15.94
53	209,444.13	232,147.75	167,117.92	15.93
54	208,264.46	221,835.88	188,751.26	15.94
55	207,562.39	215,833.77	193,282.31	15.78
56	201,743.09	211,175.83	194,388.35	15.74
57	190,489.45	204,594.94	178,725.96	15.85
58	204,712.16	217,938.57	184,307.61	15.80

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
59	211,654.13	221,207.95	199,165.79	15.76
60	198,618.54	234,149.67	166,268.13	15.80
61	210,254.61	227,537.58	192,650.46	15.98
62	210,735.03	228,070.73	166,867.18	15.98
63	216,347.58	233,403.97	188,108.62	15.92
64	197,276.06	213,181.04	183,031.79	15.88
65	202,937.65	210,911.75	192,146.76	15.92
66	201,869.98	207,636.86	192,690.92	15.89
67	213,779.11	220,168.54	199,051.51	15.95
68	211,511.83	220,813.03	201,105.95	15.85
69	195,786.08	215,793.83	167,693.46	15.99
70	213,572.52	232,383.94	192,107.80	15.96
71	214,467.68	235,185.44	181,548.48	16.05
72	204,775.03	220,918.23	184,583.80	16.00
73	190,010.20	204,594.94	178,725.96	15.99
74	194,231.80	211,050.48	173,041.91	15.97
75	198,939.18	206,734.49	187,449.08	15.99
76	206,390.70	235,853.86	177,362.47	15.96
77	198,627.71	211,550.53	184,638.88	15.84
78	207,069.98	230,605.55	185,451.73	15.96
79	214,805.14	232,846.65	188,108.62	15.82
80	207,996.04	239,706.98	180,392.97	15.85
81	215,354.20	227,885.18	204,185.91	15.79

จากตารางที่ 4.17 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีอานานิคมมตโดยปรับค่า  
พีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุด  
ที่ 10 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 182,381.21 บาท



เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 35 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 145,412.40 บาท

ตารางที่ 4.18 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	410,469.43	443,348.80	379,436.34	15.56
2	456,109.53	479,439.51	428,407.14	15.57
3	442,246.93	485,441.18	394,555.79	15.55
4	452,469.22	484,761.24	419,583.60	15.63
5	443,801.21	484,637.34	420,006.99	15.55
6	437,104.11	462,614.65	393,746.55	15.54
7	440,876.72	450,374.80	416,685.53	15.57
8	422,566.80	468,736.54	368,925.37	15.57
9	463,792.64	487,727.82	431,706.03	15.61
10	456,485.98	484,033.11	428,407.14	15.55
11	457,264.25	479,071.67	423,570.91	15.55
12	438,691.24	475,918.76	398,311.48	15.60
13	450,816.69	482,358.04	424,223.55	15.56
14	447,503.46	462,289.70	424,917.69	15.61
15	428,734.42	447,273.26	417,488.58	15.64
16	431,404.12	468,736.54	368,925.37	15.57
17	450,287.59	478,819.08	431,706.03	15.59
18	428,143.92	442,934.52	417,335.81	15.52
19	459,385.35	479,071.67	428,902.21	15.57
20	430,881.86	471,235.79	391,640.27	15.59
21	411,947.45	450,738.88	379,436.34	15.58
22	443,391.01	462,289.70	423,502.98	15.60
23	441,400.91	471,503.76	387,441.61	15.57
24	442,673.10	475,607.61	419,583.60	15.55

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
25	448,469.18	478,819.08	411,084.31	15.54
26	438,032.19	446,702.69	427,269.41	15.58
27	455,201.39	466,576.69	449,637.97	15.66
28	450,434.27	492,994.73	378,272.33	15.45
29	432,936.18	454,698.42	385,422.89	15.54
30	444,447.95	459,741.44	428,323.68	15.61
31	443,149.61	469,061.49	420,159.77	15.55
32	444,091.89	465,880.59	403,946.08	15.50
33	438,652.78	479,480.51	378,472.65	15.51
34	455,551.00	487,696.97	436,305.53	15.52
35	454,225.34	480,693.36	428,659.09	15.58
36	431,049.33	464,844.18	385,766.05	15.51
37	428,265.44	453,449.70	385,422.89	15.56
38	446,689.17	459,741.44	433,109.52	15.50
39	441,527.02	464,973.73	419,811.62	15.53
40	445,949.98	465,880.59	403,946.08	15.52
41	436,808.41	479,480.51	378,472.65	15.53
42	452,044.48	481,041.34	400,949.70	15.54
43	452,137.15	481,040.52	417,870.99	15.63
44	433,658.63	477,890.64	385,766.05	15.58
45	444,254.21	463,575.10	412,384.81	15.55
46	446,689.17	459,741.44	433,109.52	15.57
47	436,923.42	464,973.73	396,793.62	15.55
48	458,061.73	493,761.37	413,878.16	15.52
49	436,687.15	478,874.21	378,472.65	15.49
50	446,877.72	481,041.34	400,949.70	15.60

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
51	448,124.72	464,046.33	420,159.77	15.51
52	448,124.72	478,286.14	420,159.77	15.54
53	441,939.09	463,575.10	412,384.81	15.56
54	438,972.52	460,427.35	417,598.26	15.56
55	440,952.63	473,072.39	410,359.00	15.47
56	445,819.92	483,881.13	404,443.85	15.51
57	434,389.23	483,349.46	382,604.49	15.53
58	449,757.85	491,994.91	384,935.91	15.56
59	460,492.48	480,515.18	445,816.56	15.51
60	411,631.24	448,357.02	388,420.77	15.55
61	429,792.46	466,385.81	376,748.73	15.52
62	445,875.09	469,659.25	422,285.37	15.49
63	441,901.54	479,626.20	394,774.93	15.51
64	445,819.92	483,881.13	404,443.85	15.51
65	434,389.23	483,349.46	382,604.49	15.51
66	456,197.57	472,306.28	441,565.05	15.53
67	460,492.48	480,515.18	445,816.56	15.48
68	414,604.26	448,357.02	388,420.77	15.53
69	432,424.30	478,321.04	386,204.98	15.49
70	445,875.09	469,659.25	422,285.37	15.49
71	441,901.54	479,626.20	394,774.93	15.50
72	437,968.78	457,925.59	398,185.27	15.57
73	434,145.56	483,349.46	382,604.49	15.49
74	448,779.08	472,306.28	418,847.12	15.55
75	445,022.57	473,072.39	426,578.91	15.50
76	411,919.76	448,357.02	385,920.59	15.53
77	432,424.30	478,321.04	386,204.98	15.50

ตารางที่ 4.18 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
78	459,934.03	495,165.64	424,589.93	15.53
79	440,954.47	474,890.82	394,774.93	15.56
80	437,968.78	457,925.59	398,185.27	15.51
81	427,705.93	466,385.81	376,748.73	15.62

จากตารางที่ 2.18 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับ  
ค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์  
ชุดที่ 52 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 407,285.43 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 52  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 341,004.26 บาท

ตารางที่ 4.19 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	554,416.25	583,039.23	558,039.23	43.35
2	572,495.01	585,033.59	556,025.56	40.60
3	571,508.70	583,419.43	560,328.27	40.79
4	573,913.78	595,160.40	551,267.03	40.55
5	579,316.88	601,243.74	524,951.27	40.63
6	571,927.91	593,857.67	540,693.61	40.59
7	564,605.18	576,825.38	535,065.77	40.50
8	573,501.84	580,675.73	567,762.53	40.53
9	570,116.67	585,658.94	543,625.55	40.57
10	570,338.86	585,033.59	552,361.03	40.59
11	565,776.97	571,430.67	560,328.27	40.57
12	573,895.48	595,271.55	555,721.20	40.60
13	570,040.62	602,103.63	524,951.27	40.55

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
14	580,579.74	601,652.25	562,957.81	40.61
15	563,228.07	579,158.78	529,064.84	40.62
16	578,195.06	596,087.31	566,712.91	40.57
17	571,528.81	582,871.69	554,715.69	40.51
18	569,172.27	587,605.45	544,580.59	40.74
19	567,648.18	583,419.43	556,882.48	40.56
20	569,311.11	582,479.31	548,992.71	40.65
21	556,750.68	583,039.23	534,541.02	40.58
22	568,732.19	588,686.63	545,995.77	40.62
23	571,103.58	593,146.94	539,199.05	40.50
24	571,789.93	603,074.36	526,477.86	40.60
25	573,286.69	588,902.28	545,629.39	40.55
26	563,195.64	587,000.29	514,052.90	40.44
27	564,489.56	585,348.00	541,826.94	40.51
28	580,016.67	595,999.56	568,506.31	40.42
29	558,275.06	572,760.39	542,312.77	40.34
30	569,761.05	577,236.47	563,949.29	40.41
31	576,136.72	588,279.58	564,313.18	40.34
32	571,410.27	597,010.88	544,745.24	40.34
33	568,745.37	595,835.85	550,199.10	40.46
34	567,205.84	589,812.27	537,654.40	40.52
35	557,565.69	595,124.92	538,296.14	40.45
36	560,931.58	586,545.87	531,995.83	40.54
37	558,275.06	572,760.39	542,312.77	40.53
38	571,031.22	583,418.49	556,239.87	40.48
39	566,200.08	593,286.04	529,294.50	40.62
40	565,899.89	587,598.90	549,281.46	40.54
41	576,330.99	595,835.85	557,792.65	40.50

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด

โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
42	563,997.44	592,428.93	522,581.49	40.63
43	560,194.45	578,214.47	541,602.00	40.59
44	572,266.19	588,045.46	555,584.32	40.51
45	582,097.78	602,201.15	567,747.09	40.55
46	577,861.05	588,393.53	569,358.19	40.52
47	565,015.94	594,426.83	529,294.50	40.48
48	578,927.28	595,486.94	561,441.17	40.57
49	570,341.13	582,943.85	557,792.65	40.51
50	571,910.67	590,768.42	548,568.11	40.46
51	572,703.91	588,005.20	551,512.45	40.55
52	573,174.24	585,627.80	555,584.32	40.50
53	575,322.07	588,414.90	548,997.31	40.57
54	557,997.36	592,719.49	517,202.46	40.70
55	566,321.01	584,047.31	556,144.30	40.45
56	572,925.16	580,189.86	563,990.50	40.43
57	577,432.55	597,966.12	560,821.81	40.46
58	583,358.98	593,492.56	572,758.08	40.51
59		576,307.08	523,746.41	40.42
60	579,117.48	597,010.88	555,215.70	40.49
61	560,302.35	594,150.64	520,244.19	40.40
62	554,911.12	567,370.80	530,175.74	40.45
63	567,129.80	585,369.84	552,693.65	40.41
64	576,074.00	580,189.86	571,116.33	40.43
65	577,432.55	597,966.12	560,821.81	40.46
66	563,004.73	584,998.67	538,269.46	40.35
67	554,356.35	576,307.08	523,746.41	40.40
68	579,737.54	597,010.88	555,215.70	40.43
69	585,611.69	593,954.34	574,416.55	40.41

ตารางที่ 4.19 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
70	554,428.20	561,917.48	543,371.76	40.38
71	570,934.04	585,369.84	552,693.65	40.46
72	558,543.58	579,517.30	536,618.49	40.34
73	576,038.36	594,431.53	560,821.81	40.46
74	563,505.20	585,108.38	538,269.46	40.43
75	566,321.01	584,047.31	556,144.30	40.44
76	580,432.47	597,010.88	555,215.70	40.41
77	585,623.87	593,954.34	574,416.55	40.45
78	578,796.60	593,492.56	548,492.38	40.42
79	567,290.98	580,952.65	552,693.65	40.37
80	559,351.43	581,128.59	536,618.49	40.49
81	564,137.19	584,093.62	548,297.86	40.43

จากตารางที่ 4.19 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีอานานิคมมด โดยปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
59 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 552,199.16 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 1  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 510,507.03 บาท

ตารางที่ 4.20 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,488,822.54	1,524,662.23	1,469,682.73	42.46
2	1,470,567.22	1,491,110.17	1,413,228.19	42.68
3	1,441,526.33	1,479,060.33	1,404,855.50	42.64
4	1,448,091.16	1,510,186.49	1,404,628.41	42.80
5	1,429,956.32	1,528,838.58	1,333,150.59	42.56

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมค

โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
6	1,458,722.22	1,511,774.39	1,401,659.90	42.59
7	1,427,743.41	1,480,891.61	1,378,427.68	42.48
8	1,416,208.45	1,464,939.27	1,486,397.91	42.53
9	1,460,975.64	1,548,407.03	1,411,798.72	42.31
10	1,479,200.24	1,491,078.46	1,454,636.43	42.73
11	1,438,194.09	1,507,293.90	1,378,419.33	42.87
12	1,431,867.76	1,495,213.39	1,385,284.10	42.58
13	1,456,365.44	1,494,908.60	1,374,727.32	42.50
14	1,445,991.09	1,471,285.35	1,415,280.41	42.48
15	1,460,757.81	1,509,779.44	1,406,512.75	42.58
16	1,442,083.49	1,489,621.72	1,369,171.02	42.47
17	1,447,398.42	1,495,609.43	1,398,848.78	42.60
18	1,437,744.59	1,496,102.73	1,358,176.55	42.57
19	1,444,948.15	1,477,156.20	1,400,249.99	42.46
20	1,458,055.05	1,472,799.99	1,438,393.06	42.54
21	1,444,080.96	1,511,014.69	1,361,645.63	42.50
22	1,467,921.68	1,480,384.51	1,431,112.23	42.72
23	1,419,835.07	1,471,725.44	1,297,621.37	42.33
24	1,417,592.68	1,453,127.01	1,310,304.78	42.96
25	1,401,824.14	1,494,799.97	1,289,749.81	42.57
26	1,411,933.49	1,468,800.59	1,341,658.18	42.66
27	1,472,968.94	1,523,905.20	1,392,028.50	43.07
28	1,469,455.65	1,534,611.67	1,402,480.98	42.43
29	1,465,103.69	1,554,956.36	1,368,098.32	42.28
30	1,466,161.24	1,516,975.31	1,403,922.31	42.46
31	1,457,565.09	1,517,342.61	1,398,689.25	42.51
32	1,429,429.11	1,513,842.23	1,318,862.11	42.38
33	1,474,724.51	1,517,083.39	1,403,887.52	42.53



ตารางที่ 4.20 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
34	1,435,963.97	1,479,172.57	1,407,834.24	42.41
35	1,439,559.34	1,530,996.44	1,269,140.33	42.19
36	1,467,412.56	1,570,314.80	1,393,938.56	42.53
37	1,449,026.66	1,551,002.85	1,368,098.32	42.61
38	1,459,220.82	1,522,335.44	1,403,922.31	42.74
39	1,401,678.99	1,481,367.45	1,320,084.88	42.35
40	1,410,487.23	1,491,009.33	1,318,862.11	42.29
41	1,424,710.46	1,499,126.66	1,357,471.13	42.53
42	1,445,789.97	1,512,747.79	1,338,899.74	42.44
43	1,415,355.72	1,500,262.40	1,305,578.14	42.68
44	1,425,701.91	1,491,326.68	1,376,583.63	42.23
45	1,468,010.89	1,530,185.32	1,397,627.55	42.61
46	1,471,914.23	1,522,335.44	1,403,922.31	42.39
47	1,389,070.59	1,461,335.56	1,320,084.88	42.52
48	1,406,643.62	1,459,658.62	1,389,312.80	42.53
49	1,464,215.27	1,529,642.66	1,408,354.11	42.38
50	1,456,094.68	1,534,808.59	1,324,102.16	42.38
51	1,455,416.85	1,487,342.49	1,385,344.21	42.39
52	1,474,697.06	1,570,314.80	1,393,938.56	42.35
53	1,414,059.58	1,472,457.35	1,383,874.39	42.24
54	1,468,304.15	1,513,532.43	1,418,235.84	42.10
55	1,472,868.79	1,495,543.24	1,401,271.42	42.02
56	1,394,734.46	1,442,945.22	1,322,294.31	42.15
57	1,428,649.64	1,491,731.36	1,361,612.77	42.20
58	1,454,937.75	1,478,135.16	1,431,990.64	42.21
59	1,448,564.73	1,492,052.03	1,423,127.80	42.26
60	1,473,467.12	1,516,263.69	1,444,564.99	42.47
61	1,439,489.37	1,581,256.34	1,346,079.89	42.67

ตารางที่ 4.20 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบอบานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
62	1,447,168.11	1,480,957.96	1,403,137.61	42.25
63	1,425,467.84	1,527,841.95	1,302,286.93	42.47
64	1,394,734.46	1,442,945.22	1,322,294.31	42.29
65	1,448,864.19	1,491,731.36	1,369,338.74	42.02
66	1,430,781.44	1,465,316.96	1,397,183.16	42.06
67	1,466,721.38	1,553,828.62	1,423,127.80	42.19
68	1,475,608.56	1,518,884.34	1,450,630.74	42.41
69	1,499,406.82	1,524,898.95	1,459,960.81	42.25
70	1,447,168.11	1,480,957.96	1,403,137.61	42.17
71	1,433,248.52	1,469,123.16	1,381,242.00	42.35
72	1,430,586.73	1,476,435.98	1,316,556.17	42.20
73	1,447,716.92	1,485,995.03	1,369,338.74	42.24
74	1,466,017.70	1,523,848.65	1,430,566.33	42.27
75	1,430,540.03	1,485,198.97	1,367,797.38	42.34
76	1,477,579.17	1,517,245.12	1,450,630.74	42.29
77	1,509,815.61	1,602,614.39	1,452,324.92	42.08
78	1,457,774.42	1,564,138.28	1,393,602.61	42.38
79	1,437,498.08	1,481,776.30	1,381,242.00	42.21
80	1,422,665.53	1,559,898.49	1,316,556.17	42.61
81	1,467,431.62	1,508,261.74	1,439,663.29	42.31

จากตารางที่ 4.20 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบอบานานิคมมด โดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 47 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,389,074.59 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 8 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 1,286,597.55 บาท

ตารางที่ 4.21 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	1,021,783.42	1,084,307.43	974,132.85	51.11
2	1,004,174.27	1,064,616.35	875,500.64	50.36
3	1,027,610.88	1,082,018.47	958,168.35	50.58
4	997,797.72	1,046,739.21	909,978.55	50.44
5	1,023,264.46	1,109,167.98	954,703.38	50.34
6	1,029,285.92	1,080,073.76	963,930.97	50.42
7	975,122.02	1,043,669.78	927,640.70	49.74
8	971,913.61	1,008,941.36	929,504.12	49.73
9	979,672.46	1,047,914.23	913,405.15	49.80
10	1,004,436.60	1,050,770.73	947,250.03	50.53
11	1,028,151.00	1,072,612.30	979,090.30	50.62
12	1,040,693.59	1,065,647.15	1,010,335.02	50.52
13	1,027,424.16	1,094,355.44	880,582.70	50.43
14	1,015,323.12	1,106,572.04	925,595.90	50.29
15	1,028,890.25	1,079,793.02	969,663.64	50.32
16	996,041.66	1,076,488.78	948,047.40	49.98
17	989,891.65	1,025,487.32	929,731.85	49.68
18	1,005,337.74	1,065,314.22	877,844.13	49.68
19	1,034,462.26	1,087,629.59	1,007,313.91	50.62
20	972,421.89	1,047,703.29	860,962.22	50.52
21	1,035,807.22	1,102,176.60	983,116.38	50.56
22	1,036,417.83	1,105,043.87	925,272.70	50.20
23	1,038,017.60	1,114,504.59	905,475.51	50.33
24	1,019,277.58	1,093,018.10	930,678.49	50.23
25	967,422.46	1,018,689.24	935,109.97	49.78
26	982,783.41	1,012,560.25	927,510.98	49.90
27	979,464.83	1,029,785.53	959,679.31	49.82
28	1,066,646.50	1,106,418.58	1,024,533.25	50.27

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
29	1,007,096.45	1,040,650.46	984,406.49	50.30
30	998,356.88	1,029,111.17	937,202.15	50.15
31	1,037,846.24	1,093,934.54	999,811.87	50.24
32	984,226.56	1,126,630.87	920,364.25	50.02
33	1,057,569.43	1,106,995.76	1,024,808.26	50.31
34	1,040,638.09	1,087,811.43	991,677.47	49.81
35	1,016,108.00	1,038,683.85	984,008.08	49.44
36	970,245.58	996,538.45	940,124.40	49.60
37	1,077,547.51	1,115,392.96	1,020,424.22	50.46
38	1,005,912.87	1,071,973.28	890,890.57	50.32
39	1,045,253.95	1,089,937.44	972,122.71	50.28
40	1,042,688.05	1,077,087.64	970,181.93	50.18
41	1,045,877.49	1,062,908.58	1,022,407.31	50.08
42	1,037,114.45	1,123,079.32	990,506.43	50.04
43	983,632.54	1,031,178.67	921,584.80	49.65
44	1,025,611.36	1,047,859.74	1,004,189.11	49.48
45	994,498.56	1,031,178.05	948,198.48	49.54
46	984,472.97	1,061,883.38	882,509.18	50.36
47	1,005,695.20	-1,052,309.42	920,788.49	50.22
48	984,470.62	1,038,038.48	901,854.60	50.33
49	1,050,087.81	1,097,934.52	1,010,284.40	50.02
50	1,045,407.21	1,100,230.66	978,138.75	50.15
51	1,070,061.39	1,113,797.17	1,043,943.59	50.07
52	990,889.19	1,023,924.14	940,159.40	49.55
53	982,719.24	1,007,021.22	968,418.89	49.64
54	1,009,965.45	1,058,354.84	983,401.01	49.69
55	1,031,715.08	1,091,109.26	994,054.65	50.19
56	1,002,116.87	1,037,687.58	939,426.79	50.07

ตารางที่ 4.21 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
57	1,001,907.44	1,090,366.43	941,340.55	50.20
58	1,060,038.41	1,080,928.28	1,035,764.02	50.01
59	1,010,389.98	1,050,376.63	933,082.12	49.87
60	1,015,851.25	1,097,782.78	932,510.63	49.90
61	977,520.50	1,029,661.08	931,091.62	49.40
62	937,517.55	937,517.55	937,517.55	49.40
63	1,014,946.29	1,054,484.23	969,741.73	49.36
64	974,461.79	1,037,339.24	925,155.73	50.08
65	992,532.71	1,025,004.54	932,923.12	50.11
66	990,675.51	1,058,555.45	912,207.35	50.04
67	1,058,778.38	1,087,522.25	1,028,246.26	49.91
68	1,016,415.95	1,101,159.14	936,736.86	49.75
69	1,022,204.07	1,089,695.14	930,194.11	50.01
70	982,458.37	1,053,187.86	932,331.06	49.31
71	970,807.84	1,014,425.80	916,706.43	49.50
72	969,437.43	1,056,067.21	926,644.19	49.46
73	1,003,201.19	1,088,320.45	941,340.55	50.17
74	1,051,388.11	1,093,493.26	996,706.22	50.26
75	1,026,406.48	1,076,842.92	997,303.45	50.08
76	1,002,369.36	1,097,782.78	932,510.63	49.81
77	1,033,340.52	1,086,393.00	970,359.53	49.75
78	966,518.40	1,049,027.64	886,437.87	49.81
79	1,009,654.12	1,054,484.23	969,741.73	49.40
80	1,010,285.76	1,038,859.49	960,280.20	49.34
81	1,023,413.42	1,077,084.33	956,031.55	49.30

จากตารางที่ 4.21 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีอาณานิคมมด โดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 62 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 888,850.75 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 62 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 813,819.76 บาท

#### 4.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดสอบฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนักเต็มความจุยานพาหนะ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองแบบบรรทุกฟังก์ชันเป้าประสงค์น้ำหนักเต็มความจุยานพาหนะนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของจำนวนมด/จำนวนรอบฟีโรโมนเริ่มต้น อัตราการระเหยของฟีโรโมน แอลฟา และเบต้า ว่าส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายโดยใช้วิธีการประเมินผล ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model) ซึ่งแสดงค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square : SS) ค่า F-value (ค่า F) ค่า P-value (ค่า P) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เพื่ออธิบายถึง ผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Factors) ค่า P-value สามารถบอกได้ว่า ปัจจัยใดมีผลกระทบต่อการทดลอง เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยนั้นมีผลต่อการทดลองที่นัยสำคัญทางสถิติ (Significance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในการวิเคราะห์ผลได้กำหนดตัวแปรโดย

Number of Ant/ Iteration	คือ จำนวนมด/จำนวนรอบ
Pheromone Initail	คือ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น
Evaporation(Rho)	คือ ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน
Alpha	คือ แอลฟา
Beta	คือ เบต้า

4.7.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.17

General Linear Model: TotalCost11 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost11, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	340102775	340102775	170051387	6.61	
Rho	2	145416908	145416908	72708454	2.83	
Alpha	2	4328759188	4328759188	2164379594	84.11	
Beta	2	372244447	372244447	186122224	7.23	
NumAnt_NumGen*Rho	4	170901856	170901856	42725464	1.66	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	26433579	26433579	6608395	0.26	
NumAnt_NumGen*Beta	4	267628848	267628848	66907212	2.60	
Rho*Alpha	4	16530701	16530701	4145175	0.16	
Rho*Beta	4	137210241	137210241	34302560	1.33	
Alpha*Beta	4	132564408	132564408	33141102	1.29	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	267611873	267611873	33451494	1.30	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	204294074	204294074	25549259	0.99	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	174844994	174844994	21855624	0.85	
Rho*Alpha*Beta	8	94724251	94724251	11840531	0.46	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	390117900	390117900	24382369	0.95	
Error	324	8337711995	8337711995	25733679		
Total	404	15407248037				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.002
Rho	0.061
Alpha	0.000
Beta	0.001
NumAnt_NumGen*Rho	0.159
NumAnt_NumGen*Alpha	0.905
NumAnt_NumGen*Beta	0.036
Rho*Alpha	0.958
Rho*Beta	0.257
Alpha*Beta	0.275
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.243
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.441
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.560
Rho*Alpha*Beta	0.984
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.515
Error	
Total	

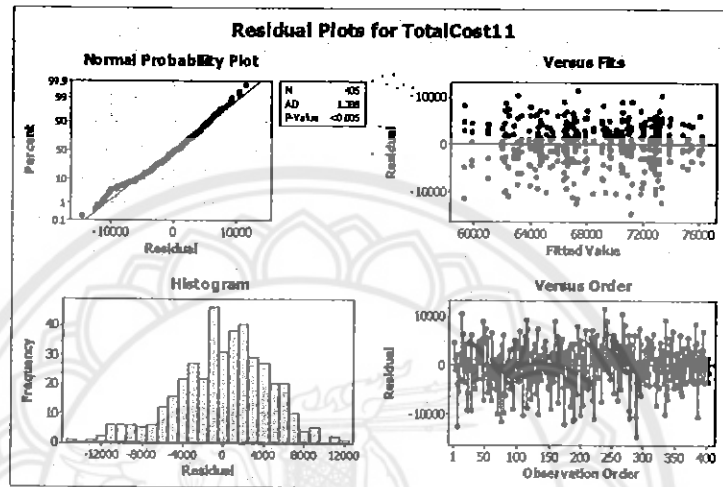
  

S = 5072.84    R-Sq = 45.88%    R-Sq(adj) = 32.52%

รูปที่ 4.17 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.17 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของจำนวนมด/จำนวนรอบ แอลฟา และเบต้า ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด

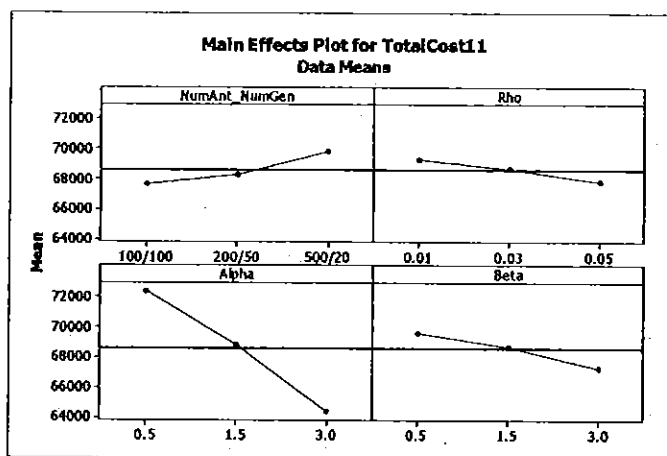
เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ จำนวนมด/จำนวนรอบ กับแอลฟา พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 45.88 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 45.88 มีการแสดงกราฟ ดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

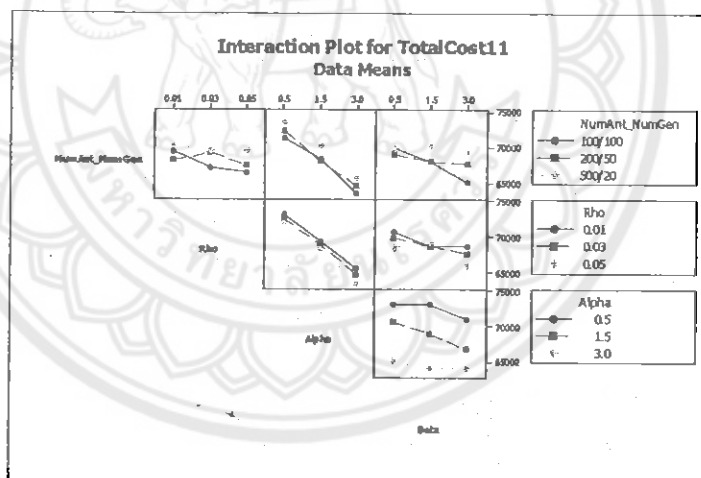
จากรูปที่ 4.18 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 11 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.19





รูปที่ 4.19 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.19 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟาส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ ถ้าค่าแอลฟายังมากจะทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยลง และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.20



รูปที่ 4.20 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.20 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และปีศาจที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.4 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 59,319.48 บาท

4.7.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.21

General Linear Model: TotalCost12 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost12, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	324758250	324758250	162379175	0.14
Rho	2	1676126404	1676126404	838063202	0.70
Alpha	2	8741492338	8741492338	4370746169	3.67
Beta	2	4596795876	4596795876	2298397938	1.93
NumAnt_NumGen*Rho	4	549465125	549465125	137366281	0.12
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1721485637	1721485637	430371409	0.36
NumAnt_NumGen*Beta	4	2444391048	2444391048	611097762	0.51
Rho*Alpha	4	966857872	966857872	241714468	0.20
Rho*Beta	4	2103263767	2103263767	525815942	0.44
Alpha*Beta	4	1122574316	1122574316	280643579	0.24
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	7462428201	7462428201	932803525	0.78
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	6103186264	6103186264	762898283	0.64
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	7074043697	7074043697	884255462	0.74
Rho*Alpha*Beta	8	8344677419	8344677419	1043084677	0.88
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	17073256299	17073256299	1067078519	0.90
Error	324	3.85357E+11	3.85357E+11	1189373202	
Total	404	4.55662E+11			

Source	P
NumAnt_NumGen	0.872
Rho	0.495
Alpha	0.026
Beta	0.146
NumAnt_NumGen*Rho	0.977
NumAnt_NumGen*Alpha	0.836
NumAnt_NumGen*Beta	0.726
Rho*Alpha	0.937
Rho*Beta	0.778
Alpha*Beta	0.918
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.617
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.743
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.653
Rho*Alpha*Beta	0.536
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.573
Error	
Total	

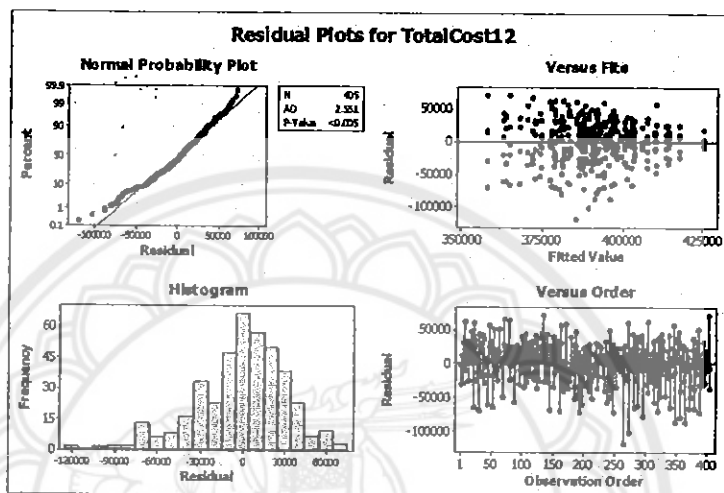
  

S = 34497.3    R-Sq = 15.43%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.21 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีระบบอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

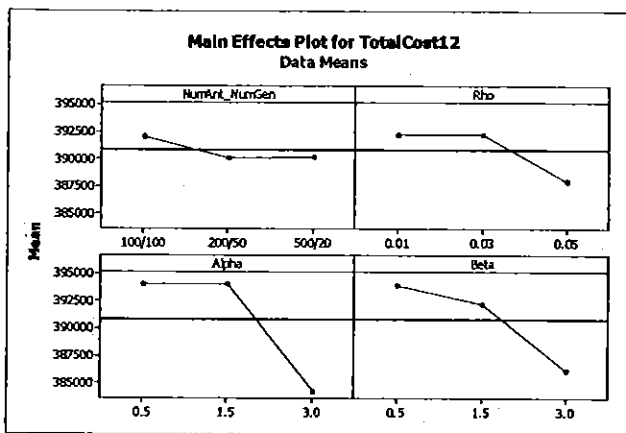
จากรูปที่ 4.21 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ จำนวนมด/จำนวนรอบ กับแอลฟา พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 15.43 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 15.43 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.22



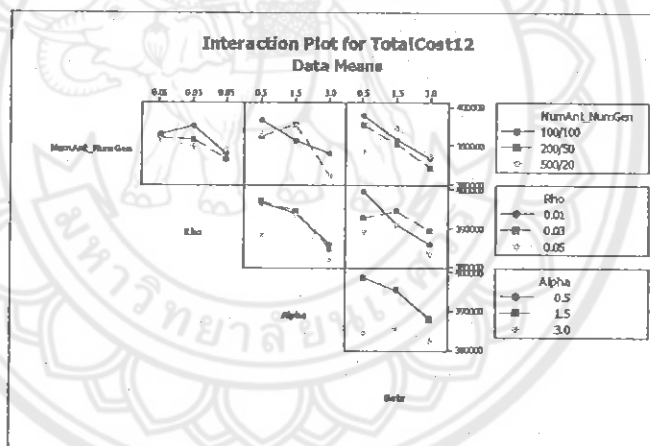
รูปที่ 4.22 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.22 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 12 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.23



รูปที่ 4.23 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.23 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.24



รูปที่ 4.24 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.24 ควรกำหนด จำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และ บีต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.5 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 357,715.08 บาท

4.7.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.25

General Linear Model: TotalCost13 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost13, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	106786246	106786246	53393123	0.89
Rho	2	95826349	95826349	42918174	0.72
Alpha	2	42104598	42104598	21052299	0.35
Beta	2	101125352	101125352	50562676	0.84
NumAnt_NumGen*Rho	4	461184963	461184963	115296241	1.92
NumAnt_NumGen*Alpha	4	315256987	315256987	78814247	1.32
NumAnt_NumGen*Beta	4	67397756	67397756	16849439	0.28
Rho*Alpha	4	142269888	142269888	35567472	0.59
Rho*Beta	4	68842469	68842469	17210617	0.29
Alpha*Beta	4	241614935	241614935	60403734	1.01
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	652482471	652482471	81560309	1.36
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	415942546	415942546	51992818	0.87
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	196271045	196271045	24533881	0.41
Rho*Alpha*Beta	8	100583697	100583697	12572962	0.21
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	1046819443	1046819443	65426215	1.09
Error	324	19413030057	19413030057	59916759	
Total	404	23457548802			

Source	P
NumAnt_NumGen	0.411
Rho	0.489
Alpha	0.704
Beta	0.431
NumAnt_NumGen*Rho	0.106
NumAnt_NumGen*Alpha	0.264
NumAnt_NumGen*Beta	0.890
Rho*Alpha	0.667
Rho*Beta	0.986
Alpha*Beta	0.403
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.213
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.544
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.915
Rho*Alpha*Beta	0.989
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.361
Error	
Total	

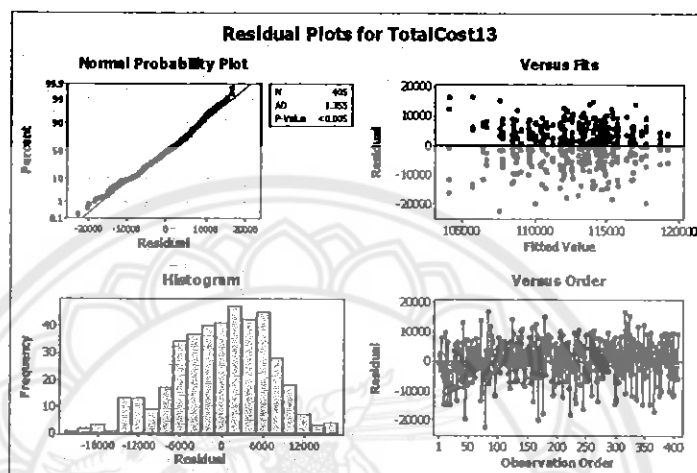
  

S = 7740.59    R-Sq = 17.24%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.25 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

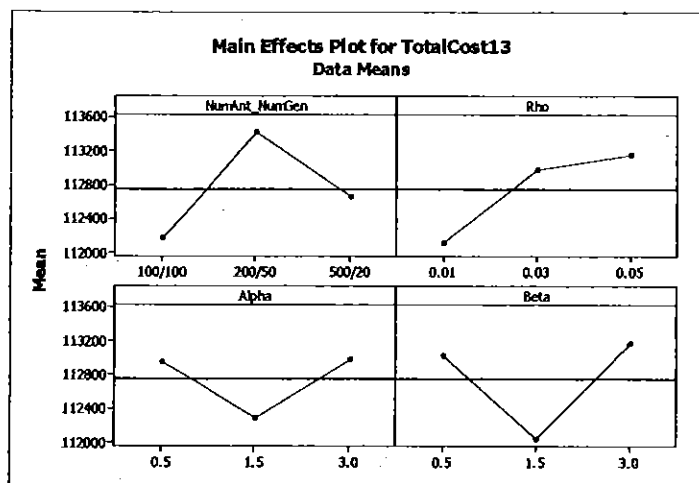
จากรูปที่ 4.25 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักและไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 17.24 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 17.24 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.26



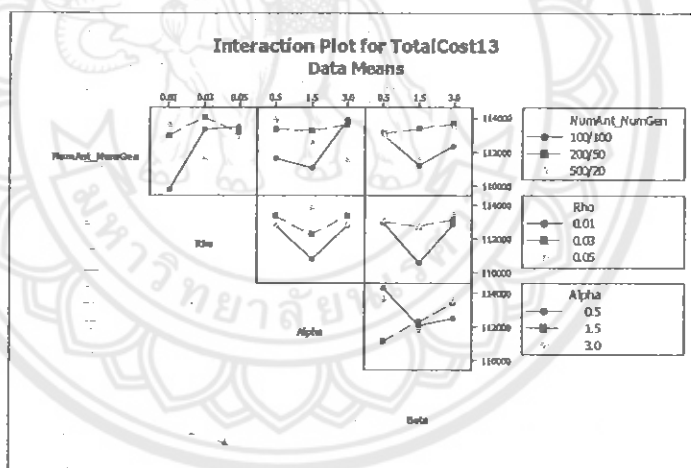
รูปที่ 4.26 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.26 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 13 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.27



รูปที่ 4.27 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.27 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักและไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.28



รูปที่ 4.28 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.28 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.01 แอลฟาที่ 0.5 และบีตาที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.6 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 104,090.10 บาท

4.7.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.29

General Linear Model: TotalCost14 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost14, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	9065769	9065769	4532884	0.05
Rho	2	198823940	198823940	99411970	1.13
Alpha	2	5196138849	5196138849	2598069425	29.43
Beta	2	144687225	144687225	72343612	0.32
NumAnt_NumGen*Rho	4	47609853	47609853	11902463	0.13
NumAnt_NumGen*Alpha	4	767276405	767276405	191819101	2.17
NumAnt_NumGen*Beta	4	79858603	79858603	19964651	0.23
Rho*Alpha	4	634900273	634900273	158725068	1.30
Rho*Beta	4	311293653	311293653	77823413	0.33
Alpha*Beta	4	371784357	371784357	92946089	1.05
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	700761484	700761484	87595186	0.99
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	350505080	350505080	43813125	0.50
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	769959373	769959373	96244922	1.09
Rho*Alpha*Beta	8	677708774	677708774	84712597	0.96
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	1457667836	1457667836	91104240	1.03
Error	324	28605421299	28605421299	88288337	
Total	404	40223562773			

Source	F
NumAnt_NumGen	0.950
Rho	0.326
Alpha	0.000
Beta	0.442
NumAnt_NumGen*Rho	0.969
NumAnt_NumGen*Alpha	0.072
NumAnt_NumGen*Beta	0.924
Rho*Alpha	0.129
Rho*Beta	0.475
Alpha*Beta	0.390
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.442
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.859
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.370
Rho*Alpha*Beta	0.468
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.422
Error	
Total	

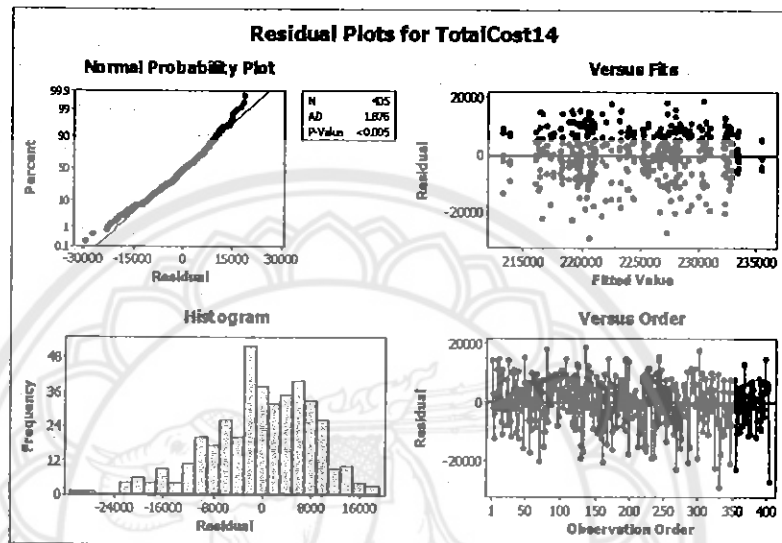
S = 9396.19    R-Sq = 29.06%    R-Sq(adj) = 11.54%

รูปที่ 4.29 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)



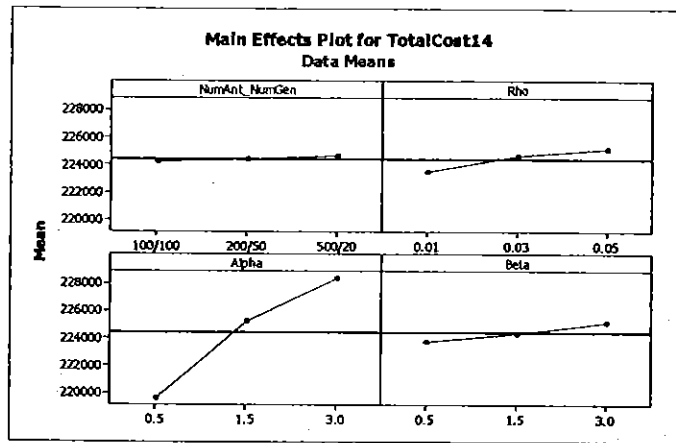
จากรูปที่ 4.29 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 29.06 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 29.06 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.30



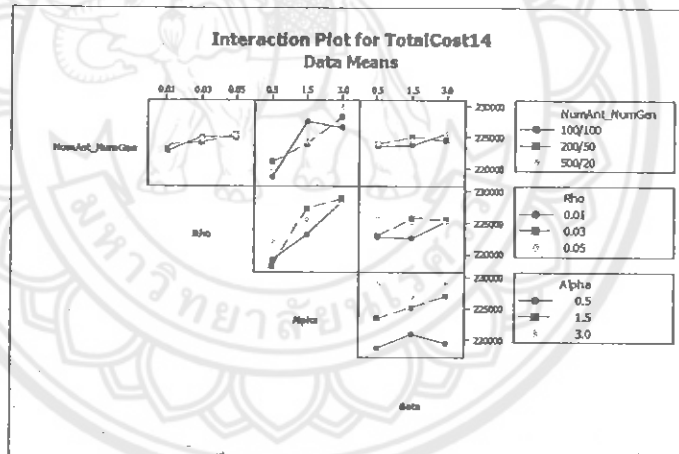
รูปที่ 4.30 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.30 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 14 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.31



รูปที่ 4.31 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.31 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.32



รูปที่ 4.32 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่า พีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.32 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 0.5 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.7 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 213,296.25 บาท

4.7.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.34

General Linear Model: TotalCost15 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost15, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	708850854	708850854	354425427	1.98	
Rho	2	25774651	25774651	12887326	0.07	
Alpha	2	10289133662	10289133662	5144566931	27.22	
Beta	2	553540789	553540789	276770395	1.46	
NumAnt_NumGen*Rho	4	176817206	176817206	44204301	0.23	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1769534759	1769534759	442383690	2.34	
NumAnt_NumGen*Beta	4	1327569223	1327569223	331892306	1.76	
Rho*Alpha	4	1364881220	1364881220	341220305	1.81	
Rho*Beta	4	994407097	994407097	248601774	1.32	
Alpha*Beta	4	356184613	356184613	89046153	0.47	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	2114787850	2114787850	264346481	1.40	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	1279191240	1279191240	159898905	0.85	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	614500761	614500761	76812595	0.41	
Rho*Alpha*Beta	8	1087727750	1087727750	135965969	0.72	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	2410496110	2410496110	150656007	0.80	
Error	324	61238764514	61238764514	189008532		
Total	404	86312162298				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.155
Rho	0.934
Alpha	0.000
Beta	0.233
NumAnt_NumGen*Rho	0.919
NumAnt_NumGen*Alpha	0.055
NumAnt_NumGen*Beta	0.137
Rho*Alpha	0.127
Rho*Beta	0.264
Alpha*Beta	0.757
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.196
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.563
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.917
Rho*Alpha*Beta	0.674
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.689
Error	
Total	

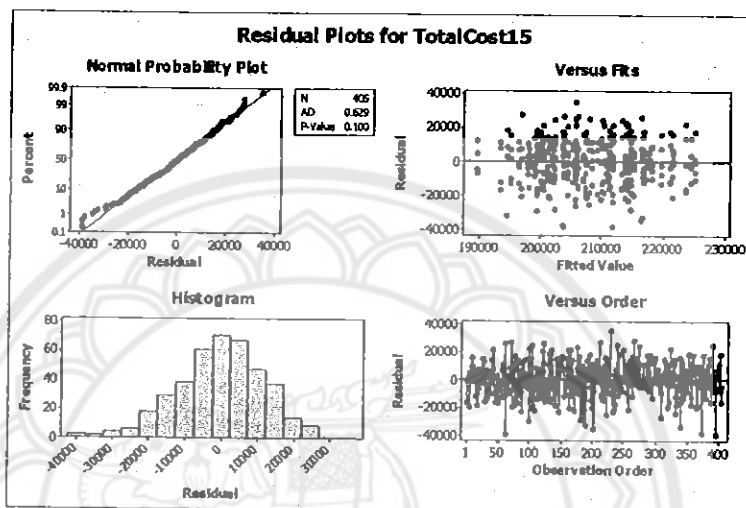
  

S = 13749.0    R-Sq = 29.05%    R-Sq(adj) = 11.53%

รูปที่ 4.33 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

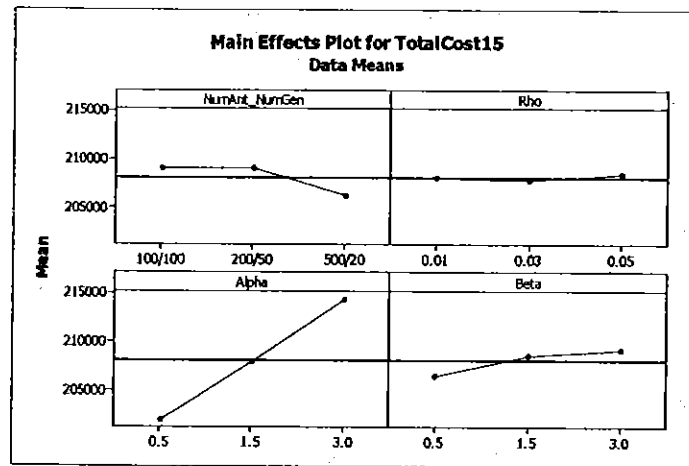
จากรูปที่ 4.33 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 29.05 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 29.05 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.34



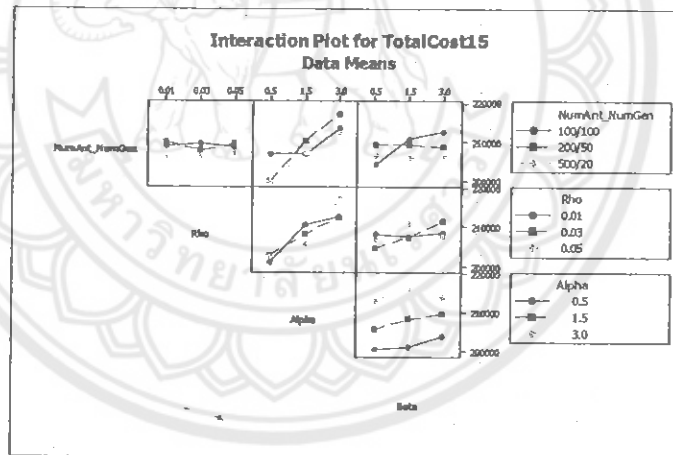
รูปที่ 4.34 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 โดยปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.34 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 15 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.35



รูปที่ 4.35 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.35 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟา ส่งผลกระทบบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.36



รูปที่ 4.36 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่า ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.36 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 200/50 ฟีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 0.5 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.8 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 189,661.35 บาท

4.7.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.37

General Linear Model: TotalCost16 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost16, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	30101978	30101978	15050989	0.02
Rho	2	345288802	345288802	172644401	0.26
Alpha	2	2676082202	2676082202	1338041101	2.03
Beta	2	860148045	860148045	430074022	0.65
NumAnt_NumGen*Rho	4	1822543198	1822543198	455635799	0.69
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1728385123	1728385123	432096281	0.66
NumAnt_NumGen*Beta	4	792462309	792462309	198115577	0.30
Rho*Alpha	4	312407653	312407653	78101913	0.12
Rho*Beta	4	1849455607	1849455607	462363902	0.70
Alpha*Beta	4	1062479402	1062479402	265619850	0.40
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	3708466691	3708466691	463558336	0.70
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	3559688285	3559688285	444961036	0.68
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	5422352099	5422352099	677794012	1.03
Rho*Alpha*Beta	8	2285286851	2285286851	285660856	0.43
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	8871347104	8871347104	554459194	0.84
Error	324	2.13396E+11	2.13396E+11	658630395	
Total	404	2.49723E+11			

Source	P
NumAnt_NumGen	0.977
Rho	0.770
Alpha	0.133
Beta	0.521
NumAnt_NumGen*Rho	0.598
NumAnt_NumGen*Alpha	0.623
NumAnt_NumGen*Beta	0.877
Rho*Alpha	0.976
Rho*Beta	0.591
Alpha*Beta	0.306
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.688
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.713
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.414
Rho*Alpha*Beta	0.900
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.637
Error	
Total	

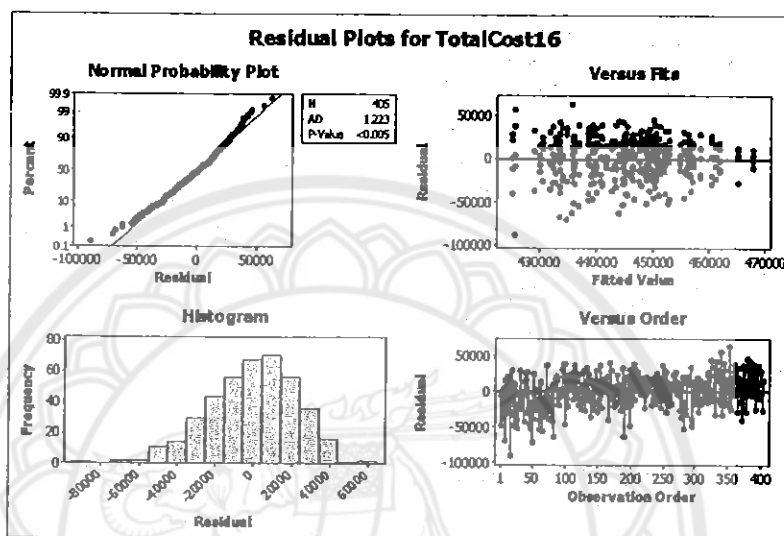
  

S = 25663.9    R-Sq = 14.20%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.37 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

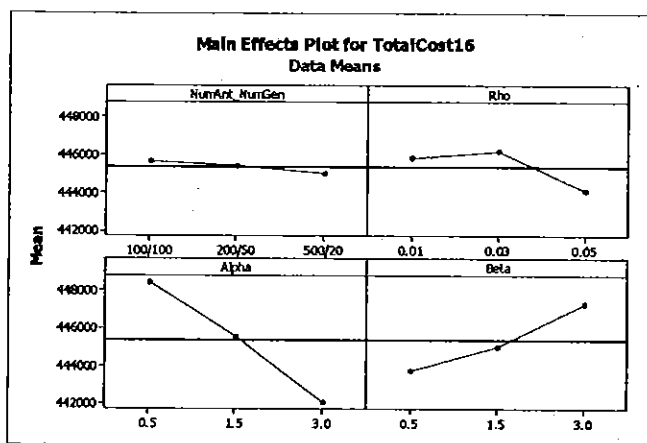
จากรูปที่ 4.37 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักและไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก ไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 14.20 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 14.20 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.38



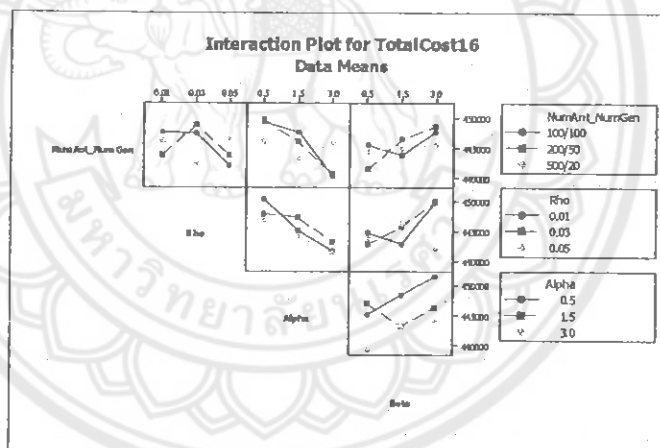
รูปที่ 4.38 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.38 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 16 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.39



รูปที่ 4.39 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.39 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลัก และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.40



รูปที่ 4.40 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่า พีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.40 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.9 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 424,973.44 บาท



4.7.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.41

General Linear Model: TotalCost21 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost21, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	10069702	10069702	5034851	0.22	
Rho	2	6174992	6174992	3087496	0.14	
Alpha	2	3801506780	3801506780	1900753390	84.48	
Beta	2	16348754	16348754	8174377	0.36	
NumAnt_NumGen*Rho	4	21953919	21953919	5488480	0.24	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	195731024	195731024	48932756	2.17	
NumAnt_NumGen*Beta	4	104909445	104909445	26227361	1.17	
Rho*Alpha	4	58845063	58845063	14711266	0.65	
Rho*Beta	4	25016210	25016210	6254052	0.28	
Alpha*Beta	4	87805613	87805613	21951403	0.98	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	349413051	349413051	43676631	1.94	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	264280625	264280625	33035079	1.47	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	146022876	146022876	18252860	0.81	
Rho*Alpha*Beta	8	177295672	177295672	22161959	0.99	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	247021231	247021231	15438827	0.69	
Error	324	7289801910	7289801910	22499389		
Total	404	12802196870				

Source	F
NumAnt_NumGen	0.800
Rho	0.872
Alpha	0.000
Beta	0.696
NumAnt_NumGen*Rho	0.913
NumAnt_NumGen*Alpha	0.072
NumAnt_NumGen*Beta	0.326
Rho*Alpha	0.625
Rho*Beta	0.892
Alpha*Beta	0.421
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.053
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.168
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.593
Rho*Alpha*Beta	0.449
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.808
Error	
Total	

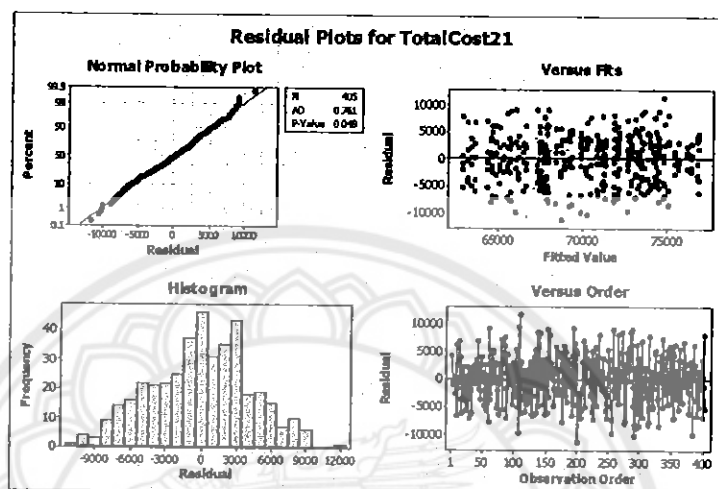
  

S = 4743.25    R-Sq = 43.06%    R-Sq(adj) = 29.00%

รูปที่ 4.41 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต

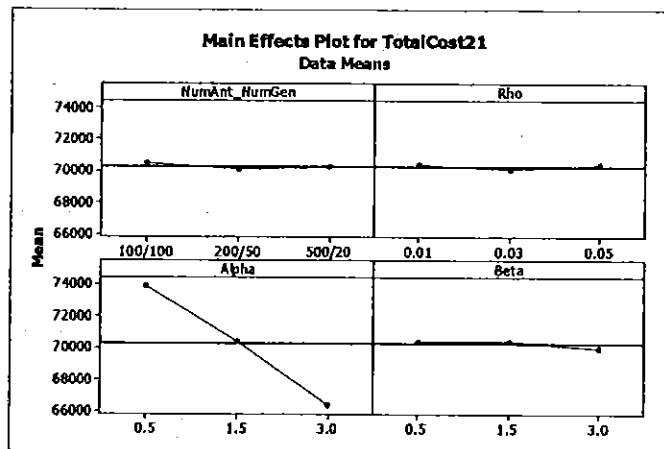
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.41 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 43.06 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 43.06 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.42



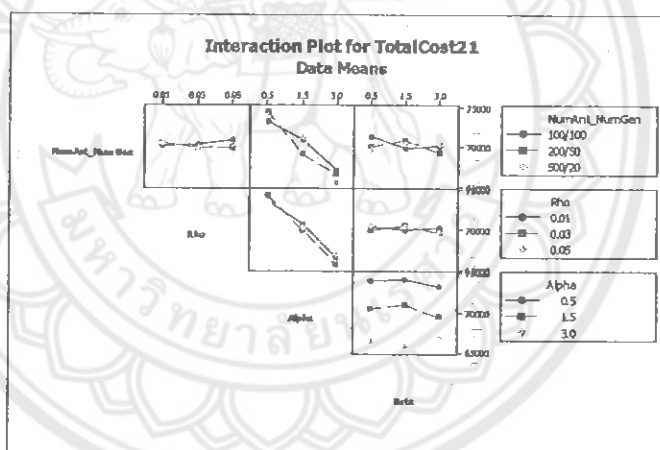
รูปที่ 4.42 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.42 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 21 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.43



รูปที่ 4.43 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.43 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลัก และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.44



รูปที่ 4.44 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.44 ควรกำหนด จำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 ฟิโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟิโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.13 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 62,868.03 บาท

4.7.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.45

General Linear Model: TotalCost22 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost22, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	1506158547	1506158547	752079274	0.84
Rho	2	67017430	67017430	33508715	0.04
Alpha	2	6049584502	6049584502	3024792251	3.37
Beta	2	54514003	54514003	27257002	0.03
NumAnt_NumGen*Rho	4	2828220235	2828220235	707055059	0.79
NumAnt_NumGen*Alpha	4	2726352582	2726352582	681588145	0.76
NumAnt_NumGen*Beta	4	1269763612	1269763612	317440903	0.35
Rho*Alpha	4	2680907867	2680907867	670226967	0.75
Rho*Beta	4	745879629	745879629	186469907	0.21
Alpha*Beta	4	3775415966	3775415966	943853992	1.05
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	1290774373	1290774373	161346797	0.18
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	2647351558	2647351558	455918945	0.51
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	7116762780	7116762780	889595347	0.99
Rho*Alpha*Beta	8	4987905028	4987905028	623488129	0.69
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	8159136651	8159136651	509946041	0.57
Error	324	2.90769E+11	2.90769E+11	897433984	
Total	404	3.37674E+11			

Source	P
NumAnt_NumGen	0.433
Rho	0.963
Alpha	0.036
Beta	0.970
NumAnt_NumGen*Rho	0.534
NumAnt_NumGen*Alpha	0.552
NumAnt_NumGen*Beta	0.841
Rho*Alpha	0.561
Rho*Beta	0.934
Alpha*Beta	0.381
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.994
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.950
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.443
Rho*Alpha*Beta	0.696
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.907
Error	
Total	

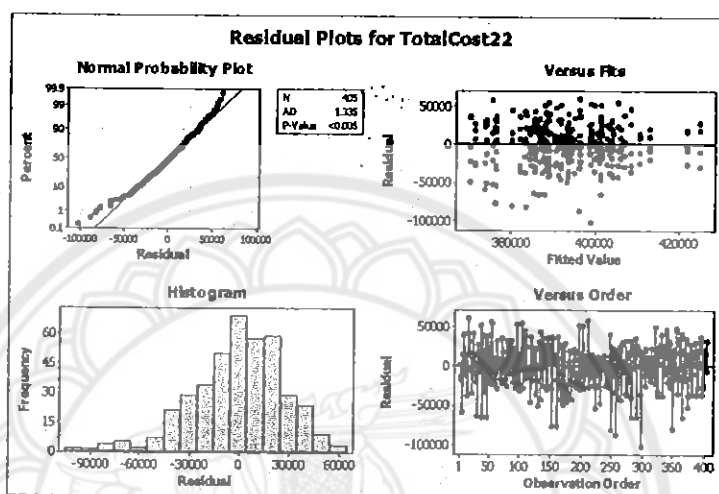
S = 29957.2    R-Sq = 13.99%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.45 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

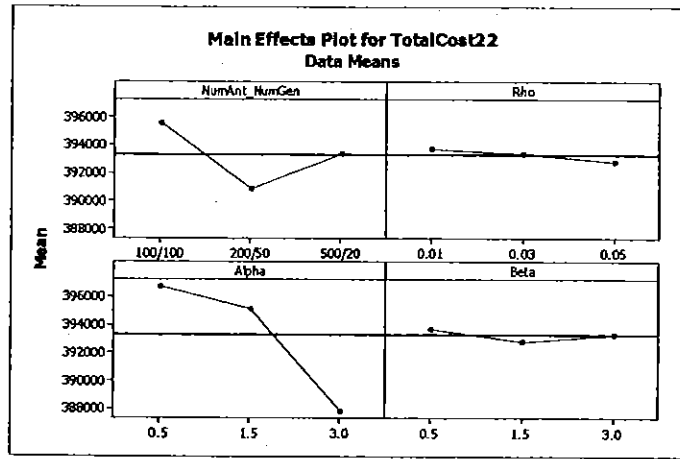
จากรูปที่ 4.45 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 13.89 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 13.89 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.46



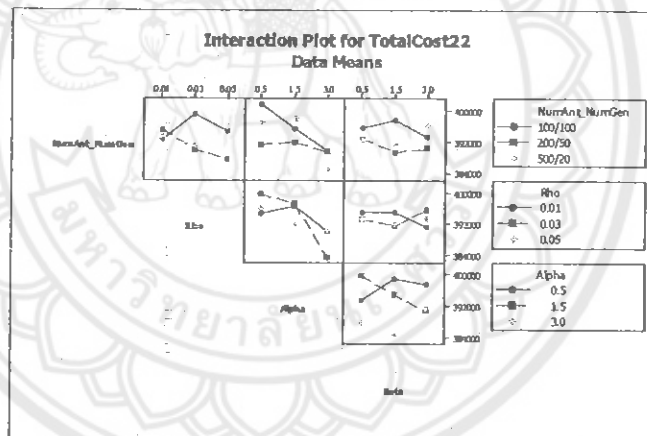
รูปที่ 4.46 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.46 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 22 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.47



รูปที่ 4.47 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.47 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.48



รูปที่ 4.48 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.48 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 200/50 ฟิโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟิโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.14 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 370,033.26 บาท

4.7.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.49

General Linear Model: Totalcost23 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for Totalcost23, using Adjusted SS for Tests					
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	85881452	85881452	42940726	0.78
Rho	2	16806851	16806851	8402425	0.15
Alpha	2	32031372	32031372	16015686	0.29
Beta	2	7315244	7315244	3657622	0.07
NumAnt_NumGen*Rho	4	65823500	65823500	16455875	0.30
NumAnt_NumGen*Alpha	4	664001768	664001768	166000442	3.01
NumAnt_NumGen*Beta	4	38333465	38333465	9583366	0.17
Rho*Alpha	4	81773992	81773992	20443498	0.37
Rho*Beta	4	16316246	16316246	4079062	0.07
Alpha*Beta	4	285244294	285244294	71311073	1.29
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	193798520	193798520	24224815	0.44
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	464108200	464108200	58013525	1.05
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	295278423	295278423	36909803	0.67
Rho*Alpha*Beta	8	926375189	926375189	115796899	2.10
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	2844972907	2844972907	177810807	3.23
Error	324	17860991577	17860991577	55126517	
Total	404	23879052998			

Source	F
NumAnt_NumGen	0.460
Rho	0.859
Alpha	0.748
Beta	0.936
NumAnt_NumGen*Rho	0.879
NumAnt_NumGen*Alpha	0.013
NumAnt_NumGen*Beta	0.952
Rho*Alpha	0.829
Rho*Beta	0.990
Alpha*Beta	0.272
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.897
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.397
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.718
Rho*Alpha*Beta	0.035
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.000
Error	
Total	

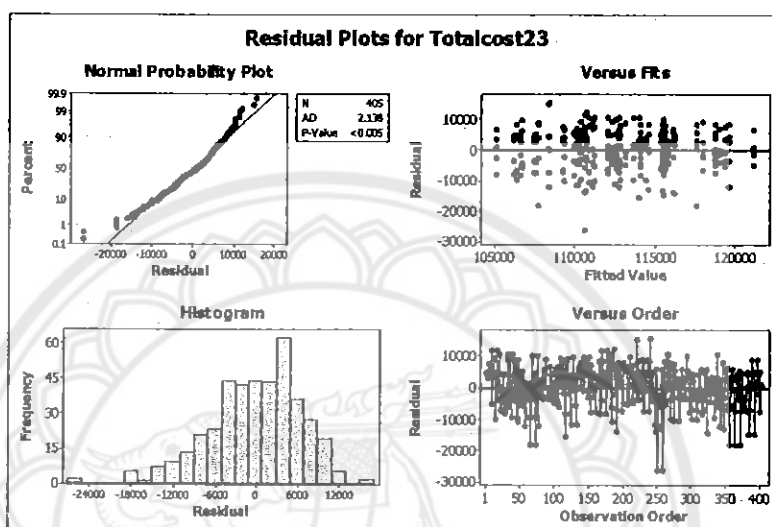
  

S = 7424.72    R-Sq = 25.20%    R-Sq(adj) = 6.73%

รูปที่ 4.49 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.49 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักและไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

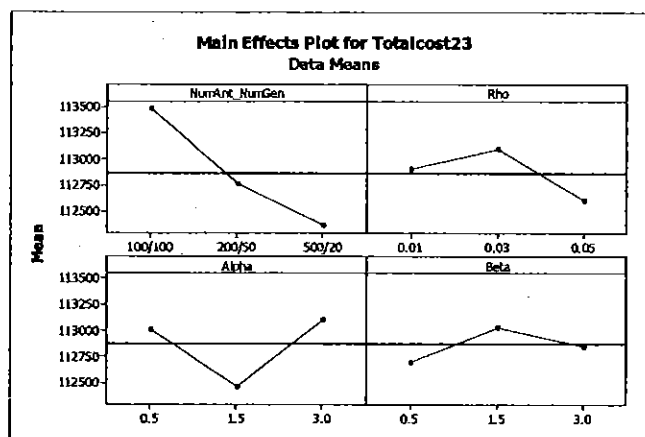
เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย คือ จำนวนมด/จำนวนรอบ กับแอลฟา พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 25.20 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 25.20 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.50



รูปที่ 4.50 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

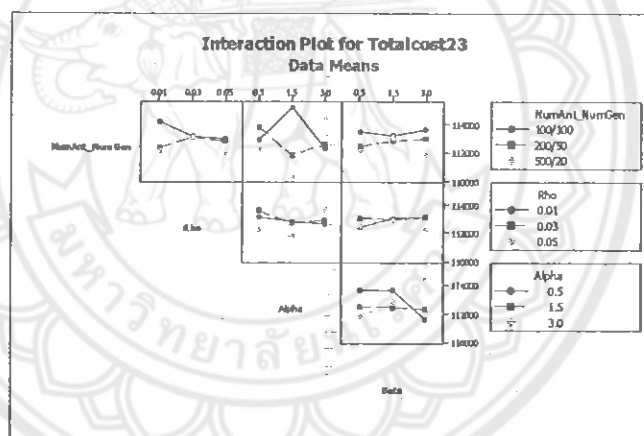
จากรูปที่ 4.50 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 23 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.51





รูปที่ 4.51 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.51 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลัก และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.52



รูปที่ 4.52 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.52 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 ฟิโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟิโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 1.5 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า ไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.15 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 105,156.46 บาท

4.7.10 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.53

General Linear Model: TotalCost24 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost24, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	127360819	127360819	63680410	0.63	
Rho	2	283609778	283609778	141804889	1.41	
Alpha	2	12647295485	12647295485	6323647742	62.76	
Beta	2	89332039	89332039	44666044	0.44	
NumAnt_NumGen*Rho	4	310114317	310114317	77528579	0.77	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	151940950	151940950	37985238	0.38	
NumAnt_NumGen*Beta	4	120789322	120789322	30197330	0.30	
Rho*Alpha	4	98522327	98522327	24630582	0.24	
Rho*Beta	4	550945928	550945928	137736482	1.37	
Alpha*Beta	4	249393688	249393688	62348422	0.62	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	900980389	900980389	112622549	1.12	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	1244217885	1244217885	155527236	1.54	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	661781907	661781907	82722738	0.92	
Rho*Alpha*Beta	8	1275538481	1275538481	159442310	1.58	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	1910421943	1910421943	119401371	1.18	
Error	324	32647689563	32647689563	100764474		
Total	404	53269934870				

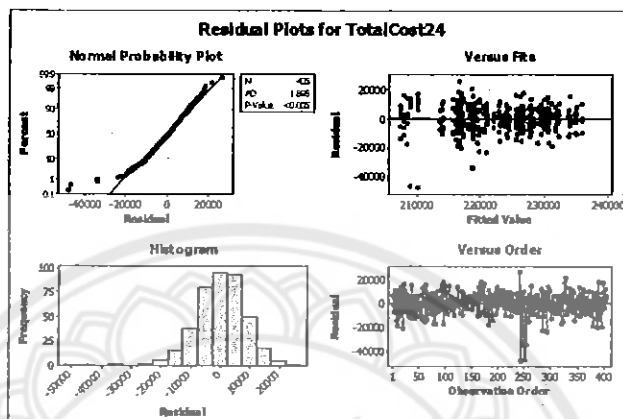
Source	P
NumAnt_NumGen	0.532
Rho	0.246
Alpha	0.000
Beta	0.642
NumAnt_NumGen*Rho	0.546
NumAnt_NumGen*Alpha	0.925
NumAnt_NumGen*Beta	0.878
Rho*Alpha	0.913
Rho*Beta	0.245
Alpha*Beta	0.649
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.351
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.141
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.585
Rho*Alpha*Beta	0.129
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.278
Error	
Total	

S = 10039.2    R-Sq = 38.71%    R-Sq(adj) = 23.58%

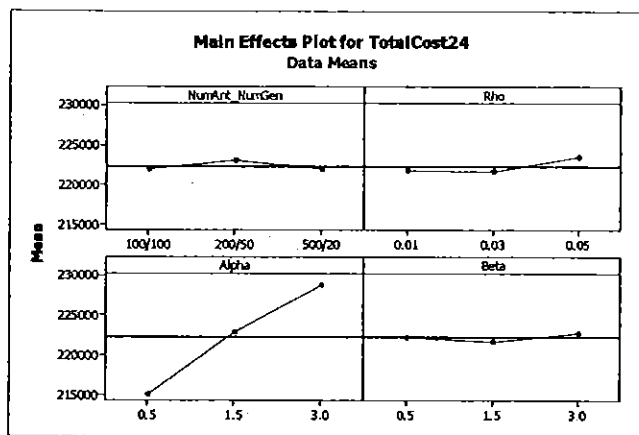
รูปที่ 4.53 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.53 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบบตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 38.71 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 38.71 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.54



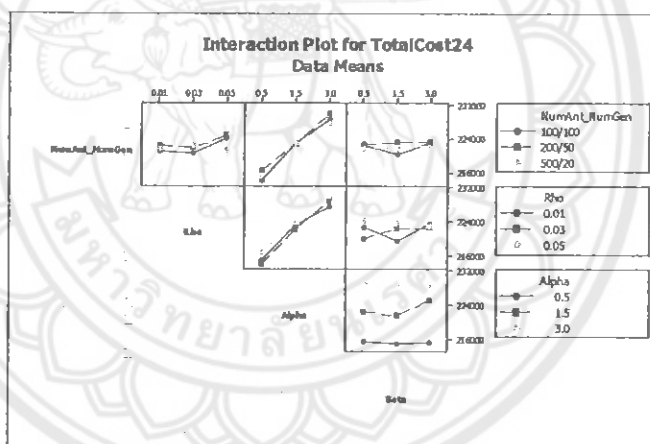
รูปที่ 4.54 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.54 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 24 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.55



รูปที่ 4.55 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.55 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.56



รูปที่ 4.56 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.56 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 0.5 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 207,345.15 บาท

4.7.11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.57

General Linear Model: TotalCost25 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta					
Factor	Type	Levels	Values		
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20		
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05		
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0		

Analysis of Variance for TotalCost25, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	195999061	195999061	97999530	0.44	
Rho	2	566491188	566491188	283245594	1.26	
Alpha	2	15718264577	15718264577	7859132288	35.06	
Beta	2	211340441	211340441	105670221	0.47	
NumAnt_NumGen*Rho	4	980277791	980277791	245069448	1.09	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1191224094	1191224094	297806024	1.33	
NumAnt_NumGen*Beta	4	790748278	790748278	195187070	0.87	
Rho*Alpha	4	615169951	615169951	153792488	0.69	
Rho*Beta	4	715048453	715048453	178762113	0.80	
Alpha*Beta	4	297483574	297483574	74370893	0.33	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	582141002	582141002	72767625	0.32	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	2684493912	2684493912	335561739	1.50	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	753043030	753043030	94130379	0.42	
Rho*Alpha*Beta	8	548024177	548024177	68503022	0.31	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	1874114951	1874114951	117132184	0.52	
Error	324	72626940232	72626940232	224157223		
Total	404	1.00341E+11				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.646
Rho	0.284
Alpha	0.000
Beta	0.625
NumAnt_NumGen*Rho	0.360
NumAnt_NumGen*Alpha	0.259
NumAnt_NumGen*Beta	0.482
Rho*Alpha	0.602
Rho*Beta	0.528
Alpha*Beta	0.857
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.956
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.157
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.909
Rho*Alpha*Beta	0.964
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.935
Error	
Total	

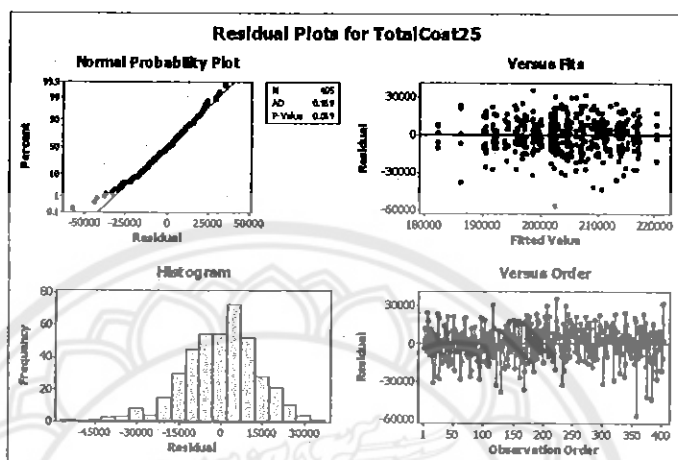
  

S = 14971.9    R-Sq = 27.62%    R-Sq(adj) = 9.75%

รูปที่ 4.57 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

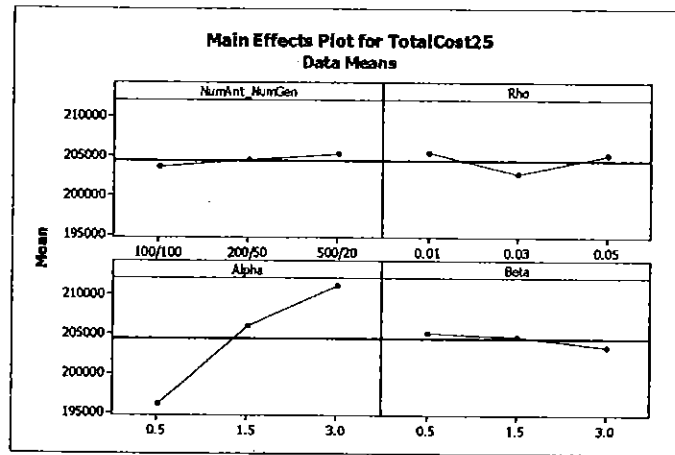
โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.57 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบตามลำดับ เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 27.62 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 27.62 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.58



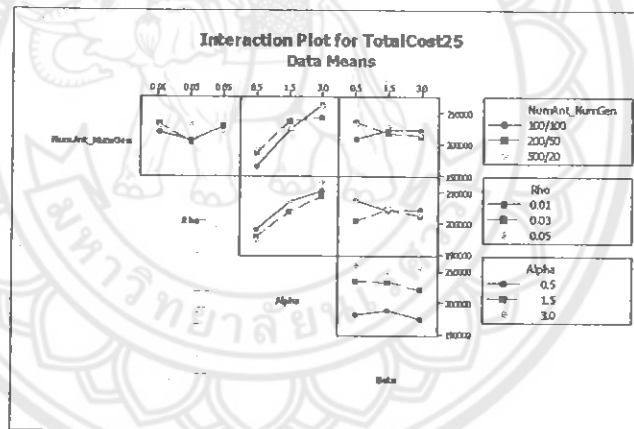
รูปที่ 4.58 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.58 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 25 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.59



รูปที่ 4.59 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอณานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.59 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของค่าแอลฟา ส่งผลกระทบบตามลำดับ และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.60



รูปที่ 4.60 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอณานิคมมด โดยการปรับค่าพารามิเตอร์แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.60 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 ฟิโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟิโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 0.5 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.17 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 182,381.21 บาท

4.7.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.61

**General Linear Model: TotalCost26 versus NumAnt\_NumGen, Rho, Alpha, Beta**

Factor	Type	Levels	Values
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0

Analysis of Variance for TotalCost26, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F
NumAnt_NumGen	2	520948473	520948473	260474237	0.34
Rho	2	477332692	477332692	238666346	0.31
Alpha	2	206938579	206938579	103469290	0.13
Beta	2	106486244	106486244	53243122	0.07
NumAnt_NumGen*Rho	4	241170513	241170513	60292628	0.08
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1090162315	1090162315	272540579	0.35
NumAnt_NumGen*Beta	4	924979436	924979436	231244859	0.30
Rho*Alpha	4	952842908	952842908	238210727	0.31
Rho*Beta	4	3031662765	3031662765	757915691	0.98
Alpha*Beta	4	622705967	622705967	155676492	0.20
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	5670514747	5670514747	708814343	0.92
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	14613549036	14613549036	1826693629	2.37
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	4868929706	4868929706	608616213	0.79
Rho*Alpha*Beta	8	8903813746	8903813746	1112976718	1.45
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	19190014948	19190014948	1199375934	1.56
Error	324	2.49480E+11	2.49480E+11	770000789	
Total	404	3.10902E+11			

Source	P
NumAnt_NumGen	0.713
Rho	0.734
Alpha	0.874
Beta	0.933
NumAnt_NumGen*Rho	0.989
NumAnt_NumGen*Alpha	0.841
NumAnt_NumGen*Beta	0.878
Rho*Alpha	0.872
Rho*Beta	0.416
Alpha*Beta	0.937
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.499
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.017
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.611
Rho*Alpha*Beta	0.177
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.079
Error	
Total	

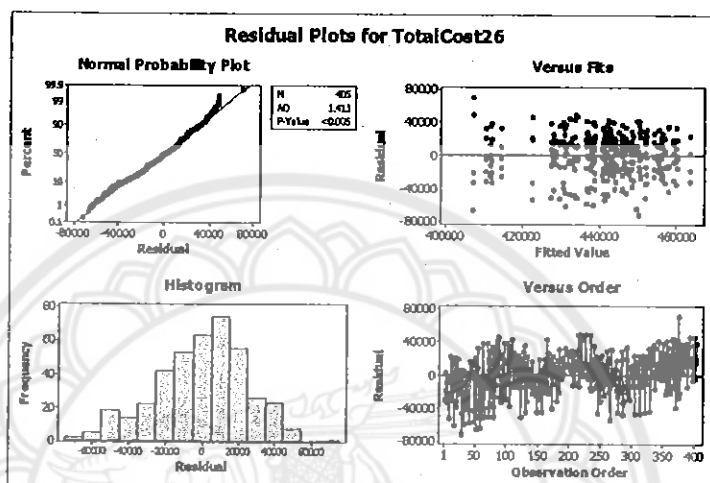
S = 27948.9    R-Sq = 19.76%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.61 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)



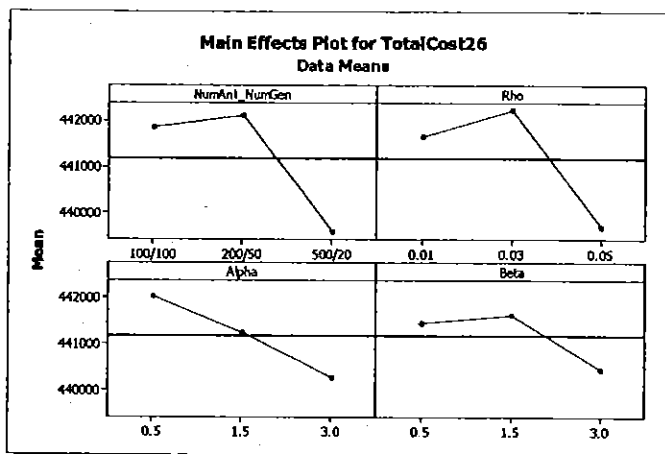
จากรูปที่ 4.61 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลัก และไม่แสดงผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 19.76 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 19.76 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.62



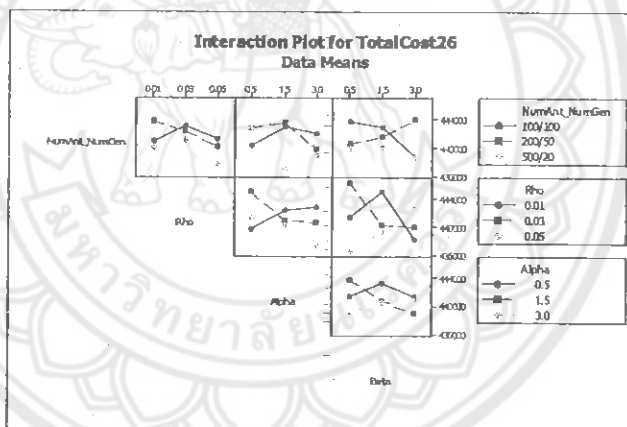
รูปที่ 4.62 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมต โดยการปรับค่าที่โมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.62 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 26 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.63



รูปที่ 4.63 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.63 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลัก และไม่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.64



รูปที่ 4.64 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

จากรูปที่ 4.64 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 200/50 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า สอดคล้องกับตารางที่ 4.18 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 407,285.43 บาท

4.7.13 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนักเต็มความจุยานพาหนะ

ตารางที่ 4.22 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่

ลักษณะของปัญหา	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่			
	จำนวนมต/จำนวนรอบ	ค่าอัตราการระเหย	แอลฟา	บีต้า
เล็ก1	100/100	0.05	3.0	3.0
เล็ก2	200/50	0.03	0.5	1.5
เล็ก3	200/50	0.03	0.5	1.5
กลาง1	100/100	0.05	3.0	3.0
กลาง2	100/100	0.03	0.5	0.5
กลาง3	500/20	0.05	1.5	3.0
ใหญ่1	100/100	0.05	3.0	3.0
ใหญ่2	200/50	0.03	3.0	3.0
ใหญ่3	200/50	0.01	1.5	3.0

ตารางที่ 4.23 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม

ลักษณะของปัญหา	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม			
	จำนวนมต/จำนวนรอบ	ค่าอัตราการระเหย	แอลฟา	บีต้า
เล็ก1	200/50	0.01	0.5	1.5
เล็ก2	500/20	0.03	1.5	3.0
เล็ก3	500/20	0.01	0.5	0.5
กลาง1	500/20	0.03	1.5	0.5
กลาง2	500/20	0.05	0.5	3.0
กลาง3	500/20	0.03	1.5	0.5
ใหญ่1	200/50	0.01	1.5	3.0
ใหญ่2	200/50	0.05	3.0	0.5
ใหญ่3	500/20	0.01	1.5	0.5

#### 4.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุก น้ำหนักเต็มความจุตามความต้องการลูกค้า

หลังจากได้ทำการทดสอบโปรแกรมเบื้องต้นแล้ว ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรม โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และระยะทางรวม ตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

##### 4.8.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในวิธีอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

หลังจากทำการทดลองแล้วต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะปัญหา ซึ่งมีขนาดเล็ก 3 ปัญหา ขนาดกลาง 3 ปัญหา และขนาดใหญ่ 3 ปัญหา จากวิธีอาณานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ ดังตารางที่ 4.24, 4.25, 4.26, 4.27, 4.28, 4.29, 4.30, 4.31 และ 4.32

ตารางที่ 4.24 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอาณานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	32,949.35	34,142.62	32,042.17	14.97
2	32,157.86	33,196.87	31,373.68	14.75
3	32,612.95	33,345.96	31,906.70	14.69
4	32,377.78	33,166.63	30,780.21	14.88
5	32,109.41	33,843.47	30,654.41	14.72
6	32,049.33	33,132.95	30,933.14	14.65
7	31,677.46	32,053.42	31,220.56	14.68
8	30,868.29	31,430.09	29,316.52	14.56
9	31,455.88	31,901.79	31,130.72	14.62
10	32,895.29	34,094.45	31,492.86	14.72
11	33,278.55	33,863.39	32,859.43	14.67
12	31,299.89	32,744.43	29,410.52	14.64
13	32,485.07	33,162.11	31,784.84	14.75
14	32,613.82	33,670.57	31,280.17	14.63

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
15	30,745.85	32,077.70	30,376.10	14.63
16	31,485.39	32,627.70	30,713.54	14.59
17	31,214.04	32,579.41	30,198.53	14.59
18	31,387.76	32,423.04	30,265.73	14.58
19	32,537.26	33,454.90	31,741.84	14.71
20	32,054.64	32,904.89	30,896.54	14.55
21	31,677.70	32,241.68	30,981.87	14.73
22	32,258.97	33,352.09	31,177.55	14.68
23	31,862.43	32,606.35	31,049.53	14.68
24	31,035.15	32,566.79	29,721.53	14.53
25	31,092.02	32,118.76	29,977.51	14.66
26	31,061.88	32,317.74	30,044.49	14.61
27	30,720.43	31,474.76	29,941.10	14.45
28	32,265.37	33,418.94	31,375.48	14.87
29	32,373.19	33,534.02	31,180.22	15.00
30	32,890.20	33,573.90	32,040.04	14.60
31	32,090.68	33,045.11	30,562.71	14.58
32	31,919.35	32,726.61	31,242.61	14.59
33	32,232.28	32,765.22	31,644.13	14.73
34	31,614.04	31,984.27	31,148.06	14.49
35	30,737.16	31,926.14	29,653.98	14.47
36	31,282.89	31,909.53	30,734.90	14.48
37	32,639.91	34,015.34	31,797.28	14.73
38	32,071.83	33,085.49	30,759.45	14.15
39	31,913.18	32,983.52	30,732.92	15.34
40	31,782.56	33,310.71	30,603.83	14.67
41	32,209.43	33,293.67	31,107.43	14.20

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
42	31,862.55	32,384.71	31,586.79	14.16
43	31,786.03	32,242.43	31,181.10	14.13
44	31,585.10	32,815.06	29,756.05	14.10
45	31,444.87	31,743.02	29,790.58	14.11
46	32,179.00	33,356.73	30,103.87	14.29
47	31,854.01	33,337.50	30,375.74	14.22
48	33,335.10	34,312.70	32,554.24	14.21
49	32,380.36	33,118.22	30,953.27	14.22
50	32,033.93	32,951.94	31,458.34	14.22
51	31,572.85	32,740.85	29,749.65	14.17
52	31,231.26	32,819.30	29,852.15	14.14
53	31,402.06	31,849.26	30,658.16	14.25
54	30,698.07	31,003.49	30,028.10	14.21
55	31,976.52	33,132.48	31,154.78	14.23
56	32,200.87	33,125.81	31,245.52	14.16
57	32,954.79	34,297.78	32,349.84	14.20
58	31,696.92	33,742.09	28,889.23	14.25
59	31,700.97	32,525.48	30,357.09	14.18
60	32,213.28	32,516.62	31,788.08	14.14
61	32,156.20	33,075.07	31,335.78	14.12
62	31,354.69	33,026.55	29,726.49	14.03
63	30,764.28	31,776.64	29,195.58	14.17
64	31,940.39	32,893.50	30,853.35	14.22
65	31,743.89	32,224.74	30,883.89	14.25
66	32,360.91	33,002.01	31,615.00	14.28
67	32,663.10	33,376.76	31,963.25	14.55
68	32,192.60	34,034.17	30,755.79	14.72

ตารางที่ 4.24 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
69	31,919.40	32,338.58	31,027.54	14.48
70	31,850.26	32,529.74	31,111.01	14.65
71	31,612.18	32,573.15	31,074.90	14.68
72	31,878.83	32,245.59	31,235.08	15.23
73	32,561.17	32,821.42	32,274.12	14.71
74	31,605.33	32,803.70	29,928.23	14.72
75	32,597.57	33,606.55	31,367.45	14.67
76	32,156.35	33,158.43	30,754.52	14.74
77	32,236.75	33,394.70	31,648.89	14.71
78	32,380.18	33,272.34	31,065.75	14.67
79	31,929.34	32,698.54	31,306.48	14.65
80	31,774.57	32,421.95	30,990.36	14.65
81	31,162.01	31,898.67	30,820.04	14.64

จากตารางที่ 4.24 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 45 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 30,644.37 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 15 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 28,870.17 บาท

ตารางที่ 4.25 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	41,910.55	43,820.60	40,566.47	11.71
2	40,902.91	44,393.43	38,179.93	11.61
3	41,650.98	42,191.19	40,709.80	12.06

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
4	41,046.42	43,721.66	37,851.18	11.12
5	42,693.11	44,557.62	41,414.07	11.72
6	40,391.47	41,604.46	39,244.57	11.43
7	40,855.67	42,417.67	38,538.90	11.71
8	41,669.42	43,281.34	40,853.84	11.35
9	41,841.30	43,584.69	39,731.56	11.78
10	40,750.49	41,465.79	40,051.47	11.57
11	41,929.94	42,417.85	41,630.70	11.33
12	41,810.20	43,652.22	39,694.22	11.56
13	39,032.34	40,867.97	35,102.79	11.14
14	41,367.20	44,052.86	39,321.90	11.91
15	40,554.23	42,817.81	38,525.20	11.32
16	41,728.45	44,819.68	39,157.03	11.98
17	41,967.67	43,292.96	40,777.43	11.97
18	41,594.07	40,989.52	39,257.61	11.48
19	41,727.71	43,941.32	39,763.79	11.77
20	42,141.54	44,735.48	38,805.49	11.74
21	40,494.15	43,267.42	38,025.10	11.89
22	41,459.52	43,406.36	38,717.94	11.55
23	41,760.69	43,899.58	39,356.21	12.00
24	40,871.45	43,323.29	37,304.01	11.56
25	40,400.97	42,293.61	38,219.82	11.85
26	41,240.30	43,074.45	39,729.19	11.60
27	41,926.27	43,589.14	40,019.36	12.04
28	41,802.09	43,988.06	39,739.09	11.20
29	40,638.62	42,115.43	38,245.70	11.81
30	40,249.12	44,453.52	37,614.42	11.29



ตารางที่ 4.25 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
31	43,365.42	44,951.46	42,042.41	10.83
32	41,871.61	42,577.43	40,800.02	11.45
33	41,600.85	43,550.63	40,148.27	11.50
34	40,784.41	41,945.51	39,396.31	11.14
35	41,053.32	44,130.31	39,444.44	11.89
36	41,239.58	41,988.77	40,097.46	11.47
37	41,599.84	43,647.96	38,019.17	10.67
38	41,768.50	43,470.20	39,918.89	11.04
39	41,213.88	43,919.86	39,445.35	11.40
40	38,899.08	40,868.82	34,634.29	11.53
41	42,197.91	42,946.68	41,078.16	10.79
42	40,044.03	41,972.15	36,010.22	11.83
43	40,671.30	43,053.84	37,090.91	11.32
44	40,188.47	41,842.31	38,142.85	10.84
45	40,363.61	41,782.31	37,526.96	11.46
46	40,306.55	41,864.74	38,549.39	11.44
47	43,155.98	44,593.29	40,307.87	11.36
48	42,231.73	43,222.53	41,421.81	10.20
49	41,253.14	42,041.91	40,460.40	11.60
50	40,210.75	41,475.92	37,882.20	11.41
51	42,416.97	44,502.95	41,346.41	11.91
52	41,369.31	42,527.82	38,698.37	10.73
53	39,686.58	41,771.10	36,268.00	12.52
54	40,110.49	42,612.54	37,890.75	9.80
55	42,110.24	43,573.74	40,017.71	11.17
56	40,460.32	42,008.45	38,259.31	11.24
57	40,682.77	42,900.95	38,111.85	11.35

ตารางที่ 4.25 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
58	42,307.05	43,618.23	41,419.92	11.02
59	42,299.60	43,683.31	40,675.02	10.46
60	41,917.00	43,038.40	39,828.16	11.63
61	41,071.50	42,979.94	39,773.97	10.65
62	41,953.60	42,963.20	40,866.14	11.01
63	42,476.26	43,558.92	41,626.97	10.63
64	41,126.08	43,463.45	38,814.29	11.58
65	41,483.03	43,142.78	39,799.65	10.67
66	39,388.74	41,669.70	36,726.85	11.25
67	42,141.59	44,740.20	39,294.51	10.25
68	41,958.14	43,769.28	39,662.67	10.95
69	41,164.03	43,565.47	39,654.58	10.48
70	41,496.89	42,840.56	38,664.30	10.76
71	40,899.68	41,816.38	38,663.64	10.99
72	41,178.70	42,895.53	38,801.52	10.65
73	42,238.11	43,839.16	41,156.29	11.81
74	40,586.04	42,889.73	36,726.85	10.86
75	42,161.56	45,437.37	39,528.47	11.00
76	41,486.91	43,795.89	40,475.06	11.77
77	42,610.18	44,709.16	37,636.91	10.46
78	41,108.19	42,876.02	40,149.53	11.31
79	41,822.74	43,804.35	39,706.15	10.80
80	41,227.21	44,333.76	38,547.32	11.74
81	39,475.82	42,466.60	36,083.46	10.52

จากตารางที่ 4.25 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
18 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 37,604.02 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 18 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 34,237.61 บาท

ตารางที่ 4.26 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	68,161.65	69,682.56	66,039.25	14.87
2	67,412.47	68,780.86	65,937.65	15.04
3	67,236.55	68,867.12	63,919.40	15.43
4	66,646.77	68,020.80	65,623.72	14.90
5	67,553.88	68,248.50	65,442.58	14.98
6	65,849.76	67,941.71	64,399.45	15.12
7	66,585.42	67,492.54	64,285.83	15.57
8	66,901.34	69,199.58	65,485.05	15.28
9	66,315.42	67,545.71	64,310.56	14.69
10	68,527.67	69,407.69	67,785.19	15.25
11	66,931.48	67,861.75	65,119.16	14.69
12	67,443.86	68,818.03	65,255.37	15.37
13	67,793.19	68,510.88	66,706.64	15.02
14	67,043.69	68,433.96	66,372.38	15.03
15	66,837.15	67,618.27	65,943.45	15.62
16	67,372.78	69,260.11	66,162.02	15.04
17	67,140.23	68,227.23	65,914.78	16.25
18	65,940.26	68,173.97	64,715.19	14.83
19	67,907.91	68,514.31	67,293.55	14.95
20	66,337.87	67,937.24	64,256.92	15.84
21	66,635.28	67,470.69	65,420.65	15.23

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	67,629.83	69,393.11	66,332.81	14.50
23	66,495.23	67,397.69	64,410.15	16.07
24	66,322.14	68,200.23	64,353.91	15.34
25	66,154.77	66,824.69	64,778.46	15.25
26	66,186.32	68,397.37	63,770.39	15.44
27	65,132.57	67,447.42	64,321.64	14.94
28	67,503.90	69,236.69	65,749.37	15.96
29	66,935.06	68,619.87	64,639.82	15.34
30	66,643.08	68,061.49	64,722.54	14.16
31	66,552.39	67,195.47	65,762.57	15.93
32	67,223.24	69,260.57	65,020.42	15.30
33	67,274.63	67,885.75	66,871.64	15.41
34	66,976.98	67,955.85	65,350.21	16.01
35	66,714.19	67,439.53	65,790.58	15.56
36	66,900.17	68,217.94	65,201.28	14.96
37	67,289.73	69,265.45	65,408.53	15.08
38	67,329.34	68,873.26	65,487.08	14.64
39	66,858.93	68,788.17	65,045.55	14.63
40	66,407.24	68,551.28	64,950.56	14.86
41	67,506.59	68,856.51	66,111.32	15.53
42	66,648.98	67,439.41	66,258.75	15.71
43	67,606.66	68,523.17	66,728.33	15.00
44	66,446.42	67,173.80	65,692.52	15.07
45	67,342.65	68,758.74	65,907.11	16.05
46	67,252.79	68,533.65	65,071.53	15.19
47	67,554.80	68,871.87	65,956.90	15.22
48	66,612.93	68,722.95	65,237.05	14.75

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
49	67,558.46	68,809.70	65,981.60	14.33
50	67,553.61	68,986.60	65,854.18	15.26
51	66,867.56	67,554.12	66,062.45	15.04
52	66,780.46	67,900.83	66,114.91	15.14
53	66,789.16	68,542.40	65,936.04	16.08
54	66,111.54	67,979.87	63,953.55	15.32
55	66,121.10	68,676.13	63,795.73	15.24
56	68,235.00	70,673.37	67,255.12	15.72
57	67,758.49	69,548.42	65,740.78	13.63
58	66,993.88	67,965.49	65,173.18	15.86
59	67,032.89	68,010.18	64,768.26	16.14
60	65,990.09	67,779.51	64,075.86	15.30
61	66,802.41	68,085.42	65,893.62	15.22
62	66,286.28	68,628.60	64,558.94	14.70
63	67,738.13	69,853.02	66,194.40	14.36
64	67,199.45	68,204.59	66,357.22	14.47
65	66,791.29	67,952.34	65,830.24	14.86
66	66,572.52	69,608.56	63,070.62	14.16
67	67,601.89	68,979.50	65,553.29	13.99
68	65,853.34	68,333.70	63,279.16	14.78
69	67,746.73	68,475.35	67,315.54	15.21
70	66,492.06	67,869.89	64,562.55	11.72
71	66,701.87	68,583.96	64,642.95	15.44
72	67,228.44	68,257.74	65,809.34	13.08
73	66,484.69	68,383.40	63,455.64	13.98
74	66,825.04	68,044.94	65,091.75	15.60
75	66,869.42	68,528.42	65,142.46	13.65

ตารางที่ 4.26 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
76	66,673.68	69,061.00	64,075.86	14.87
77	66,644.76	68,475.35	64,467.51	15.09
78	66,807.69	68,090.90	65,088.09	13.67
79	66,429.58	68,090.43	65,346.43	15.39
80	66,735.50	67,545.36	65,771.38	12.56
81	66,474.91	68,950.03	63,853.67	15.17

จากตารางที่ 4.26 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 27 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 65,132.57 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 27 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 62,321.64 บาท

ตารางที่ 4.27 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	108,653.66	114,022.18	103,043.44	45.72
2	109,119.83	113,586.64	106,331.85	45.63
3	109,005.33	111,467.16	103,608.23	45.57
4	109,725.81	112,972.00	104,062.98	45.66
5	108,965.97	117,646.32	994,38.26	45.62
6	110,132.40	112,249.60	106,877.94	46.00
7	110,359.81	111,440.19	109,560.47	45.70
8	111,325.14	115,966.87	106,858.35	45.67
9	109,000.90	117,542.18	103,896.34	45.75
10	109,318.14	111,271.43	106,844.26	45.70

ตารางที่ 4.27 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
11	107,087.94	109,106.09	99,111.04	45.72
12	107,087.94	109,573.53	105,088.71	45.69
13	109,567.79	113,911.98	102,459.34	45.67
14	108,620.26	116,841.46	103,052.71	45.54
15	108,941.38	113,424.45	104,908.64	45.65
16	108,126.81	111,699.74	98,602.51	45.64
17	111,429.66	115,397.34	107,130.35	45.71
18	110,358.07	113,984.79	102,759.02	45.69
19	114,034.22	119,720.48	109,824.23	45.72
20	111,229.07	115,784.00	105,173.54	45.73
21	108,202.82	116,485.22	102,700.00	45.70
22	111,273.97	116,632.91	106,027.49	46.03
23	110,438.47	113,807.58	102,790.24	45.60
24	109,559.74	114,822.91	100,269.40	45.74
25	107,684.99	112,372.80	102,435.38	45.74
26	108,117.30	114,642.05	100,227.41	45.67
27	107,105.59	110,476.97	103,491.36	45.64
28	109,452.95	115,182.41	99,321.80	45.42
29	109,141.76	111,484.98	105,866.30	45.39
30	108,978.38	114,476.06	103,983.11	45.50
31	110,069.28	111,106.04	107,278.60	45.43
32	108,082.45	110,289.99	106,792.77	45.53
33	109,516.69	116,193.94	101,802.81	45.43
34	110,957.20	117,720.98	105,917.19	45.63
35	108,102.28	114,721.83	105,430.28	45.44
36	103,989.93	110,365.29	97,171.89	45.42
37	111,147.89	116,166.52	105,866.30	45.85

ตารางที่ 4.27 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
38	108,424.24	114,324.24	103,370.00	45.56
39	108,026.48	112,384.03	102,944.42	45.47
40	109,446.06	112,823.35	98,740.34	45.61
41	111,234.37	113,833.77	108,647.19	45.50
42	105,325.02	108,047.42	102,074.18	45.65
43	110,382.49	115,609.84	107,290.36	45.50
44	111,852.41	114,923.11	106,318.54	45.47
45	111,369.54	112,196.97	110,124.62	45.49
46	109,183.02	110,934.27	107,088.56	45.51
47	108,453.60	111,372.22	103,536.78	45.45
48	108,628.14	115,757.96	101,967.67	45.61
49	105,779.57	111,698.80	100,607.24	45.49
50	109,031.69	110,522.58	106,008.85	45.52
51	109,451.53	117,453.01	105,195.10	45.84
52	111,255.51	113,714.91	106,513.96	45.61
53	109,628.38	115,507.83	104,675.37	45.73
54	109,804.04	111,363.12	105,702.99	42.69
55	106,558.63	112,830.89	100,910.52	28.86
56	108,344.20	110,065.24	107,638.45	47.29
57	111,067.57	114,044.45	107,820.51	47.71
58	109,472.39	113,582.72	100,936.50	47.47
59	108,089.45	113,220.67	103,634.70	47.29
60	103,770.59	109,973.76	98,184.45	47.45
61	110,165.69	111,678.62	108,982.23	47.78
62	108,139.14	113,248.54	98,300.27	47.69
63	108,698.79	113,682.14	103,457.04	47.51
64	107,010.84	115,301.50	99,715.61	47.43



ตารางที่ 4.27 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
65	107,941.91	109,549.54	105,855.14	48.06
66	107,254.38	108,185.67	106,167.30	47.18
67	105,765.31	107,760.87	103,634.70	47.27
68	109,539.70	115,924.92	102,743.02	46.95
69	109,091.75	112,060.33	106,819.96	46.98
70	107,654.71	111,032.69	105,045.55	37.23
71	109,015.18	113,252.25	104,059.49	46.88
72	110,215.14	116,843.15	105,086.32	46.83
73	107,790.80	109,949.75	105,555.13	46.82
74	104,458.38	112,295.68	94,339.23	46.95
75	108,723.37	113,035.55	104,903.03	46.88
76	111,120.07	114,520.55	106,315.25	46.22
77	111,043.66	117,260.86	99,507.89	46.92
78	107,110.34	109,901.16	103,719.99	46.15
79	111,524.94	115,396.93	109,883.74	46.68
80	110,832.34	115,373.70	107,015.87	47.23
81	108,371.75	116,955.28	104,282.90	47.10

จากตารางที่ 4.27 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 11 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 103,551.72 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 74 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 94,339.23 บาท

ตารางที่ 4.28 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	85,015.07	86,245.78	82,696.67	48.65
2	81,734.82	84,021.32	76,981.34	48.50
3	82,498.36	86,669.49	79,716.44	48.31
4	82,513.73	88,165.25	78,243.06	48.27
5	82,101.46	86,225.93	78,831.43	48.39
6	83,084.17	84,702.03	80,943.65	48.51
7	82,135.31	83,755.70	79,604.79	48.37
8	81,332.77	83,160.18	76,924.41	48.44
9	81,439.88	82,020.69	80,451.00	48.18
10	81,495.07	83,189.03	79,753.20	48.35
11	82,454.82	85,826.53	79,508.71	48.22
12	82,961.37	85,879.20	81,862.35	48.41
13	82,706.89	86,507.77	79,381.10	48.53
14	82,098.58	86,167.15	79,304.59	48.39
15	80,921.71	83,350.08	78,670.34	48.22
16	82,524.35	83,785.34	80,941.21	48.37
17	82,835.62	85,379.99	80,638.01	47.96
18	82,717.44	84,257.47	80,905.41	48.96
19	81,303.87	85,032.73	77,630.77	48.47
20	82,631.40	85,870.46	79,069.63	48.46
21	84,005.53	85,393.50	82,450.45	48.57
22	83,428.71	84,357.27	82,239.56	48.21
23	83,280.18	84,764.89	79,707.90	48.27
24	82,122.09	84,050.68	78,076.91	48.23
25	81,738.29	86,261.62	76,350.67	48.28
26	81,535.09	84,572.33	78,820.78	48.21
27	80,119.29	83,236.11	76,218.76	48.42

ตารางที่ 4.28 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรมัน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	83,601.04	85,981.73	81,242.26	48.19
29	84,071.65	85,095.02	82,622.32	48.27
30	82,810.05	85,183.00	80,028.82	48.21
31	82,342.25	84,404.73	76,577.87	48.27
32	82,664.72	84,557.12	78,320.80	37.43
33	83,828.75	87,464.77	81,198.44	48.34
34	83,094.81	84,316.49	81,377.50	48.07
35	82,546.52	85,211.27	78,749.65	47.87
36	81,273.66	84,791.17	76,544.91	48.40
37	84,112.08	85,780.07	81,346.20	48.75
38	83,579.83	86,659.31	81,254.67	48.50
39	83,811.02	86,612.55	80,351.53	48.02
40	82,835.39	86,776.83	80,558.45	48.24
41	83,275.85	85,792.68	80,829.80	48.36
42	82,528.40	85,629.82	78,644.89	48.62
43	82,005.52	84,663.59	76,245.42	47.97
44	82,108.59	84,840.11	80,151.14	48.33
45	84,126.35	85,329.62	82,881.45	48.15
46	81,871.02	84,377.92	79,640.75	45.53
47	83,842.29	87,786.78	77,506.97	144.69
48	80,364.85	82,491.90	77,423.78	43.41
49	81,344.89	82,962.32	78,540.81	48.12
50	83,317.14	85,225.12	81,166.78	41.51
51	82,819.31	85,363.40	79,564.90	48.49
52	80,496.54	84,227.17	76,544.91	48.28
53	83,138.65	84,240.26	82,059.36	48.21
54	81,844.82	85,771.39	78,410.57	48.26

ตารางที่ 4.28 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	81,192.51	83,341.36	79,554.19	48.12
56	81,791.17	85,165.75	75,721.44	48.14
57	81,373.60	85,350.39	78,135.73	48.13
58	83,715.02	85,494.16	82,368.11	48.19
59	82,413.89	84,233.28	79,530.04	48.33
60	81,207.47	83,286.26	79,977.33	48.41
61	81,245.39	83,358.91	79,181.48	48.44
62	82,495.86	83,774.22	81,426.70	48.50
63	81,141.69	85,938.74	77,528.47	48.37
64	82,646.77	84,107.93	81,115.29	48.31
65	82,505.44	82,963.47	81,780.26	48.29
66	83,254.34	85,639.52	81,450.38	48.27
67	81,255.82	84,975.70	79,125.42	47.99
68	83,565.62	87,412.27	80,235.39	48.27
69	82,704.10	86,046.35	79,681.21	48.06
70	83,878.27	86,126.67	81,406.21	47.98
71	82,451.54	81,348.82	77,089.79	48.14
72	82,513.07	83,705.50	79,816.32	48.17
73	82,481.06	86,185.90	79,564.04	48.33
74	81,721.85	84,525.25	77,693.33	48.20
75	82,684.69	84,322.25	79,952.63	48.27
76	83,986.22	84,744.46	82,899.13	48.38
77	82,935.86	85,067.29	81,018.97	44.70
78	82,764.60	84,165.01	81,116.12	40.44
79	83,725.75	86,107.07	82,296.27	48.23
80	81,306.13	83,580.51	79,695.27	48.14
81	82,143.36	85,174.57	78,006.19	48.03

จากตารางที่ 4.28 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 71 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 79,451.54 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 11 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 75,308.14 บาท

ตารางที่ 4.29 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	155,395.40	163,366.25	144,490.03	52.09
2	157,588.58	160,049.78	153,109.70	51.88
3	158,648.13	163,474.20	149,002.72	52.05
4	158,380.87	163,026.31	148,542.78	52.03
5	156,534.37	163,885.92	143,355.19	52.05
6	159,786.38	161,782.76	158,618.15	51.88
7	153,733.27	155,850.34	150,301.01	51.92
8	154,629.78	162,989.61	146,189.96	52.03
9	151,915.76	160,209.73	141,581.76	52.14
10	155,304.31	163,183.76	142,456.54	51.93
11	160,071.56	162,926.01	157,470.78	51.87
12	154,955.25	159,940.49	150,316.73	51.98
13	159,798.42	163,455.11	157,001.11	52.05
14	152,559.34	158,736.80	149,707.68	51.86
15	155,338.93	159,700.81	149,746.16	51.99
16	154,213.11	160,107.29	147,377.68	51.93
17	156,140.93	158,962.66	153,558.33	52.01
18	154,169.07	162,194.25	149,933.40	51.92
19	161,343.52	163,130.77	159,134.91	51.92
20	158,508.75	163,412.57	152,423.01	51.95
21	156,197.77	162,348.67	151,602.10	51.95

ตารางที่ 4.29 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	156,340.79	161,017.70	150,823.17	51.94
23	156,248.99	158,801.28	150,681.29	51.86
24	156,387.16	163,950.05	147,268.04	52.07
25	155,823.40	159,597.49	151,935.55	51.91
26	153,641.40	156,049.39	150,054.93	41.10
27	155,241.94	157,625.96	145,849.08	36.40
28	160,050.26	167,665.67	154,324.93	34.61
29	160,369.08	162,700.31	157,716.32	35.02
30	161,312.19	164,295.41	158,773.00	35.37
31	157,036.33	161,376.96	150,066.69	35.60
32	154,423.29	159,593.27	149,200.25	35.30
33	160,523.30	163,510.64	157,827.78	37.60
34	156,579.05	163,327.00	151,024.90	38.89
35	156,951.76	164,843.01	153,160.94	33.74
36	153,596.78	156,420.35	151,008.89	35.71
37	159,343.27	165,025.02	153,806.58	34.52
38	158,619.32	160,001.23	157,639.21	35.07
39	160,840.93	164,679.95	156,202.50	35.99
40	159,297.88	163,901.45	155,941.83	33.67
41	160,550.97	163,901.36	155,371.64	35.55
42	157,657.36	162,401.32	147,686.11	35.55
43	154,377.09	160,436.51	150,318.04	36.72
44	154,625.42	160,149.03	147,792.57	32.03
45	157,966.39	162,427.72	151,865.90	36.98
46	156,898.83	160,413.07	149,740.87	35.62
47	163,064.64	167,223.30	157,902.65	33.39
48	159,057.56	163,960.89	154,673.18	33.75

ตารางที่ 4.29 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
49	157,218.74	162,434.63	154,902.34	34.33
50	156,477.46	160,238.36	149,208.48	34.92
51	156,661.17	162,421.90	151,406.32	32.22
52	155,256.55	157,703.51	152,966.75	32.99
53	152,994.39	157,510.18	150,712.02	34.59
54	154,974.22	157,779.92	148,784.37	34.24
55	158,155.85	164,267.30	153,526.93	35.79
56	157,416.46	162,742.30	154,008.78	35.35
57	160,868.37	166,974.25	150,725.99	33.80
58	160,872.19	162,618.61	157,774.33	35.28
59	158,294.98	162,372.51	153,919.01	34.40
60	156,474.61	163,417.82	145,644.02	34.21
61	157,993.89	160,671.99	153,715.15	34.64
62	155,559.24	157,490.61	150,961.45	33.96
63	157,117.60	161,381.09	150,608.30	33.97
64	160,176.58	166,347.79	153,950.63	34.19
65	159,078.03	163,960.59	150,874.34	36.81
66	161,489.93	165,826.97	157,777.10	35.47
67	158,291.49	163,767.40	145,414.68	33.81
68	156,893.53	165,014.60	152,567.40	33.96
69	152,742.48	161,998.33	145,840.50	35.25
70	154,894.35	158,728.49	150,115.55	34.81
71	156,442.90	160,448.41	153,162.45	34.82
72	153,035.80	160,574.54	144,077.28	34.55
73	156,251.74	164,408.00	148,223.86	35.67
74	156,100.04	158,353.50	151,346.00	35.10
75	159,244.71	163,017.25	153,130.35	32.14

ตารางที่ 4.29 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
76	158,187.64	165,170.33	152,032.37	35.38
77	156,844.42	158,457.42	156,206.25	35.09
78	156,124.67	158,332.54	154,751.19	30.90
79	155,934.81	163,469.66	151,697.78	32.87
80	155,649.31	160,574.54	152,079.62	34.97
81	156,904.36	163,846.35	151,707.58	32.83

จากตารางที่ 4.29 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 27 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 151,241.94 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 14 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 140,709.85 บาท

ตารางที่ 4.30 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	371,038.16	379,658.54	361,711.33	32.86
2	375,149.48	388,122.24	365,266.18	33.03
3	375,336.02	383,308.98	359,793.86	33.05
4	370,651.77	379,806.89	355,547.25	33.02
5	372,506.23	382,910.01	357,567.04	33.05
6	363,262.37	370,100.24	353,215.01	32.95
7	356,530.83	364,926.14	342,210.00	33.05
8	362,172.34	368,710.03	347,532.98	33.01
9	358,579.63	367,598.22	345,139.99	33.02
10	375,002.54	384,869.18	365,800.60	33.07
11	370,180.72	375,821.71	363,738.89	33.01



ตารางที่ 4.30 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอาณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
12	367,157.01	383,372.44	354,235.90	32.91
13	369,998.40	376,363.59	364,454.62	32.91
14	367,049.78	375,241.28	354,947.79	32.98
15	358,012.23	369,570.59	348,721.37	33.08
16	359,487.78	365,892.00	350,743.89	32.90
17	354,188.92	369,483.90	340,277.03	32.90
18	353,834.91	367,741.69	345,540.23	32.99
19	376,663.63	382,292.84	367,847.58	33.10
20	371,174.70	376,165.93	366,765.96	33.10
21	355,702.66	372,298.84	329,043.76	33.20
22	366,681.66	373,316.99	361,206.24	32.96
23	361,824.92	371,758.11	353,941.95	32.81
24	364,700.78	376,152.30	357,414.85	32.71
25	359,994.08	368,396.32	350,966.48	33.06
26	356,757.81	369,629.28	348,686.15	33.10
27	359,346.97	363,394.84	352,639.79	33.09
28	376,018.53	388,916.63	358,292.83	32.64
29	370,270.45	385,617.27	350,745.04	32.75
30	373,916.66	389,378.63	348,626.99	32.85
31	374,242.06	379,083.79	367,846.16	32.91
32	364,219.15	375,250.11	353,599.55	32.79
33	365,481.57	380,226.19	353,158.75	32.77
34	354,905.04	364,667.61	342,628.24	32.76
35	355,172.99	372,491.53	335,234.81	33.03
36	358,370.81	369,659.68	349,671.48	32.84
37	374,890.04	384,067.48	367,188.83	32.91
38	374,320.08	380,787.50	356,822.53	32.97

ตารางที่ 4.30 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
39	370,356.84	377,534.67	363,753.42	32.54
40	370,299.50	380,337.26	361,537.93	33.06
41	374,150.26	382,560.44	368,291.04	32.84
42	361,927.24	374,571.01	339,774.54	32.76
43	358,434.44	367,254.81	346,496.30	32.94
44	357,365.48	367,959.35	349,573.51	32.72
45	354,425.14	361,908.92	346,747.72	32.80
46	375,747.71	381,082.21	363,664.03	32.64
47	374,939.38	381,714.07	366,593.32	32.94
48	364,762.31	373,277.18	351,809.46	32.65
49	370,065.01	377,481.02	365,629.34	32.97
50	363,957.50	368,261.80	356,400.10	32.71
51	357,850.15	366,981.01	347,782.64	32.84
52	358,972.64	369,513.52	351,204.55	32.94
53	362,059.03	369,177.50	345,668.33	32.89
54	357,818.49	365,357.75	347,035.70	32.46
55	374,786.66	381,562.24	362,818.04	32.65
56	371,529.08	378,235.50	361,266.10	32.49
57	367,695.27	381,034.78	346,311.43	32.76
58	368,613.08	385,440.52	351,632.15	32.47
59	366,550.81	377,413.94	350,012.32	32.55
60	368,249.38	379,094.06	358,391.61	32.86
61	364,727.79	375,482.34	355,842.79	32.70
62	366,508.43	373,673.63	360,222.17	32.77
63	359,651.92	364,653.17	347,571.34	32.61
64	374,802.37	383,775.05	353,955.67	32.80
65	373,979.45	384,175.23	357,662.64	32.59

ตารางที่ 4.30 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
66	372,975.37	377,747.61	367,976.26	32.85
67	364,750.99	368,717.97	356,621.72	32.61
68	370,230.22	377,271.12	359,081.30	32.69
69	367,641.47	378,218.56	359,797.88	32.72
70	361,006.98	370,524.60	352,600.22	32.73
71	361,284.41	363,943.53	357,949.09	32.63
72	361,239.66	371,047.35	352,190.53	33.06
73	376,958.53	383,970.87	371,764.72	32.52
74	377,239.00	381,950.04	373,479.12	32.73
75	365,962.28	374,738.31	348,065.21	32.75
76	370,348.22	376,362.95	367,080.23	32.73
77	364,829.54	372,999.20	355,036.32	32.62
78	363,295.01	366,897.52	358,335.54	32.71
79	353,222.80	362,083.47	337,550.35	32.62
80	366,547.01	374,267.79	357,395.70	32.66
81	359,858.42	371,570.61	342,109.81	32.81

จากตารางที่ 4.30 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่  
79 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 353,222.80 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 21  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 329,113.77 บาท

ตารางที่ 4.31 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	488,892.23	505,418.55	474,480.09	29.85
2	489,532.27	505,294.75	479,299.29	30.04
3	468,999.98	489,980.65	459,232.35	29.80
4	487,126.27	498,084.71	469,981.37	29.95
5	473,237.22	493,606.13	447,657.56	29.90
6	488,115.14	507,565.81	478,693.96	29.93
7	466,901.43	493,530.87	423,618.66	30.04
8	464,487.69	489,612.07	430,430.76	29.83
9	475,260.23	488,369.24	457,046.17	29.80
10	493,604.99	502,422.00	487,271.64	29.86
11	479,517.79	512,516.69	447,173.03	30.11
12	472,409.80	485,052.41	460,458.17	30.04
13	477,013.89	495,350.63	464,970.54	29.81
14	475,954.04	495,564.11	452,921.76	30.04
15	485,083.52	490,719.97	478,289.01	29.88
16	467,134.21	481,499.15	444,726.20	29.89
17	475,733.85	479,521.58	463,966.28	29.84
18	469,650.97	477,750.39	451,838.69	29.89
19	475,264.65	497,968.51	434,756.61	29.96
20	470,303.75	482,943.28	452,384.23	29.96
21	487,605.90	507,810.31	470,918.99	29.90
22	476,033.64	485,568.17	468,354.78	29.88
23	475,996.01	491,438.93	461,696.62	30.11
24	467,865.75	486,559.14	445,491.50	29.82
25	478,307.58	489,775.96	460,293.87	29.98
26	477,399.54	480,722.27	470,730.34	29.86
27	474,470.76	479,485.49	470,584.57	29.91

ตารางที่ 4.31 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	492,398.49	504,905.38	482,392.90	29.90
29	497,672.41	508,207.98	487,413.50	29.83
30	483,608.96	500,485.03	475,363.18	29.87
31	468,213.59	480,453.70	454,330.14	29.77
32	477,773.72	501,420.67	440,726.94	29.73
33	474,991.72	486,938.91	454,869.67	29.66
34	478,849.32	491,640.96	466,045.01	29.85
35	465,356.01	478,409.03	449,125.34	29.64
36	478,354.07	503,971.84	464,401.41	29.55
37	491,384.11	495,817.88	486,210.26	29.48
38	485,985.54	499,214.12	470,906.86	29.85
39	485,582.80	506,577.91	437,267.16	29.93
40	480,924.81	510,678.02	445,693.56	29.84
41	484,152.35	505,282.56	459,007.46	29.85
42	483,714.44	508,556.73	449,715.36	29.74
43	477,583.93	494,513.17	463,391.93	29.55
44	478,493.73	488,043.75	464,922.99	29.52
45	475,536.92	486,042.97	459,038.50	29.58
46	488,396.10	505,340.14	470,412.48	29.85
47	487,037.64	502,587.27	472,786.35	29.74
48	488,277.95	496,143.82	473,103.08	29.58
49	485,584.06	505,171.93	470,953.06	29.74
50	480,725.43	492,712.77	452,391.83	29.68
51	489,205.80	505,271.04	470,005.89	29.54
52	464,278.63	475,802.21	440,661.52	29.72
53	467,221.72	482,605.08	448,939.89	29.71
54	476,898.01	481,435.77	467,843.68	29.60

ตารางที่ 4.31 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	482,510.28	498,444.55	456,098.06	29.50
56	477,869.96	501,031.00	458,188.14	29.47
57	477,552.59	498,625.66	447,966.57	29.78
58	473,895.09	505,046.93	453,386.08	29.85
59	478,803.09	485,491.79	470,379.48	29.78
60	484,774.89	502,313.88	474,810.65	29.81
61	457,697.52	480,267.91	444,540.55	29.79
62	467,873.82	491,284.47	435,314.79	29.56
63	463,436.49	478,410.90	441,984.71	29.58
64	489,788.95	494,123.52	479,971.63	29.62
65	495,756.43	509,973.15	482,204.77	29.48
66	486,572.49	497,921.77	469,143.24	29.60
67	486,528.68	504,067.59	464,971.98	29.64
68	466,893.60	506,179.55	429,213.18	29.58
69	468,611.83	473,991.27	462,016.81	29.53
70	470,651.57	492,859.55	437,469.54	29.67
71	471,217.10	483,352.58	451,403.70	29.52
72	473,802.53	495,104.65	438,993.68	29.45
73	503,912.39	515,069.64	494,857.09	29.80
74	496,986.34	516,387.65	469,262.94	29.46
75	484,934.43	509,773.41	462,572.17	29.77
76	482,109.70	498,281.42	471,124.79	29.66
77	480,424.53	498,468.29	458,867.30	29.99
78	478,100.93	493,185.08	460,035.54	29.73
79	466,481.01	478,410.90	438,686.21	29.69
80	486,271.80	497,561.52	468,139.69	29.78
81	478,843.39	488,369.24	461,795.22	29.42

จากตารางที่ 4.31 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 61 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 457,695.52 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 7 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 423,618.06 บาท

ตารางที่ 4.32 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	466,531.76	473,128.62	447,174.02	49.59
2	459,267.01	473,624.38	446,271.01	49.17
3	455,709.97	459,431.73	444,887.26	49.45
4	436,292.54	449,010.75	421,375.20	49.21
5	434,348.64	446,286.68	409,206.68	49.03
6	427,068.41	441,590.74	416,459.01	49.12
7	399,471.40	409,435.03	380,618.48	48.71
8	404,314.01	411,145.84	390,307.56	48.68
9	398,370.08	404,271.99	390,608.51	48.87
10	462,746.05	477,315.07	447,970.72	49.48
11	457,907.51	475,605.00	441,701.64	49.25
12	450,740.85	458,958.99	439,079.42	49.36
13	446,254.26	460,240.46	434,735.39	49.26
14	421,668.67	426,811.36	414,151.20	49.03
15	418,340.52	427,231.12	402,087.16	49.10
16	406,031.05	417,801.75	389,898.94	48.62
17	400,386.25	411,656.63	384,550.57	48.71
18	394,892.97	405,236.35	380,312.76	48.67
19	459,382.53	469,517.86	444,512.34	49.53
20	444,813.08	461,508.75	422,609.46	49.28
21	419,417.32	438,058.52	396,311.74	49.34
22	441,314.38	447,246.19	437,737.96	49.39

ตารางที่ 4.32 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
23	426,891.60	431,883.37	422,802.84	49.19
24	414,789.13	421,276.94	409,195.64	48.68
25	404,997.60	410,427.06	401,096.82	48.94
26	397,226.22	402,507.20	386,375.88	48.88
27	411,227.60	390,754.33	377,952.38	48.75
28	455,312.58	469,855.62	435,020.51	49.08
29	458,364.13	476,444.29	435,524.79	48.73
30	458,954.31	468,335.46	432,979.21	48.56
31	449,092.58	457,197.99	442,149.08	48.64
32	446,110.22	454,868.33	433,262.46	49.50
33	442,428.39	447,692.44	434,520.42	49.86
34	404,886.97	415,211.26	385,426.82	48.16
35	399,725.98	409,239.64	386,338.37	48.48
36	398,622.56	409,340.99	391,237.00	49.35
37	469,543.68	476,392.04	463,484.08	49.04
38	461,421.17	465,440.37	456,395.72	48.49
39	453,703.78	469,289.62	442,742.10	49.56
40	439,408.22	451,092.78	425,510.39	49.02
41	442,680.37	449,241.46	436,305.41	49.66
42	432,483.68	443,625.26	423,467.36	49.03
43	397,569.75	408,659.07	388,556.36	48.17
44	395,483.41	404,714.22	384,228.89	48.58
45	390,448.28	410,358.48	370,400.87	48.45
46	455,967.77	464,334.65	448,471.09	49.50
47	466,558.25	478,690.29	461,484.36	48.24
48	455,715.09	469,064.46	447,767.12	49.28
49	439,252.39	453,115.92	410,893.97	47.84
50	442,525.38	452,510.80	432,394.63	48.70



ตารางที่ 4.32 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
51	428,067.75	441,487.15	415,755.75	47.92
52	406,153.80	412,014.38	398,213.79	48.35
53	393,925.07	403,805.44	385,437.49	48.61
54	388,894.41	407,607.54	370,417.14	48.98
55	465,043.00	479,404.38	457,428.75	49.47
56	463,556.71	474,370.30	450,852.15	48.12
57	457,829.58	468,478.82	437,011.35	48.32
58	439,371.60	451,472.70	417,142.04	48.02
59	442,740.18	450,557.12	434,899.54	48.78
60	441,994.73	451,708.98	432,607.67	47.86
61	404,255.90	416,296.49	397,783.13	48.21
62	403,696.32	406,757.04	400,883.15	49.02
63	397,975.78	405,458.23	390,181.38	47.86
64	459,668.70	472,741.75	444,105.66	48.98
65	448,255.05	465,164.99	412,109.99	49.30
66	450,717.48	468,539.98	427,536.38	49.11
67	439,054.27	446,083.63	431,243.62	48.66
68	440,348.27	447,953.85	428,484.28	49.54
69	441,449.97	451,830.45	434,629.10	48.38
70	398,480.55	406,166.79	389,563.80	48.61
71	403,384.86	409,694.10	389,334.27	47.93
72	401,122.37	405,259.78	395,423.61	48.96
73	463,281.80	477,423.12	437,011.35	49.19
74	467,819.84	470,095.57	462,866.90	48.95
75	460,882.64	473,673.33	442,858.81	48.94
76	437,470.74	457,136.56	409,067.28	48.78
77	439,141.10	454,770.66	423,578.98	47.92
78	438,249.31	458,079.81	423,205.24	48.80

ตารางที่ 4.32 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางคู่ เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
79	404,259.03	412,685.57	392,403.03	48.46
80	400,671.64	408,337.81	394,248.24	49.02
81	404,036.78	415,322.67	384,923.84	48.83

จากตารางที่ 4.32 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์  
ชุดที่ 27 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 383,293.66 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 45  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 370,300.87 บาท



4.8.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

หลังจากทำการทดลองแล้วต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะปัญหา ซึ่งมีขนาดเล็ก 3 ปัญหา ขนาดกลาง 3 ปัญหา และขนาดใหญ่ 3 ปัญหา จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางคู่ ดังตารางที่ 4.33, 4.34, 4.35, 4.36, 4.37, 4.38, 4.39, 4.40 และ 4.41

ตารางที่ 4.33 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	31,918.32	33,077.16	30,854.97	12.93
2	32,561.21	34,193.83	30,696.23	13.84
3	31,459.21	33,448.73	29,743.57	11.96
4	32,355.35	34,055.52	29,617.44	12.32
5	33,036.79	33,888.27	32,086.11	12.19
6	31,748.73	32,848.32	29,227.56	12.51
7	30,405.22	31,823.89	29,352.42	11.72
8	31,196.54	31,965.41	30,343.53	10.92
9	32,477.26	32,860.85	31,611.34	12.37
10	31,053.61	32,366.46	29,919.74	11.55
11	32,549.29	32,959.23	32,022.41	12.49
12	31,851.85	33,685.33	30,205.46	11.47
13	31,995.92	33,262.33	30,039.21	12.26
14	32,040.25	32,482.17	31,028.78	12.03
15	32,669.43	34,058.11	29,227.56	12.21
16	32,076.97	32,891.75	30,731.98	12.03
17	32,331.07	33,413.08	30,984.35	12.25
18	30,909.01	32,419.98	30,308.55	11.96
19	31,579.35	33,150.42	30,295.95	11.73
20	31,899.61	33,298.80	29,237.38	11.47

ตารางที่ 4.33 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
21	32,506.15	33,284.21	32,001.80	12.69
22	31,907.46	33,627.68	29,309.88	12.03
23	32,369.85	32,651.32	31,979.90	11.31
24	32,304.49	32,788.60	31,266.20	12.86
25	32,034.74	32,727.88	31,611.34	12.85
26	31,726.24	32,767.25	30,199.73	12.79
27	30,798.15	31,489.28	29,970.55	13.01
28	31,890.41	32,846.79	30,365.39	12.99
29	31,514.32	32,125.11	30,691.51	13.42
30	31,632.84	32,800.06	30,947.68	12.49
31	32,342.25	33,473.91	30,604.16	12.37
32	32,058.36	33,429.14	30,942.76	13.15
33	32,090.24	33,525.78	30,735.53	13.14
34	31,823.09	32,883.58	30,682.03	13.47
35	31,868.04	32,719.54	31,058.24	13.23
36	31,758.46	33,177.44	30,721.22	12.66
37	31,877.95	33,292.52	31,075.82	11.89
38	32,306.37	34,269.53	28,921.10	13.52
39	31,377.77	32,220.42	30,378.92	12.68
40	31,806.29	32,757.10	30,319.66	12.88
41	32,875.85	34,695.14	31,553.63	13.27
42	32,345.67	33,027.58	31,034.90	12.82
43	31,345.91	32,813.94	30,520.05	12.87
44	32,067.88	32,875.29	31,509.71	13.15
45	31,706.65	32,819.45	30,574.28	13.29
46	31,977.06	32,800.06	31,276.33	12.93
47	32,495.02	34,126.96	31,068.85	12.90

ตารางที่ 4.33 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
48	32,729.48	33,236.41	32,465.38	13.30
49	32,217.41	33,189.03	31,027.58	12.84
50	31,666.13	32,989.29	29,843.94	12.52
51	32,901.85	34,066.41	31,471.81	12.88
52	31,545.36	32,111.96	30,721.22	12.87
53	31,968.95	32,517.08	30,637.62	12.85
54	31,754.97	32,423.81	31,133.72	13.43
55	32,394.43	33,141.55	31,304.03	12.57
56	31,776.71	32,685.36	31,225.49	11.32
57	32,148.96	32,867.28	31,140.59	13.52
58	31,599.57	33,171.80	28,788.65	12.57
59	32,197.45	33,094.47	30,562.71	12.74
60	32,553.75	33,367.87	31,223.77	13.07
61	32,341.59	32,824.79	31,898.67	13.21
62	31,563.54	32,168.68	31,053.20	13.09
63	31,419.06	32,281.86	29,997.32	13.40
64	31,836.89	34,250.46	29,759.59	13.27
65	31,617.33	32,472.49	29,129.33	13.02
66	32,611.64	33,382.60	30,715.91	13.54
67	32,547.29	33,349.30	30,908.21	13.30
68	32,054.70	33,017.64	30,790.76	13.24
69	32,725.26	33,374.85	32,073.04	13.39
70	31,341.56	31,949.49	30,621.77	12.91
71	31,681.58	32,706.05	30,621.78	13.16
72	31,710.65	33,002.41	30,894.18	13.37
73	32,025.38	32,867.28	31,140.59	12.98
74	31,994.92	33,416.94	29,885.48	12.93

ตารางที่ 4.33 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
75	32,017.34	33,241.89	29,905.85	13.16
76	32,750.28	33,900.57	31,926.72	12.11
77	31,211.24	31,899.70	29,939.68	13.54
78	32,113.18	32,917.61	30,453.91	13.16
79	31,284.03	32,281.86	29,997.32	13.28
80	31,150.07	31,695.96	30,422.17	13.02
81	32,046.28	32,749.64	30,763.53	12.76

จากตารางที่ 4.33 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์  
ชุดที่ 7 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 30,445.22 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 58  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 28,788.65 บาท

ตารางที่ 4.34 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	41,552.75	42,314.37	40,681.74	12.79
2	39,975.14	41,941.50	38,158.19	11.76
3	42,765.06	44,387.76	40,154.98	11.32
4	40,941.48	43,098.98	38,067.87	11.64
5	41,988.06	44,352.34	40,218.69	11.80
6	41,215.84	42,389.97	38,166.39	11.81
7	40,334.40	41,617.70	39,232.09	11.36
8	40,774.04	42,375.93	39,378.99	11.78
9	42,679.78	43,917.20	41,732.87	11.45

ตารางที่ 4.34 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
10	39,975.14	41,941.50	38,158.19	11.89
11	42,765.06	44,387.76	40,154.98	11.73
12	40,934.18	44,883.99	39,294.11	11.97
13	42,492.19	44,352.34	41,044.47	11.76
14	41,337.70	44,246.22	38,200.18	11.99
15	42,300.37	43,217.28	40,519.17	11.79
16	40,763.72	41,819.69	39,391.01	11.82
17	42,063.45	43,190.77	40,883.75	11.73
18	40,751.38	41,851.34	39,455.05	11.91
19	43,176.95	44,387.76	40,103.89	11.59
20	41,182.29	44,335.45	39,294.11	12.18
21	41,434.36	43,422.19	38,446.12	11.34
22	41,394.26	44,978.50	38,200.18	11.68
23	40,751.72	43,088.27	37,805.60	11.71
24	41,404.15	42,759.53	40,003.57	11.56
25	41,073.27	42,554.53	37,219.77	11.29
26	39,266.44	42,055.48	36,112.05	10.96
27	40,770.77	44,040.86	38,951.37	11.73
28	41,674.75	42,589.10	40,617.18	11.21
29	40,947.14	43,291.24	33,642.99	11.25
30	41,343.65	42,663.29	40,174.88	11.11
31	41,327.05	43,487.84	38,975.67	10.56
32	41,278.23	42,360.67	40,051.63	10.70
33	41,020.04	42,793.45	40,159.23	11.47
34	40,355.82	42,829.98	37,500.85	11.26
35	42,108.02	43,989.34	39,815.66	10.40
36	41,195.33	42,445.02	39,187.74	11.54

ตารางที่ 4.34 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
37	40,947.14	43,291.24	38,642.90	11.44
38	41,343.65	42,663.29	40,174.88	11.61
39	42,111.81	45,249.90	40,592.60	11.28
40	41,892.41	42,967.78	40,809.55	11.36
41	41,303.04	42,793.45	40,446.00	11.08
42	40,134.21	42,181.50	35,568.17	10.91
43	42,260.71	43,989.34	39,815.66	11.15
44	41,400.04	43,509.37	40,536.33	10.89
45	40,392.53	43,381.95	38,096.43	11.47
46	41,343.65	42,663.29	40,174.88	11.01
47	42,305.00	45,249.90	40,592.60	11.33
48	42,360.55	43,126.17	40,029.03	11.02
49	41,141.43	43,440.30	38,991.13	11.32
50	40,895.97	42,826.77	35,568.17	10.90
51	41,765.35	44,188.87	40,132.82	10.85
52	41,474.38	43,509.37	40,536.33	11.46
53	39,977.49	42,854.78	38,096.43	11.27
54	41,285.65	42,889.42	40,244.19	10.67
55	41,531.48	42,153.48	40,440.63	11.23
56	42,182.20	43,212.03	41,688.66	10.85
57	40,983.83	43,865.95	38,224.97	11.91
58	41,758.81	42,237.78	40,780.77	11.69
59	41,870.77	43,272.84	40,524.89	11.83
60	41,571.84	44,189.40	39,370.70	12.28
61	41,162.34	43,338.72	38,504.81	10.97
62	42,055.54	43,333.04	40,244.15	12.15
63	41,189.62	43,659.67	38,467.90	11.68



ตารางที่ 4.34 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
64	42,182.20	43,212.03	41,688.66	12.59
65	40,870.26	43,865.95	38,224.97	11.77
66	41,082.68	43,761.22	36,183.63	11.83
67	42,300.23	43,272.84	40,524.89	12.20
68	41,852.21	44,189.40	39,370.70	12.38
69	41,940.70	45,239.31	40,724.76	11.96
70	42,057.84	43,344.58	40,244.15	12.45
71	40,383.93	42,722.31	38,467.90	11.81
72	42,510.04	43,782.66	41,738.96	12.44
73	41,398.64	44,102.27	38,224.97	12.01
74	42,206.96	43,761.22	40,755.51	12.39
75	41,807.69	43,545.82	40,238.71	11.83
76	42,392.59	44,189.40	39,370.70	11.83
77	41,529.11	43,181.34	40,724.76	10.86
78	41,063.41	42,047.28	39,724.31	11.78
79	40,383.93	42,722.31	38,467.90	12.47
80	43,061.45	44,299.29	41,738.96	11.84
81	41,564.57	42,831.99	38,796.66	12.19

จากตารางที่ 4.34 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 26 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 39,268.44 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 37 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 33,642.99 บาท

ตารางที่ 4.35 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	67,371.87	70,390.24	63,939.77	14.11
2	66,740.00	68,955.69	64,845.91	15.78
3	65,899.08	67,239.09	63,652.24	15.91
4	67,215.04	69,069.34	65,981.66	16.22
5	65,236.64	66,309.63	63,274.01	16.45
6	67,198.37	69,875.72	64,305.26	16.32
7	65,952.19	67,676.30	64,018.29	16.05
8	66,101.67	67,243.59	62,676.92	16.00
9	66,744.74	68,265.81	63,788.75	16.13
10	66,740.00	68,955.69	64,845.91	16.07
11	66,009.05	67,610.07	63,652.24	16.04
12	68,346.66	69,348.06	67,550.97	15.79
13	65,236.64	66,309.63	63,274.01	15.48
14	66,744.46	69,092.00	64,305.26	15.64
15	66,027.92	67,455.66	64,746.89	15.73
16	66,564.32	68,883.10	62,676.92	15.94
17	66,766.63	68,357.75	63,788.75	15.42
18	67,157.65	68,883.44	65,276.96	15.87
19	65,899.08	67,239.09	63,652.24	14.79
20	68,580.92	69,632.64	67,738.40	15.93
21	67,065.35	68,018.24	63,939.77	15.18
22	67,291.54	69,609.74	64,305.26	15.41
23	66,210.70	67,382.02	65,425.50	15.30
24	66,654.79	68,542.90	64,848.77	15.73
25	67,368.79	68,265.81	66,469.82	15.92
26	67,211.48	68,883.44	65,276.96	15.61
27	66,254.00	68,281.28	64,348.32	15.39

ตารางที่ 4.35 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	66,916.92	67,953.28	66,177.72	15.91
29	67,160.78	69,236.69	65,669.47	15.71
30	67,447.16	69,306.77	65,878.69	15.54
31	67,806.52	69,875.24	66,113.68	15.57
32	66,457.66	67,713.21	65,732.78	15.68
33	66,693.50	69,160.86	64,052.12	15.59
34	66,331.29	67,870.75	63,241.06	15.21
35	66,941.99	67,889.67	65,801.28	15.62
36	67,024.27	67,529.00	66,639.25	14.81
37	67,160.78	69,236.69	65,669.47	15.73
38	67,447.16	69,306.77	65,878.69	15.25
39	67,257.93	69,266.32	63,668.65	15.33
40	66,413.39	67,713.21	65,732.78	15.50
41	66,446.89	67,927.81	64,052.12	15.54
42	66,304.34	68,972.18	62,810.68	16.45
43	67,341.67	67,902.30	65,939.81	16.01
44	66,950.51	67,351.51	66,639.25	16.07
45	65,989.24	67,091.53	64,612.69	16.44
46	67,447.16	69,306.77	65,878.69	16.54
47	67,064.67	68,299.99	63,668.65	15.53
48	67,530.34	69,192.97	64,991.19	15.35
49	66,511.16	68,312.31	64,052.12	14.82
50	66,399.44	68,972.18	62,810.68	16.10
51	68,078.88	69,875.24	66,113.68	15.65
52	66,927.24	67,235.21	66,639.25	16.43
53	66,206.16	67,091.53	64,612.69	15.44
54	66,223.27	67,503.12	63,241.06	16.25

ตารางที่ 4.35 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	66,710.79	68,102.20	63,045.36	15.53
56	66,887.92	68,676.13	64,953.08	15.38
57	67,595.34	68,497.91	66,357.22	16.46
58	67,406.06	68,092.97	65,875.19	15.88
59	67,258.30	67,965.49	66,781.09	16.20
60	67,828.14	68,979.50	65,553.29	16.50
61	67,430.91	69,391.87	65,129.11	16.33
62	67,188.02	68,523.03	65,325.60	15.65
63	66,645.01	68,006.70	64,562.55	16.57
64	66,887.92	68,676.13	64,953.08	16.20
65	67,595.34	68,497.91	66,357.22	15.64
66	66,054.03	67,604.47	63,455.64	16.41
67	67,239.45	67,965.49	66,781.09	16.44
68	67,844.25	69,055.56	65,553.29	14.98
69	66,776.45	69,255.26	64,075.86	16.10
70	67,280.82	68,523.03	65,325.60	16.69
71	66,645.01	68,006.70	64,562.55	15.63
72	67,093.79	68,090.43	65,571.88	16.67
73	67,595.34	68,497.91	66,357.22	16.56
74	66,054.03	67,604.47	63,455.64	15.68
75	66,889.97	68,415.02	63,045.36	16.15
76	67,843.50	69,055.56	65,553.29	14.95
77	67,209.92	69,255.26	64,075.86	16.57
78	67,524.07	68,683.02	65,875.19	16.24
79	66,645.01	68,006.70	64,562.55	16.38
80	67,093.79	68,090.43	65,571.88	15.96
81	67,118.17	69,391.87	65,129.11	14.35

จากตารางที่ 4.35 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 13 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 65,236.64 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 16 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 62,676.92 บาท

ตารางที่ 4.36 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	108,409.35	112,938.02	104,604.54	47.19
2	107,127.34	113,432.97	96,755.56	46.43
3	109,056.42	113,201.85	103,265.06	46.99
4	106,850.12	110,221.01	102,890.43	45.36
5	106,140.33	115,258.90	98,355.75	44.30
6	109,303.89	113,499.46	10,721,3.91	45.66
7	106,586.77	111,655.13	104,828.72	46.68
8	107,748.10	112,865.46	100,237.42	46.29
9	104,819.94	109,747.56	95,715.67	47.28
10	107,127.34	113,432.97	96,755.56	46.67
11	109,609.85	113,201.85	106,033.06	47.58
12	109,456.55	113,927.78	105,926.25	47.40
13	105,727.56	113,504.60	95,865.74	47.13
14	106,352.49	110,374.56	101,640.77	47.20
15	107,806.60	110,837.26	104,303.92	46.55
16	109,819.71	117,840.51	106,467.70	46.86
17	110,015.92	115,978.82	105,955.23	46.41
18	110,302.33	116,736.49	106,189.88	46.46
19	108,878.05	112,063.12	106,033.06	45.89
20	108,714.13	113,927.78	105,926.25	45.92
21	109,532.53	112,557.55	101,844.03	45.12

ตารางที่ 4.36 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	108,881.21	113,580.63	100,462.89	47.30
23	108,897.71	113,008.52	103,780.98	45.52
24	109,323.16	113,068.49	100,802.92	46.73
25	109,626.76	115,137.37	101,356.09	44.28
26	106,594.88	117,467.36	100,886.65	46.00
27	107,886.68	112,739.35	103,907.63	47.46
28	113,994.14	115,862.11	110,627.44	46.45
29	108,538.89	113,998.04	104,443.23	44.56
30	108,982.33	113,349.05	106,973.27	45.84
31	109,495.17	115,227.48	103,794.77	45.07
32	107,014.31	111,401.61	99,632.95	46.97
33	110,046.51	112,881.95	106,293.72	47.03
34	107,873.04	109,783.31	105,667.03	46.46
35	108,601.05	113,965.65	103,666.48	45.15
36	111,488.73	115,781.05	109,021.00	45.86
37	108,210.63	111,626.59	106,047.18	46.33
38	108,769.16	113,349.05	103,908.78	46.13
39	111,495.99	114,353.20	109,420.42	47.08
40	106,573.96	109,809.37	99,632.95	47.73
41	110,253.31	114,543.91	103,257.59	47.47
42	111,104.27	116,339.27	106,281.71	46.02
43	108,805.38	113,273.87	102,446.45	46.65
44	111,263.09	114,066.89	108,411.23	46.58
45	110,770.11	114,813.95	107,463.06	47.02
46	108,496.02	111,983.35	103,908.78	42.85
47	110,411.23	113,832.72	107,074.37	46.13
48	108,398.66	111,445.58	103,366.46	45.42

ตารางที่ 4.36 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
49	110,475.14	113,748.08	102,179.53	45.94
50	105,100.14	109,333.98	98,020.75	47.36
51	108,752.46	113,415.54	103,894.19	46.27
52	110,262.16	113,848.37	107,802.93	43.59
53	110,904.90	113,856.22	107,050.05	47.23
54	110,445.28	114,741.62	104,492.10	45.97
55	108,682.40	116,886.22	103,388.14	45.85
56	109,415.54	113,451.66	102,659.09	44.70
57	109,456.46	111,665.43	108,449.41	46.31
58	109,886.73	115,307.21	104,696.25	45.97
59	109,294.55	113,997.79	101,217.07	46.22
60	110,935.69	115,290.13	106,909.80	43.52
61	110,835.85	117,513.91	107,087.72	45.59
62	108,119.36	111,994.28	103,854.31	46.70
63	108,691.18	111,283.69	103,776.51	46.17
64	110,444.74	113,436.69	107,749.95	46.05
65	107,790.60	111,999.07	103,138.58	45.01
66	104,247.12	109,945.68	96,083.77	46.93
67	109,294.55	113,997.79	101,217.07	46.34
68	110,020.53	114,669.53	106,909.80	47.37
69	108,959.70	116,196.68	103,276.82	47.81
70	106,422.47	109,587.50	99,913.75	46.72
71	111,227.00	114,078.13	107,565.29	45.17
72	108,156.29	111,319.07	100,948.97	45.92
73	108,593.04	112,737.05	103,138.58	46.87
74	104,247.12	109,945.68	96,083.77	45.95
75	108,377.76	116,928.96	101,515.67	45.31

ตารางที่ 4.36 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
76	110,078.35	114,669.53	106,909.80	46.55
77	111,596.87	117,427.60	103,276.82	44.83
78	106,532.98	113,087.42	97,070.65	45.97
79	113,039.24	114,176.28	111,580.00	46.68
80	107,878.28	111,771.52	100,948.97	44.60
81	107,589.79	111,571.99	102,501.07	46.63

จากตารางที่ 4.36 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 74 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 104,247.12 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 9 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 95,796.67 บาท

ตารางที่ 4.37 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	83,833.86	85,922.81	82,176.19	46.46
2	84,667.15	85,667.36	83,380.03	45.88
3	83,605.55	85,614.18	81,869.16	46.76
4	83,117.89	85,734.05	80,812.86	45.93
5	83,256.63	85,664.18	82,053.18	46.92
6	81,721.30	82,735.62	79,463.06	46.78
7	82,671.06	84,903.29	80,515.04	42.90
8	82,675.06	85,776.69	79,310.70	46.44
9	83,393.06	85,543.15	81,684.36	47.09
10	83,758.26	86,563.41	79,435.39	45.15



ตารางที่ 4.37 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
11	83,570.18	87,152.14	81,179.68	46.75
12	82,366.76	85,102.80	80,146.16	45.52
13	83,186.63	84,966.87	81,483.41	46.86
14	83,519.42	85,804.06	80,174.10	46.47
15	82,194.04	84,538.21	80,448.20	46.49
16	81,618.27	83,316.67	78,718.20	47.44
17	81,322.11	82,826.69	78,434.07	46.49
18	82,650.31	84,256.67	80,710.85	45.34
19	82,096.74	84,084.84	79,183.77	46.08
20	82,356.92	84,826.54	80,609.40	47.22
21	84,089.53	85,330.21	81,810.56	46.93
22	81,635.16	86,533.32	76,815.30	45.66
23	83,332.18	83,836.43	82,288.04	45.93
24	84,706.79	85,540.48	83,564.23	46.05
25	82,155.12	84,594.53	77,790.04	45.02
26	80,569.06	82,759.31	78,690.83	44.40
27	83,213.28	87,177.65	79,796.49	46.63
28	83,208.70	84,924.87	80,037.85	45.87
29	81,728.85	84,733.86	78,282.77	45.55
30	83,097.81	84,335.78	80,716.55	45.05
31	82,275.80	84,630.66	80,316.08	45.02
32	81,458.08	85,558.27	76,784.15	45.89
33	83,969.17	85,924.59	81,078.63	43.82
34	83,212.61	86,686.50	79,924.00	44.90
35	83,312.01	83,779.04	82,777.17	45.60
36	83,216.02	85,355.91	79,938.16	46.39
37	82,654.67	86,771.67	79,771.55	43.56

ตารางที่ 4.37 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
38	83,566.83	85,112.73	82,669.00	44.34
39	83,277.70	84,321.11	82,223.38	46.74
40	82,442.57	84,744.46	78,880.37	46.64
41	81,738.20	83,613.46	79,644.69	44.92
42	82,670.71	84,587.33	78,522.80	46.07
43	81,132.34	82,700.18	79,245.04	46.47
44	81,762.12	84,985.51	77,245.35	45.95
45	81,734.74	83,141.25	79,470.18	45.12
46	83,015.94	84,335.78	80,716.55	45.87
47	82,991.51	85,505.96	79,387.24	45.51
48	83,267.85	86,929.80	78,231.36	45.63
49	83,009.13	84,901.58	81,078.63	45.27
50	81,974.35	85,406.78	77,183.77	46.95
51	82,141.27	85,239.54	78,311.74	46.49
52	83,344.98	84,764.09	82,337.81	45.52
53	81,368.00	82,938.04	79,567.51	46.29
54	82,571.39	84,248.33	80,274.78	46.63
55	83,593.71	85,907.11	82,001.55	45.98
56	83,230.06	84,619.33	81,022.14	46.14
57	80,752.18	84,173.74	70,470.15	46.19
58	83,879.16	86,336.62	80,942.38	41.98
59	82,485.22	83,280.21	81,858.48	44.43
60	83,983.88	86,801.10	81,811.03	45.90
61	81,706.18	84,538.48	77,878.05	46.07
62	82,661.51	83,861.52	81,606.55	45.05
63	82,917.28	84,362.32	80,768.61	45.28
64	83,914.11	85,697.98	82,792.72	43.06

ตารางที่ 4.37 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
65	82,655.00	85,748.13	79,267.76	45.82
66	84,163.96	85,826.89	82,699.96	43.83
67	83,187.09	84,639.36	80,014.03	47.17
68	81,531.14	83,103.51	79,074.38	45.04
69	84,597.76	86,532.28	82,708.83	46.45
70	82,065.51	83,590.89	78,972.79	45.15
71	82,659.68	84,791.67	79,172.03	45.81
72	82,934.80	84,183.58	80,904.90	45.82
73	80,929.43	84,783.21	70,470.15	45.60
74	83,286.24	84,935.10	79,697.49	45.77
75	82,521.63	85,549.31	75,049.04	45.76
76	84,300.59	87,946.79	81,811.03	45.45
77	83,058.37	85,603.68	79,031.77	45.69
78	82,861.13	85,831.68	81,329.87	46.58
79	82,005.87	83,205.40	80,668.37	45.34
80	80,097.34	85,060.86	76,544.91	46.68
81	82,367.05	84,202.98	78,609.05	46.28

จากตารางที่ 4.37 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 80 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 80,097.34 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 73 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 70,470.15 บาท

ตารางที่ 4.38 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	157,111.50	162,401.44	150,250.67	12.05
2	151,775.06	158,990.02	147,073.38	12.24
3	159,661.34	163,947.18	155,635.99	12.03
4	156,786.53	161,719.54	145,862.08	12.10
5	158,287.72	162,873.89	155,069.64	12.23
6	159,055.35	161,557.39	156,637.65	12.09
7	154,442.67	160,013.24	139,273.24	12.08
8	152,261.80	158,064.17	146,085.35	12.21
9	157,131.90	161,187.39	150,920.06	11.89
10	154,806.18	160,555.23	147,589.79	12.01
11	159,436.84	163,947.18	155,635.99	12.05
12	158,560.44	164,033.25	151,487.24	11.96
13	156,564.81	160,631.28	152,376.68	12.03
14	160,408.90	166,701.83	156,637.65	12.06
15	157,253.26	160,505.49	152,544.02	12.22
16	157,269.75	161,543.53	147,251.77	12.17
17	155,613.42	161,831.52	150,124.07	12.09
18	156,371.34	160,837.44	150,334.71	12.00
19	158,693.85	163,947.18	155,635.99	12.15
20	158,895.85	166,058.46	151,070.72	12.29
21	157,757.02	155,632.42	153,298.96	12.13
22	159,947.71	167,357.94	157,015.66	12.01
23	160,021.48	163,747.89	156,766.87	12.16
24	156,399.02	161,072.93	153,353.81	12.01
25	159,238.25	164,088.14	153,452.11	12.27
26	155,848.12	157,514.89	150,393.34	12.11
27	153,827.61	157,360.41	148,969.03	12.05

ตารางที่ 4.38 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าที่โรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	158,163.45	163,051.03	152,090.28	12.03
29	156,770.84	161,969.79	147,433.27	12.18
30	159,811.33	162,581.99	155,339.65	12.04
31	160,436.15	163,653.13	156,443.86	12.24
32	157,234.82	163,856.75	152,897.95	12.10
33	156,434.42	162,434.63	149,560.51	12.12
34	155,748.35	164,282.67	151,303.07	12.22
35	155,361.48	161,324.45	148,813.30	12.01
36	155,064.94	161,427.62	149,802.16	11.98
37	161,476.28	164,601.79	157,653.90	12.14
38	158,808.55	163,047.13	152,408.85	11.98
39	159,735.74	164,253.36	152,761.70	12.01
40	156,869.40	162,029.61	152,897.95	12.16
41	158,333.74	165,018.14	153,694.68	12.00
42	154,714.12	158,225.57	151,363.29	12.13
43	154,602.55	156,483.69	151,715.38	11.97
44	155,615.10	161,427.62	149,802.16	11.96
45	155,726.84	161,767.52	150,961.05	12.06
46	158,586.65	166,661.15	152,408.85	12.09
47	161,114.73	164,253.36	155,389.54	12.09
48	158,961.77	163,051.03	152,090.28	12.12
49	157,973.53	162,434.63	153,694.68	12.08
50	156,587.76	160,731.53	153,134.67	11.89
51	159,868.64	161,314.13	156,136.31	12.20
52	156,754.41	161,427.62	149,802.16	12.05
53	153,084.22	157,440.85	148,061.26	12.10
54	155,856.04	163,060.33	151,303.07	11.98

ตารางที่ 4.38 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีระบบอณานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	160,486.91	164,663.12	157,444.90	12.06
56	161,248.25	167,903.31	151,314.99	12.14
57	156,767.34	164,293.04	144,179.14	12.04
58	159,093.13	163,425.90	156,498.00	12.08
59	155,339.67	162,372.51	146,186.70	12.11
60	159,000.83	163,941.64	151,959.25	12.11
61	156,149.51	163,151.67	151,280.15	12.09
62	154,826.58	164,665.86	148,256.37	11.95
63	156,972.65	163,083.99	150,061.18	12.06
64	160,244.70	167,539.43	151,314.99	11.96
65	158,397.40	164,293.04	152,329.48	11.86
66	161,100.36	165,780.84	154,310.75	12.07
67	155,339.67	162,372.51	146,186.70	12.02
68	159,508.26	166,478.79	151,959.25	12.09
69	157,264.40	161,885.54	151,478.55	12.03
70	155,983.70	164,665.86	148,256.37	12.09
71	156,972.65	163,083.99	150,061.18	12.11
72	155,878.99	158,447.81	153,009.36	12.21
73	158,397.40	164,293.04	152,329.48	12.14
74	161,390.25	167,230.29	154,310.75	12.06
75	161,466.03	164,663.12	157,444.90	12.07
76	159,415.78	166,016.37	151,959.25	12.09
77	155,586.00	161,885.54	145,973.82	12.07
78	158,994.84	159,951.61	157,703.74	11.94
79	158,469.83	163,083.99	151,312.43	12.09
80	155,654.77	158,447.81	153,009.36	11.94
81	154,861.70	157,591.84	150,460.29	12.18

จากตารางที่ 4.38 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 21 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 150,787.02 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 21 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 138,293.96 บาท

ตารางที่ 4.39 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	369,994.86	384,526.04	361,333.06	33.00
2	373,678.45	389,386.68	356,254.63	32.89
3	375,460.33	379,717.12	368,203.17	32.96
4	359,119.02	364,254.22	353,595.09	32.93
5	366,203.43	374,532.92	353,913.62	32.84
6	369,591.91	378,169.84	362,641.95	33.02
7	369,042.09	374,515.17	360,657.60	32.93
8	360,010.81	364,400.73	353,362.52	32.75
9	364,262.51	370,669.22	357,717.88	32.69
10	375,336.05	389,386.68	364,542.67	32.97
11	375,563.80	384,181.08	368,203.17	33.03
12	370,748.81	381,246.79	361,896.57	33.08
13	356,535.26	372,660.49	346,773.34	32.82
14	373,691.48	380,858.64	355,271.73	32.77
15	369,557.30	374,538.99	360,388.24	32.87
16	365,468.98	377,179.62	353,362.52	32.82
17	365,092.88	374,643.57	359,551.16	32.78
18	362,961.91	370,250.84	356,016.20	32.64
19	375,140.87	380,208.15	368,203.17	33.32
20	374,106.84	384,699.03	366,251.53	32.84
21	369,392.93	378,332.60	361,333.06	32.83

ตารางที่ 4.39 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
22	369,755.04	382,475.52	349,762.01	32.91
23	367,571.10	374,791.85	358,541.27	32.92
24	366,890.43	381,757.43	353,540.37	33.04
25	359,375.70	372,969.56	344,002.37	33.03
26	367,543.65	372,560.24	361,709.08	33.11
27	358,945.43	363,574.53	353,290.56	32.68
28	371,441.35	387,164.24	360,160.88	32.62
29	374,979.73	386,471.88	365,930.66	32.91
30	372,201.71	382,992.03	361,071.15	32.77
31	365,693.08	372,626.90	355,778.45	32.47
32	359,963.92	375,585.81	347,891.25	32.68
33	370,792.02	375,502.17	361,748.75	32.86
34	358,472.18	363,801.88	352,518.56	32.75
35	362,471.29	371,796.91	350,386.69	32.83
36	361,945.09	371,277.27	345,148.91	32.83
37	373,946.05	383,793.93	366,520.54	32.71
38	373,867.88	383,859.07	361,071.15	32.81
39	363,799.35	371,766.97	356,953.26	32.72
40	362,474.99	367,285.05	350,457.76	32.73
41	365,017.16	371,125.31	359,235.08	32.79
42	368,799.57	381,721.63	357,415.74	32.63
43	360,274.98	368,218.60	354,429.89	32.75
44	360,970.79	369,585.11	345,148.91	32.67
45	363,087.98	369,156.07	354,382.68	32.74
46	373,151.66	383,061.83	361,071.15	32.59
47	370,073.82	381,258.80	357,339.32	32.89
48	374,846.47	389,152.41	360,160.88	32.69



ตารางที่ 4.39 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
48	374,846.47	389,152.41	360,160.88	32.69
49	374,873.61	385,015.96	371,395.98	32.74
50	370,437.33	377,106.75	363,769.96	32.89
51	363,747.12	376,023.20	358,248.69	34.17
52	363,551.22	370,827.91	345,148.91	35.86
53	358,860.34	361,868.07	353,656.09	38.01
54	356,022.14	361,515.98	346,041.55	37.90
55	374,812.11	379,035.60	370,867.57	38.33
56	372,359.29	378,817.28	366,749.53	35.17
57	372,852.01	381,370.70	366,811.26	33.17
58	373,963.87	380,049.98	367,925.12	32.58
59	368,608.13	379,722.59	364,961.87	32.39
60	373,325.69	380,622.38	366,103.74	32.93
61	364,925.21	375,022.32	357,357.80	32.81
62	361,298.64	368,441.92	352,228.17	32.61
63	362,274.42	372,728.60	343,104.20	32.74
64	371,959.16	378,817.28	364,748.89	32.71
65	372,852.01	381,370.70	366,811.26	32.50
66	377,986.70	383,338.21	373,388.10	32.82
67	370,170.35	379,722.59	364,961.87	32.38
68	375,254.37	389,376.63	366,103.74	32.62
69	370,393.01	376,342.01	362,557.26	32.71
70	361,976.09	368,441.92	352,228.17	32.54
71	363,079.99	365,615.59	359,899.55	32.70
72	354,040.61	367,611.57	335,310.65	32.94
73	371,668.02	381,370.70	366,811.26	32.54
74	379,957.61	383,625.22	373,388.10	32.69

ตารางที่ 4.39 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
75	377,598.05	383,050.64	370,867.57	32.53
76	375,457.28	389,568.41	366,103.74	32.62
77	374,395.99	383,902.48	369,646.68	32.65
78	368,615.80	377,292.72	358,082.48	32.39
79	364,216.19	369,047.54	359,899.55	32.90
80	352,549.18	362,345.77	335,310.65	32.59
81	369,563.20	375,071.40	361,962.61	32.61

จากตารางที่ 4.39 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 จากวิธีระบบอานานิคมมดโดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 80 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 352,549.18 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 80 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 335,310.65 บาท

ตารางที่ 4.40 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	483,661.22	502,048.58	445,833.31	44.02
2	480,991.98	504,526.70	432,125.15	43.93
3	490,197.41	517,057.37	477,860.84	43.83
4	477,171.44	515,048.65	465,462.48	44.01
5	471,491.98	504,218.04	432,924.49	43.99
6	485,439.16	503,933.45	470,482.25	44.00
7	463,259.36	478,410.90	441,210.43	43.93
8	470,998.98	492,493.53	440,574.30	43.62
9	474,515.24	483,351.09	459,061.48	42.84

ตารางที่ 4.40 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
10	484,854.92	514,377.50	432,125.15	42.78
11	490,670.54	515,102.02	477,860.84	44.76
12	489,662.38	516,174.99	453,914.52	43.00
13	472,296.98	491,104.73	455,104.31	43.02
14	489,597.35	507,874.84	474,368.13	43.15
15	464,328.94	493,846.94	437,139.94	43.02
16	475,912.25	489,003.49	458,320.22	42.75
17	467,316.77	487,232.58	453,847.11	42.73
18	477,938.19	492,234.52	460,479.42	42.78
19	489,741.54	506,948.36	474,793.38	42.80
20	485,424.05	492,475.97	475,034.43	42.53
21	497,124.31	513,750.41	475,099.31	42.63
22	482,739.33	494,438.05	474,368.13	42.51
23	495,919.58	504,514.37	490,853.82	43.41
24	472,529.31	494,268.62	441,730.64	43.07
25	473,136.36	496,293.80	459,061.48	42.74
26	469,251.17	479,382.92	457,149.26	42.63
27	474,785.11	485,778.34	465,547.55	42.37
28	483,862.42	499,800.34	459,597.44	42.32
29	480,167.46	500,704.69	450,390.21	42.57
30	479,295.42	512,320.06	459,280.86	42.40
31	487,710.90	493,210.67	483,877.99	42.51
32	478,762.88	487,964.78	465,705.58	42.37
33	485,434.16	499,112.30	468,469.88	42.40
34	464,719.08	486,244.08	450,962.73	42.43
35	471,893.72	494,180.85	443,490.21	42.66
36	469,614.86	485,821.77	451,574.84	42.80

ตารางที่ 4.40 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
37	480,241.49	503,829.77	450,390.21	44.14
38	488,890.24	509,821.00	464,848.01	42.70
39	487,303.23	500,009.20	477,396.75	42.69
40	479,401.67	501,174.90	454,386.93	43.10
41	474,479.21	489,870.99	459,783.13	42.56
42	482,453.59	512,087.72	455,270.25	42.70
43	475,205.22	489,713.83	443,490.21	42.68
44	467,326.03	478,280.82	458,563.52	42.93
45	472,119.99	478,630.81	460,096.95	42.58
46	490,463.87	508,394.13	464,848.01	37.80
47	488,696.66	500,355.64	484,017.47	37.78
48	491,631.84	508,294.46	465,579.73	37.73
49	482,260.39	489,870.99	468,469.88	37.93
50	481,901.93	510,486.76	441,152.40	37.68
51	487,581.16	511,305.33	470,070.34	37.76
52	471,899.33	491,385.40	455,206.12	37.78
53	470,238.32	493,189.17	442,860.17	37.63
54	478,738.56	499,069.24	464,651.77	37.74
55	479,376.98	492,234.41	457,231.36	37.75
56	492,030.29	506,693.04	479,971.63	37.60
57	488,982.61	507,287.35	449,259.60	37.75
58	478,544.73	503,061.29	461,785.57	37.75
59	480,122.88	484,940.34	475,119.04	38.04
60	475,163.25	488,954.07	463,860.45	37.65
61	466,566.04	478,613.91	459,039.67	37.69
62	467,570.45	482,299.27	426,116.98	37.62
63	457,277.62	479,136.50	425,997.17	37.90

ตารางที่ 4.40 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
64	492,030.29	506,693.04	479,971.63	37.74
65	495,474.74	517,084.33	449,259.60	37.78
66	495,568.63	512,688.22	471,323.42	37.72
67	478,990.03	483,084.99	475,119.04	37.76
68	481,294.01	498,943.38	463,860.45	37.63
69	482,819.77	506,985.08	469,428.71	37.80
70	478,839.92	482,464.30	471,371.22	37.67
71	465,338.84	479,136.50	440,439.31	37.65
72	470,919.15	496,082.02	459,108.59	37.72
73	490,143.75	521,066.05	449,259.60	37.67
74	494,306.67	512,688.22	461,998.06	37.72
75	482,436.64	494,186.98	463,099.82	37.71
76	481,278.65	498,943.38	463,860.45	37.58
77	483,509.20	506,985.08	469,428.71	38.47
78	475,849.06	502,280.73	461,870.31	37.68
79	465,338.84	479,136.50	440,439.31	37.60
80	479,316.07	499,564.21	459,108.59	37.69
81	464,850.93	487,817.29	442,169.05	37.65

จากตารางที่ 4.40 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 จากวิธีอานานิคมมดโดยการปรับค่า  
ฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์  
ชุดที่ 63 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 457,277.62 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 63  
จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 425,997.17 บาท

ตารางที่ 4.41 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
1	466,539.56	472,282.28	456,811.97	73.10
2	471,423.02	477,674.32	467,028.05	73.50
3	457,685.25	467,871.93	429,481.51	73.10
4	442,150.30	455,432.86	429,931.74	72.40
5	446,929.70	452,887.04	438,855.53	72.10
6	445,977.71	458,547.52	424,523.37	72.10
7	406,007.65	413,354.83	391,402.44	71.60
8	409,155.22	419,074.34	397,293.77	71.60
9	410,688.27	419,041.00	403,046.39	71.70
10	458,991.85	473,798.89	444,617.73	72.20
11	453,204.50	469,111.02	431,478.05	72.20
12	464,545.13	477,829.59	446,273.00	72.40
13	447,334.95	459,191.89	436,404.59	72.10
14	449,714.14	456,671.69	442,984.46	72.00
15	444,346.42	455,831.85	434,197.71	72.40
16	408,486.52	421,298.42	391,751.21	71.50
17	400,128.29	420,358.96	385,258.19	71.50
18	401,395.39	408,238.36	392,931.43	71.30
19	464,006.48	467,871.93	460,730.71	72.10
20	452,659.12	469,897.33	441,009.47	72.50
21	460,367.26	464,480.91	455,948.41	72.20
22	440,544.88	455,448.89	424,805.90	72.20
23	439,907.08	448,953.83	427,755.99	72.10
24	445,344.30	453,206.53	432,589.27	72.60
25	403,714.09	412,970.22	394,264.52	71.80
26	399,890.88	412,681.59	381,489.69	71.40
27	407,322.84	412,409.33	399,797.72	71.60

ตารางที่ 4.41 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
28	449,206.53	471,218.75	431,272.14	62.40
29	459,713.20	478,195.62	445,895.65	62.00
30	474,422.08	479,205.01	469,488.45	62.20
31	431,905.08	449,230.44	407,359.15	61.70
32	438,738.75	451,481.02	433,450.91	62.20
33	445,618.36	454,218.63	440,197.60	61.60
34	410,987.42	420,988.38	404,316.70	61.20
35	408,352.68	413,432.56	403,655.18	61.20
36	403,038.86	413,374.52	392,234.35	61.30
37	474,039.10	483,653.88	463,644.73	61.80
38	459,036.09	469,811.65	444,988.11	61.80
39	463,804.75	483,118.49	453,667.78	61.90
40	435,921.44	446,431.97	423,363.21	61.70
41	445,691.51	459,150.84	432,647.57	62.00
42	439,727.93	455,431.49	413,248.02	63.00
43	400,477.26	418,655.64	374,746.78	61.50
44	392,610.80	409,292.81	381,017.54	61.50
45	393,092.43	411,191.68	378,895.80	61.20
46	469,752.83	477,368.35	458,172.50	61.80
47	464,055.59	471,090.13	442,272.73	62.20
48	457,730.09	472,577.01	438,868.88	62.10
49	444,448.20	452,093.84	436,471.61	61.70
50	443,879.56	450,762.29	438,111.48	61.70
51	443,628.92	453,211.01	433,185.88	61.60
52	401,416.40	415,476.42	388,676.15	61.30
53	403,683.47	409,692.93	393,304.18	61.20
54	401,555.31	409,791.58	395,496.38	61.40

ตารางที่ 4.41 (ต่อ) แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีระบบอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าฟีโรโมน แบบระยะทางรวม เป้าประสงค์ที่ 2

พารามิเตอร์ ชุดที่	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย (บาท)	ค่าใช้จ่ายสูงสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายต่ำสุด (บาท)	เวลาที่ใช้เฉลี่ย (วินาที)
55	460,630.09	469,553.70	451,173.37	61.60
56	463,887.01	483,156.11	438,197.61	63.10
57	457,636.89	480,412.20	437,011.35	62.60
58	443,315.14	455,617.34	430,863.63	72.00
59	438,672.11	445,328.26	427,332.25	72.20
60	445,746.64	453,776.34	427,874.68	71.80
61	403,820.57	417,835.89	388,400.26	71.20
62	401,828.07	412,450.82	390,365.83	71.00
63	401,154.55	409,818.00	392,889.79	71.20
64	454,952.56	474,279.65	422,669.32	72.10
65	452,115.68	480,900.04	439,911.79	72.10
66	459,844.96	476,196.06	448,131.57	72.30
67	450,506.36	457,817.28	445,853.36	71.70
68	447,849.11	457,404.32	437,516.22	71.80
69	442,004.55	446,518.65	436,868.08	73.50
70	397,945.40	414,698.29	376,790.58	71.10
71	406,356.89	414,045.85	399,557.17	71.40
72	404,889.46	413,666.96	396,573.09	71.20
73	462,383.47	491,240.58	437,011.35	72.00
74	462,085.68	479,953.76	444,142.80	72.00
75	462,020.98	471,645.66	443,422.19	71.90
76	444,295.77	453,776.34	434,748.57	72.00
77	430,653.26	443,071.73	423,578.98	71.60
78	430,462.66	443,459.08	416,617.20	72.50
79	403,365.18	409,818.00	392,889.79	71.80
80	397,879.88	407,729.58	383,109.13	71.90
81	406,372.62	412,065.28	400,301.58	71.50



จากตารางที่ 4.41 ผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 3 จากวิธีอณานิคมมดโดยปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม แสดงค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 44 จะให้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 392,610.80 บาท

เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำสุดในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า พบว่า พารามิเตอร์ชุดที่ 70 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด คือ 373,790.68 บาท

#### 4.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองฟังก์ชันเป้าประสงค์ แบบบรรทุกน้ำหนักเพิ่มความจุตามความต้องการลูกค้า

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบบรรทุกน้ำหนักเพิ่มความจุตามความต้องการของลูกค้านี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงของจำนวนมด/จำนวนรอบ ฟีโรโมนเริ่มต้น อัตราการระเหยของฟีโรโมน แอลฟา และเบต้า ว่าส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายโดยใช้วิธีการประเมินผล ด้วยการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบเชิงเส้นทั่วไป (General Linear Model) ซึ่งแสดงค่าผลรวมกำลังสอง (Sum of Square : SS) ค่า F-value (ค่า F) ค่า P-value (ค่า P) ด้วยโปรแกรม Minitab 16 เพื่ออธิบายถึง ผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Factors) ค่า P-value สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อทดลอง เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่า ปัจจัยนั้นมีผลต่อการทดลองที่นัยสำคัญทางสถิติ (Significance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 ในการวิเคราะห์ผลได้กำหนดตัวแปรโดย

Number of Ant/ Iteration	คือ จำนวนมด/จำนวนรอบ
Pheromone Initail	คือ ค่าฟีโรโมนเริ่มต้น
Evaporation(Rho)	คือ ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน
Alpha	คือ แอลฟา
Beta	คือ เบต้า

4.9.1 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.65

General Linear Model: Total Cost 11 versus NumAnt_NumGe, Rho, Alpha, Beta							
Factor	Type	Levels	Values				
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20				
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05				
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				

Analysis of Variance for Total Cost 11, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
NumAnt_NumGen	2	1386626	1386626	693313	0.93	0.394	
Rho	2	1133163	1133163	566581	0.76	0.467	
Alpha	2	68241287	68241287	34120644	45.95	0.000	
Beta	2	8184095	8184095	4092048	5.51	0.004	
NumAnt_NumGen*Rho	4	4551589	4551589	1137897	1.53	0.192	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	4825935	4825935	1206484	1.62	0.168	
NumAnt_NumGen*Beta	4	7727933	7727933	1931983	2.60	0.036	
Rho*Alpha	4	2239739	2239739	559935	0.75	0.556	
Rho*Beta	4	8275770	8275770	2068943	2.79	0.027	
Alpha*Beta	4	5281813	5281813	1320453	1.78	0.133	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	1966771	1966771	245846	0.33	0.954	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	6	4834679	4834679	604335	0.81	0.591	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	12252971	12252971	1531621	2.06	0.039	
Rho*Alpha*Beta	8	8472589	8472589	1059074	1.43	0.184	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	10883032	10883032	660189	0.92	0.551	
Error	324	240597208	240597208	742584			
Total	404	390855199					

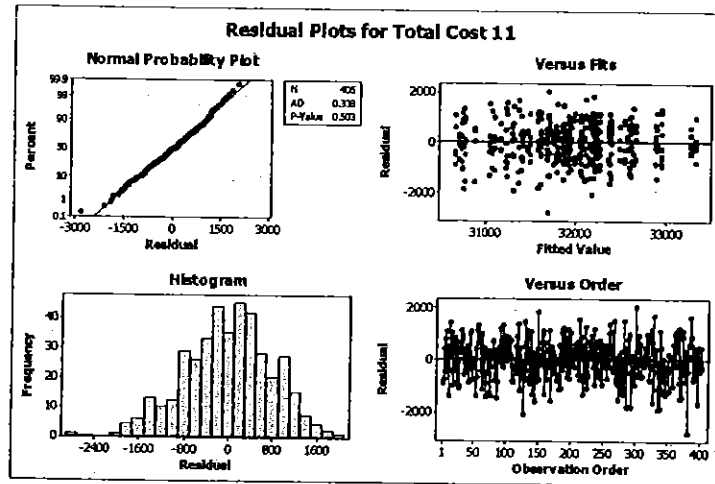
S = 861.733    R-Sq = 38.44%    R-Sq(adj) = 23.24%

รูปที่ 4.65 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

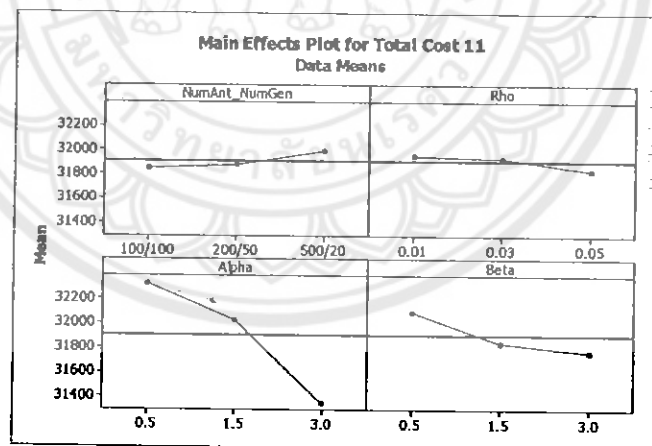
จากรูปที่ 4.65 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา และเบต้า ส่งผลกระทบตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ จำนวนรอบ/จำนวนมดกับเบต้า และอัตราการระเหยกับเบต้า พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 38.44 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 38.44 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.66



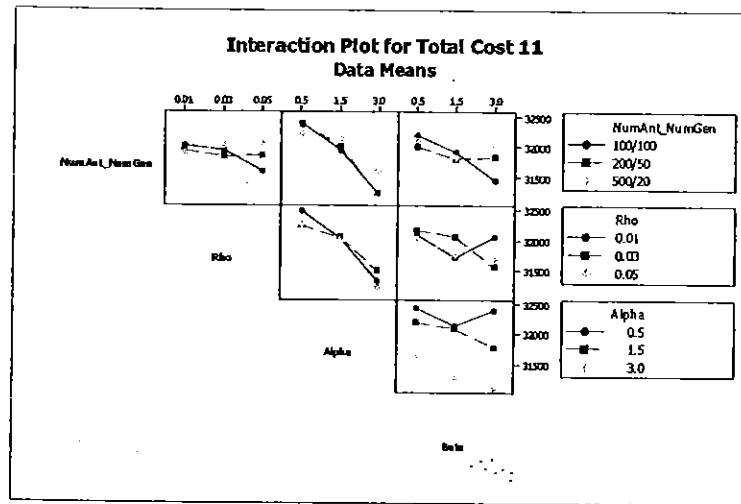
รูปที่ 4.66 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.66 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 1.1 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.67



รูปที่ 4.67 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอาณานิคมลด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.67 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา และเบต้า ส่งผลกระทบทตามลำดับ และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.68



รูปที่ 4.68 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.69 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.24 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 30,644.37 บาท

4.9.2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.69

**General Linear Model: Totalcost12 versus NumAnt\_NumGen, Rho, Alpha, Beta**

Factor	Type	Levels	Values
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0

Analysis of Variance for Totalcost12, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
NumAnt_NumGen	2	7742345	7742345	3871172	1.27	0.281
Rho	2	25616733	25616733	12908366	4.21	0.016
Alpha	2	15071975	15071975	7535987	2.49	0.085
Beta	2	17883401	17883401	8941700	2.94	0.054
NumAnt_NumGen*Rho	4	1625613	1625613	406403	0.13	0.970
NumAnt_NumGen*Alpha	4	23592192	23592192	5895548	1.94	0.104
NumAnt_NumGen*Beta	4	16193518	16193518	4045879	1.33	0.258
Rho*Alpha	4	25019099	25019099	6254775	2.06	0.086
Rho*Beta	4	16657495	16657495	4164374	1.37	0.244
Alpha*Beta	4	7608632	7608632	1902158	0.63	0.645
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	22900449	22900449	2862556	0.94	0.482
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	15622114	15622114	1952764	0.64	0.742
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	14295805	14295805	1786976	0.59	0.788
Rho*Alpha*Beta	8	48281464	48281464	6035183	1.99	0.048
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	122608600	122608600	7663039	2.52	0.001
Error	324	985269147	985269147	3040954		
Total	404	1365968581				

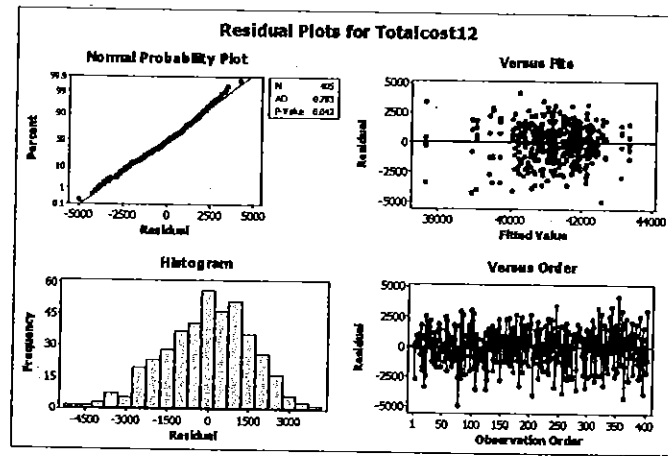
S = 1743.83    R-Sq = 27.87%    R-Sq(adj) = 10.06%

รูปที่ 4.69 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

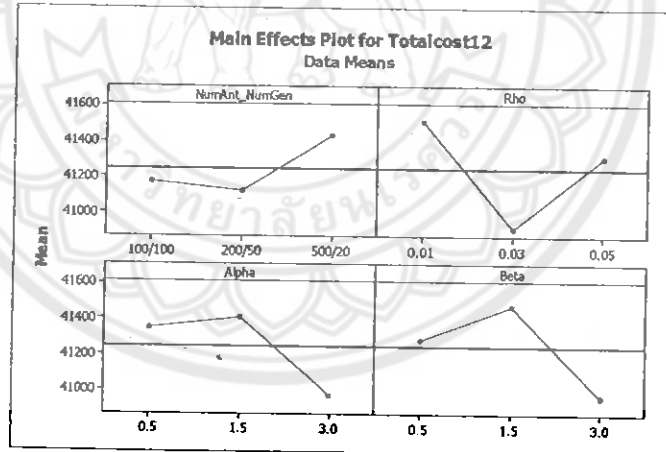
จากรูปที่ 4.69 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของอัตราการระเหย ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 27.87 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 27.87 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.70



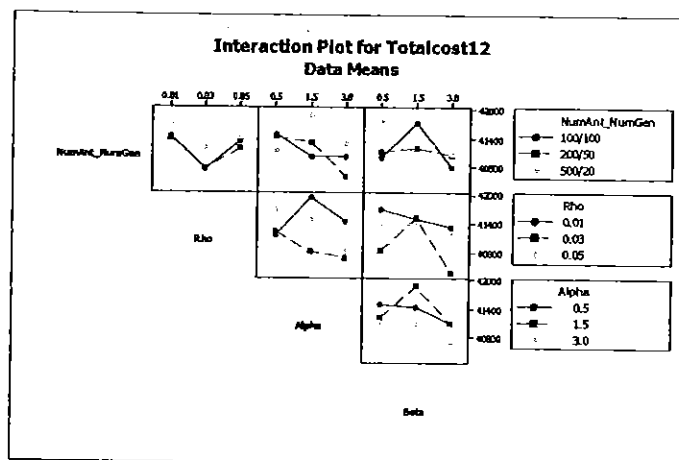
รูปที่ 4.70 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.70 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 12 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากกรทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.71



รูปที่ 4.71 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.71 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของอัตราการระเหย ส่งผลกระทบทต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.72



รูปที่ 4.72 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.72 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 ฟีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.25 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 37,604.02 บาท

4.9.3 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)  
 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.73

General Linear Model: TotalCost13 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta							
Factor	Type	Levels	Values				
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20				
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05				
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				

Analysis of Variance for TotalCost13, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
NumAnt_NumGen	2	1650539	1650539	825269	0.48	0.622	
Rho	2	7759082	7759082	3879541	2.23	0.109	
Alpha	2	16008858	16008858	8004429	4.61	0.011	
Beta	2	8103462	8103462	4051731	2.33	0.099	
NumAnt_NumGen*Rho	4	6086902	6086902	1521726	0.88	0.478	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	8707305	8707305	2176826	1.25	0.288	
NumAnt_NumGen*Beta	4	19394191	19394191	4848548	2.79	0.026	
Rho*Alpha	4	6787608	6787608	1696902	0.98	0.420	
Rho*Beta	4	7651610	7651610	1912903	1.10	0.356	
Alpha*Beta	4	787977	787977	196994	0.11	0.978	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	4755155	4755155	594394	0.34	0.949	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	6622582	6622582	827823	0.48	0.873	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	21151393	21151393	2643924	1.52	0.148	
Rho*Alpha*Beta	8	7764249	7764249	970531	0.56	0.611	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	22142291	22142291	1383893	0.80	0.689	
Error	324	562779370	562779370	1736973			
Total	404	708152574					

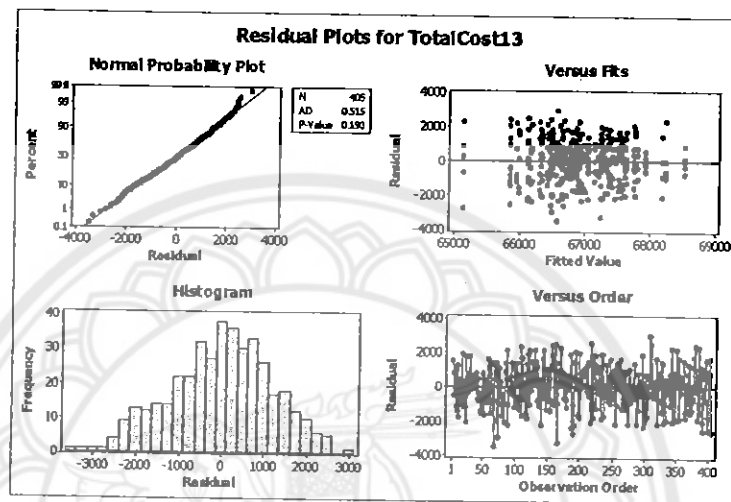
S = 1317.94    R-Sq = 20.53%    R-Sq(adj) = 0.91%

รูปที่ 4.73 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)



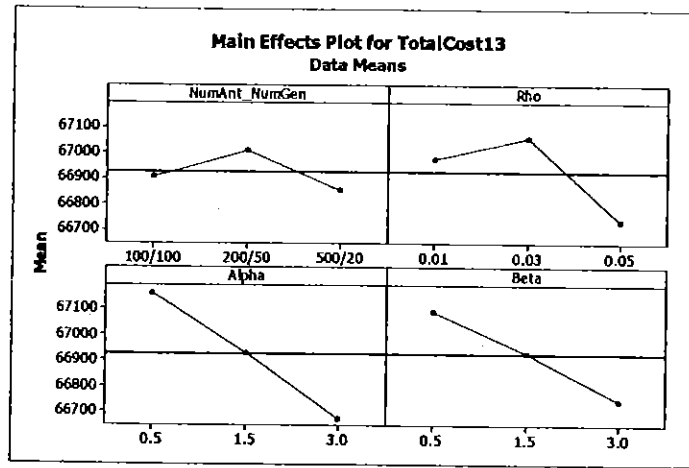
จากรูปที่ 4.73 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ จำนวนรอบ/จำนวนมดกับเบต้า พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 20.53 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 20.53 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.74



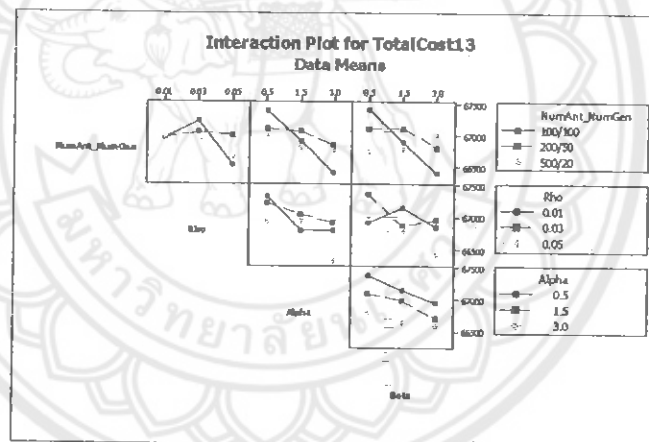
รูปที่ 4.74 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเข้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.74 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 13 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.75



รูปที่ 4.75 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมลด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.75 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.76



รูปที่ 4.76 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอาณานิคมลด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.76 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่า สอดคล้องกับตารางที่ 4.26 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 65,132.57 บาท

4.9.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.77

General Linear Model: Total Cost14 versus NumAnt_NumGe, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for Total Cost14, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	51304342	51304342	25652171	1.55	
Rho	2	16584502	16584502	8292251	0.50	
Alpha	2	57474820	57474820	28737410	1.73	
Beta	2	57590880	57590880	28795440	1.74	
NumAnt_NumGen*Rho	4	62412890	62412890	15603223	0.94	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	49115767	49115767	12278942	0.74	
NumAnt_NumGen*Beta	4	16944394	16944394	4236098	0.26	
Rho*Alpha	4	71631635	71631635	17907909	1.08	
Rho*Beta	4	27274960	27274960	6818740	0.41	
Alpha*Beta	4	63102627	63102627	15775657	0.95	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	279742478	279742478	34967810	2.11	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	151670318	151670318	18958790	1.14	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	151494996	151494996	18936874	1.14	
Rho*Alpha*Beta	8	184405722	184405722	23050715	1.39	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	227958644	227958644	14247415	0.86	
Error	324	5377162269	5377162269	16596180		
Total	404	6845871242				

Source	p
NumAnt_NumGen	0.215
Rho	0.607
Alpha	0.179
Beta	0.178
NumAnt_NumGen*Rho	0.441
NumAnt_NumGen*Alpha	0.565
NumAnt_NumGen*Beta	0.906
Rho*Alpha	0.367
Rho*Beta	0.901
Alpha*Beta	0.435
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.035
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.334
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.335
Rho*Alpha*Beta	0.200
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.618
Error	
Total	

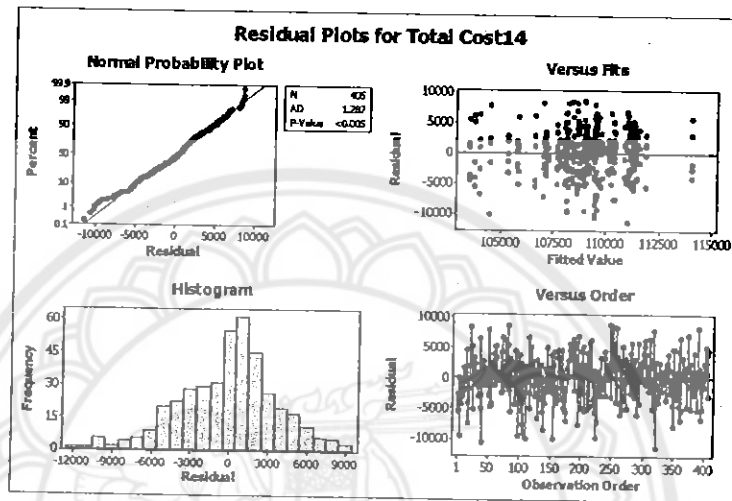
S = 4073.84    R-Sq = 21.45%    R-Sq(adj) = 2.06%

รูปที่ 4.77 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมต

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

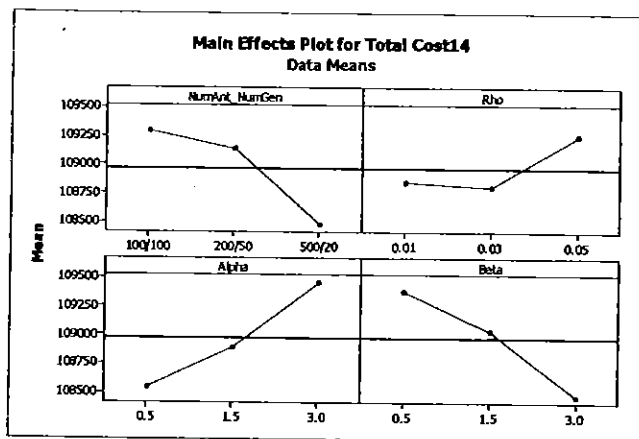
จากรูปที่ 4.77 จะพบว่า จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักและไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 21.45 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 21.45 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.78



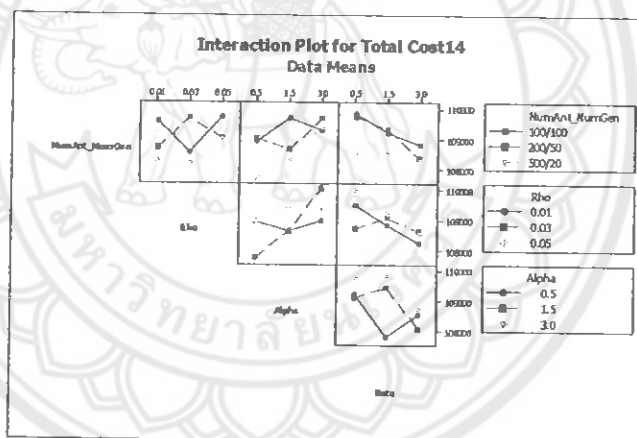
รูปที่ 4.78 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.78 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 14 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่า ข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.79



รูปที่ 4.79 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.79 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลัก และไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.80



รูปที่ 4.80 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.80 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 ที่โรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 0.5 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.27 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 103,551.72 บาท

4.9.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.81

General Linear Model: TotalCost15 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100//100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost15, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	15627549	15627549	7813774	1.49	
Rho	2	6432456	6432456	3216228	0.61	
Alpha	2	35154918	35154918	17577459	3.34	
Beta	2	3023695	3023695	1511848	0.29	
NumAnt_NumGen*Rho	4	36254496	36254496	9063624	1.72	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	11574983	11574983	2893746	0.55	
NumAnt_NumGen*Beta	4	24736987	24736987	6184247	1.18	
Rho*Alpha	4	20498972	20498972	5124743	0.98	
Rho*Beta	4	18243289	18243289	4560822	0.87	
Alpha*Beta	4	6353251	6353251	1588313	0.30	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	28553083	28553083	3569135	0.68	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	49119420	49119420	6139927	1.17	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	43906295	43906295	5488287	1.04	
Rho*Alpha*Beta	8	35199787	35199787	4399973	0.84	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	102999058	102999058	6437441	1.22	
Error	324	1702989269	1702989269	5256140		
Total	408	2140767508				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.228
Rho	0.543
Alpha	0.037
Beta	0.750
NumAnt_NumGen*Rho	0.144
NumAnt_NumGen*Alpha	0.699
NumAnt_NumGen*Beta	0.321
Rho*Alpha	0.421
Rho*Beta	0.481
Alpha*Beta	0.876
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.710
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.318
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.403
Rho*Alpha*Beta	0.570
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.247
Error	
Total	

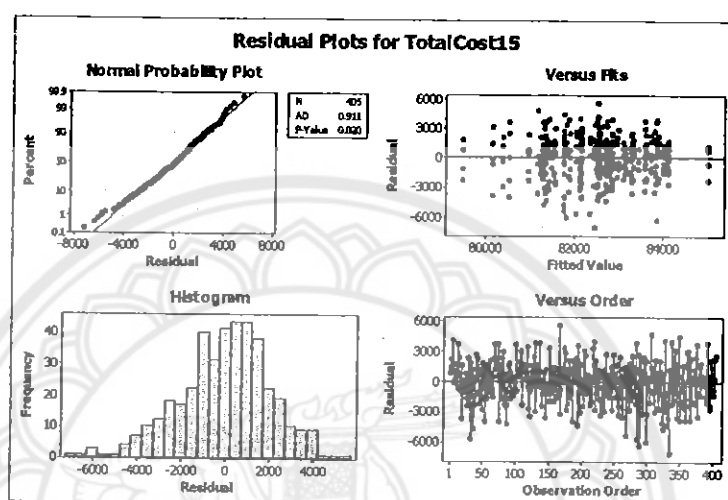
S = 2292.63    R-Sq = 20.45%    R-Sq(adj) = 0.91%

รูปที่ 4.81 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

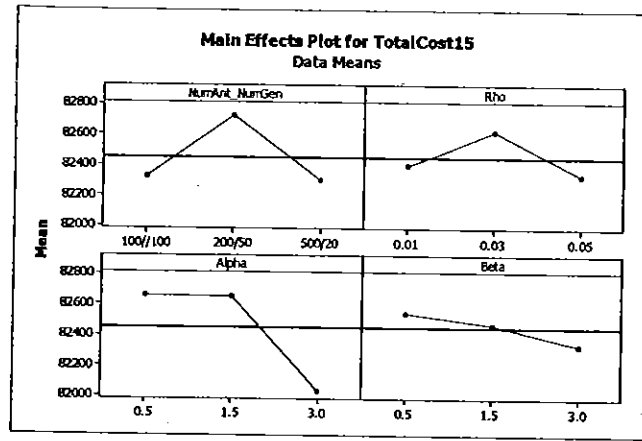
จากรูปที่ 4.81 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 20.45 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 20.45 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.82



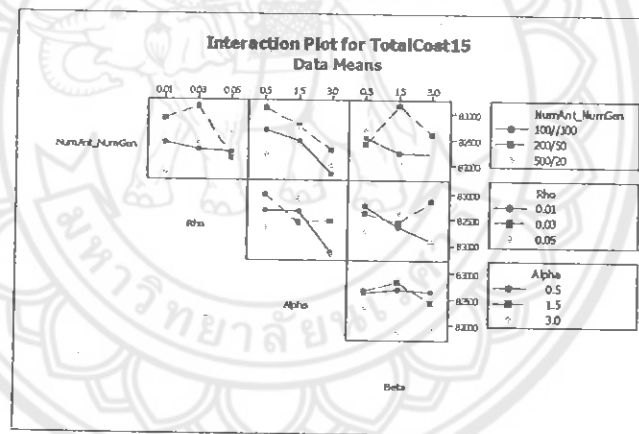
รูปที่ 4.82 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.82 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 15 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.83



รูปที่ 4.83 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.83 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.84



รูปที่ 4.84 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.84 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.01 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.28 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 79,451.54 บาท



4.9.6 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.85

General Linear Model: TotalCost16 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost16, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	177558484	177558484	88779242	4.20	
Rho	2	39530675	39530675	19765337	0.94	
Alpha	2	937069218	937069218	468534609	22.19	
Beta	2	16128223	16128223	8064111	0.38	
NumAnt_NumGen*Rho	4	42909930	42909930	10727482	0.51	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	64722437	64722437	16180609	0.77	
NumAnt_NumGen*Beta	4	57360368	57360368	14340092	0.68	
Rho*Alpha	4	16121693	16121693	4030423	0.19	
Rho*Beta	4	36336671	36336671	9084168	0.43	
Alpha*Beta	4	119287723	119287723	29821931	1.41	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	221849040	221849040	27731130	1.31	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	104125369	104125369	13015671	0.62	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	209934774	209934774	26241847	1.24	
Rho*Alpha*Beta	8	139202144	139202144	17400268	0.82	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	328819674	328819674	20551230	0.97	
Error	324	6841577505	6841577505	21115980		
Total	404	9352533925				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.016
Rho	0.393
Alpha	0.000
Beta	0.683
NumAnt_NumGen*Rho	0.730
NumAnt_NumGen*Alpha	0.548
NumAnt_NumGen*Beta	0.607
Rho*Alpha	0.943
Rho*Beta	0.787
Alpha*Beta	0.230
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.236
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.764
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.273
Rho*Alpha*Beta	0.582
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.486
Error	
Total	

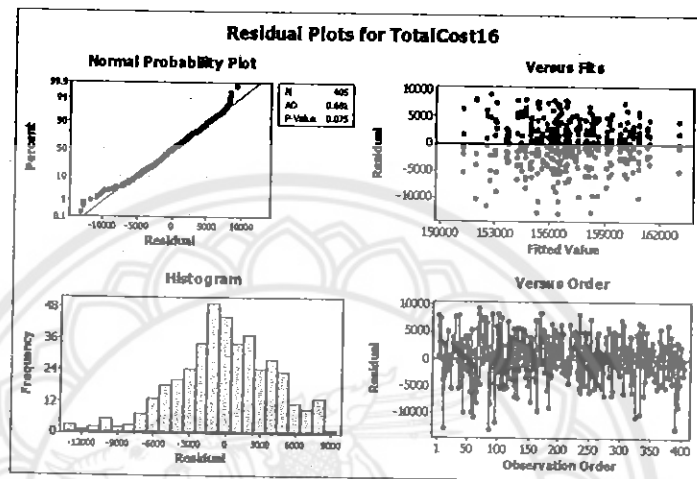
S = 4595.21    R-Sq = 26.85%    R-Sq(adj) = 8.79%

รูปที่ 4.85 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

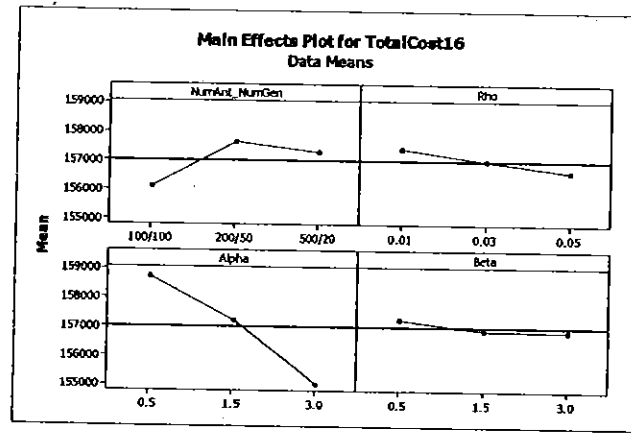
จากรูปที่ 4.85 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของจำนวนมด/จำนวนรอบ และ แอลฟา ส่งผลกระทบตามลำดับ

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 26.85 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 26.85 และมีการแสดงกราฟ การวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.86



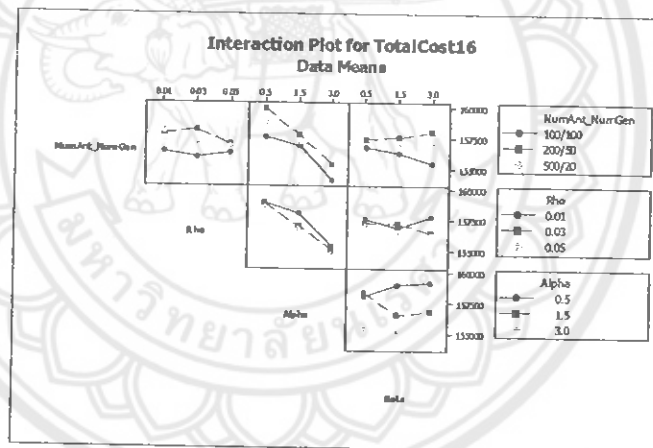
รูปที่ 4.86 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.86 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 16 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.87



รูปที่ 4.87 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.87 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของจำนวนมด/จำนวนรอบ และแอลฟา ส่งผลกระทบตามลำดับ และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.88



รูปที่ 4.88 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.88 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 ฟีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 3 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.29 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 151,241.94 บาท

4.9.7 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.89

General Linear Model: TotolCost 21 versus NumAnt_NumGe, Rho, Alpha, Beta							
Factor	Type	Levels	Values				
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20				
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05				
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				

Analysis of Variance for TotolCost 21, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
NumAnt_NumGen	2	428139	428139	214070	0.20	0.819	
Rho	2	127593	127593	63796	0.06	0.942	
Alpha	2	24207446	24207446	12103723	11.26	0.000	
Beta	2	1777620	1777620	888810	0.83	0.438	
NumAnt_NumGen*Rho	4	2216945	2216945	554236	0.52	0.724	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	1020364	1020364	255091	0.24	0.917	
NumAnt_NumGen*Beta	4	9816726	9816726	2454181	2.29	0.060	
Rho*Alpha	4	2388477	2388477	597119	0.56	0.695	
Rho*Beta	4	4157522	4157522	1039380	0.97	0.426	
Alpha*Beta	4	1608457	1608457	402114	0.37	0.827	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	3794656	3794656	474332	0.44	0.896	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	5329781	5329781	666223	0.62	0.761	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	1957327	1957327	244666	0.23	0.986	
Rho*Alpha*Beta	8	8685089	8685089	1085636	1.01	0.428	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	35355483	35355483	2209718	2.06	0.010	
Error	324	348128942	348128942	1074472			
Total	404	451000568					

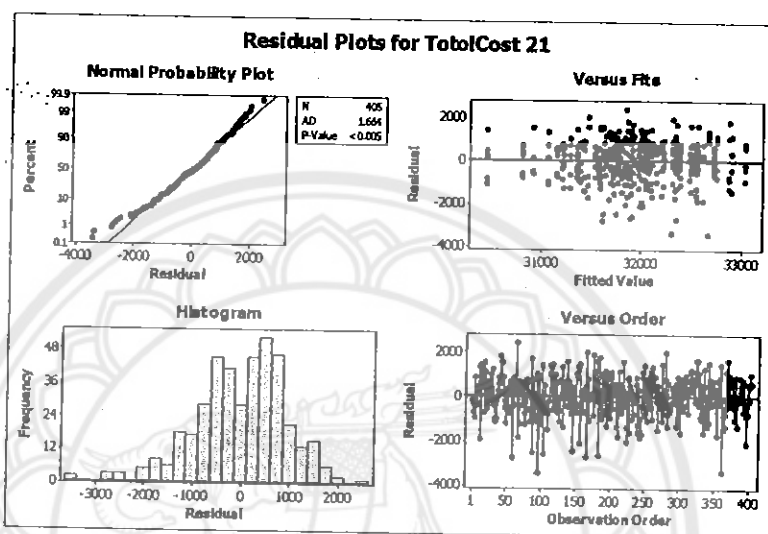
S = 1036.57    R-Sq = 22.81%    R-Sq(adj) = 3.75%

รูปที่ 4.89 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

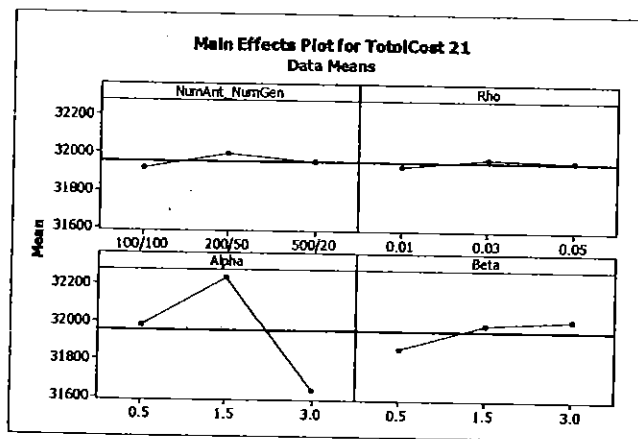
จากรูปที่ 4.89 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 22.81 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 22.81 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.90



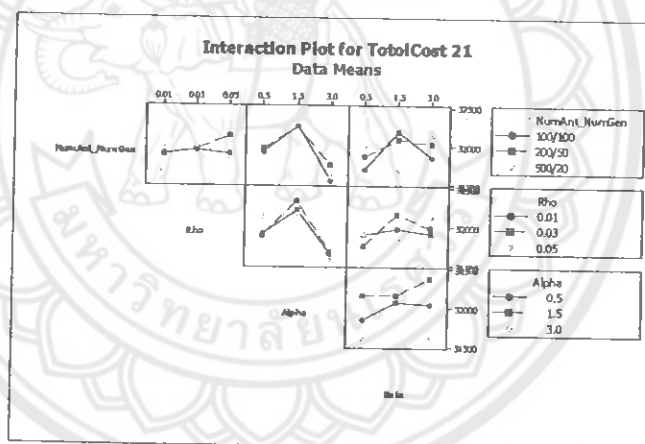
รูปที่ 4.90 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 1 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.90 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 21 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.91



รูปที่ 4.91 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.91 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.92



รูปที่ 4.92 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.92 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.01 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.30 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 30,445.22 บาท

4.9.8 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.93

General Linear Model: TotalCost22 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta							
Factor	Type	Levels	Values				
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20				
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05				
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				

Analysis of Variance for TotalCost22, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
NumAnt_NumGen	2	10176151	10176151	5088076	1.61	0.201	
Rho	2	662042	662042	331021	0.10	0.900	
Alpha	2	8770919	8770919	4385460	1.39	0.251	
Beta	2	389146	389146	194573	0.06	0.940	
NumAnt_NumGen*Rho	4	2602320	2602320	650580	0.21	0.935	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	8434126	8434126	2108531	0.67	0.614	
NumAnt_NumGen*Beta	4	6238365	6238365	1559591	0.49	0.740	
Rho*Alpha	4	14987641	14987641	3746910	1.19	0.316	
Rho*Beta	4	7261383	7261383	1815346	0.58	0.681	
Alpha*Beta	4	5154214	5154214	1288553	0.41	0.903	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	7627883	7627883	953485	0.30	0.965	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	59548623	59548623	7443578	2.36	0.018	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	9365849	9365849	1170731	0.37	0.936	
Rho*Alpha*Beta	8	18393142	18393142	2299143	0.73	0.666	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	73974497	73974497	4623406	1.47	0.111	
Error	324	1022462540	1022462540	3155749			
Total	404	1256048843					

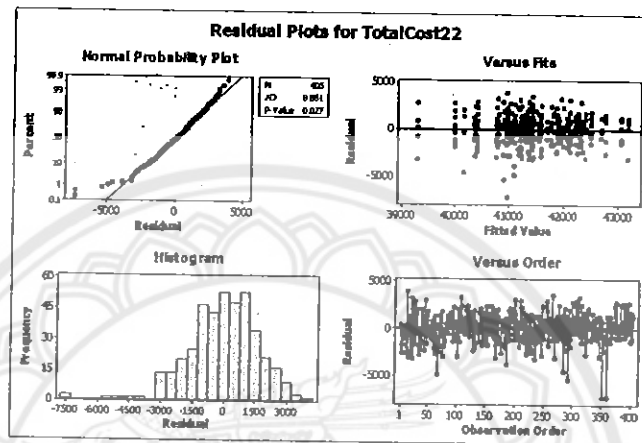
S = 1776.44    R-Sq = 18.60%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.93 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

จากรูปที่ 4.93 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักและไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

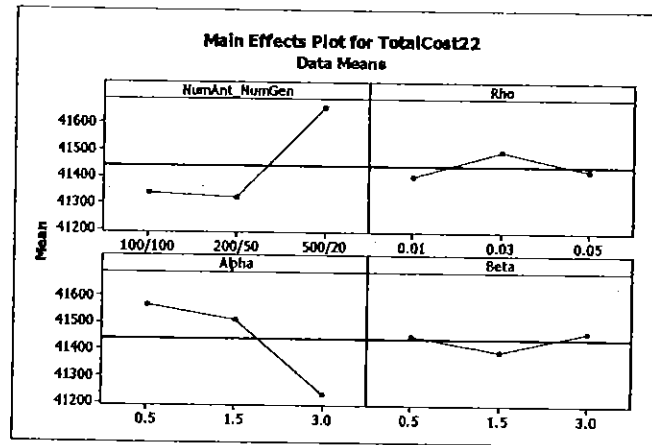
เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วมที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 18.60 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 18.60 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.94



รูปที่ 4.94 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 2 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

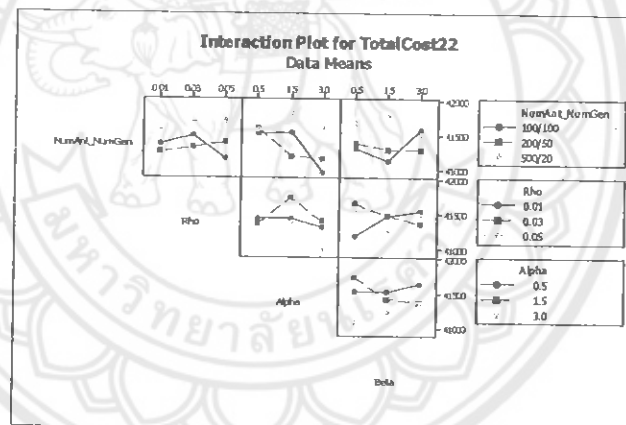
จากรูปที่ 4.94 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 22 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.95





รูปที่ 4.95 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค 2)

จากรูปที่ 4.95 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลัก และไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.96



รูปที่ 4.96 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค 2)

จากรูปที่ 4.96 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.31 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 39,268.44 บาท

4.9.9 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.97

General Linear Model: TotalCost23 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta							
Factor	Type	Levels	Values				
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20				
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05				
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0				

Analysis of Variance for TotalCost23, using Adjusted SS for Tests							
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P	
NumAnt_NumGen	2	12787511	12787511	6393755	2.80	0.062	
Rho	2	1961082	1961082	980541	0.43	0.651	
Alpha	2	4848255	4848255	2424128	1.06	0.347	
Beta	2	1131307	1131307	565653	0.25	0.781	
NumAnt_NumGen*Rho	4	4271113	4271113	1067778	0.47	0.760	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	17782784	17782784	4445696	1.95	0.103	
NumAnt_NumGen*Beta	4	1714242	1714242	428561	0.19	0.945	
Rho*Alpha	4	6358810	6358810	1589703	0.70	0.595	
Rho*Beta	4	4103492	4103492	1025873	0.45	0.773	
Alpha*Beta	4	3927611	3927611	981903	0.43	0.787	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	3604568	3604568	450571	0.20	0.991	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	23165126	23165126	2895641	1.27	0.260	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	3958513	3958513	494814	0.22	0.998	
Rho*Alpha*Beta	8	16198352	16198352	2024794	0.89	0.528	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	57348631	57348631	3584289	1.57	0.075	
Error	324	740305540	740305540	2284894			
Total	404	903466936					

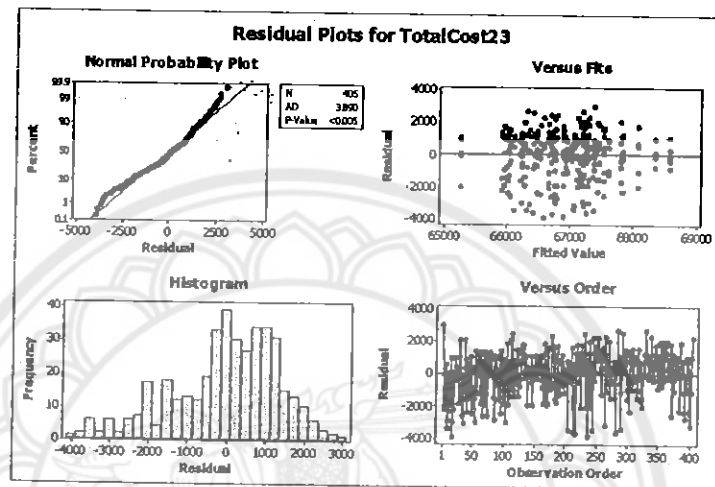
S = 1511.59    R-Sq = 18.06%    R-Sq(adj) = 0.00%

รูปที่ 4.97 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

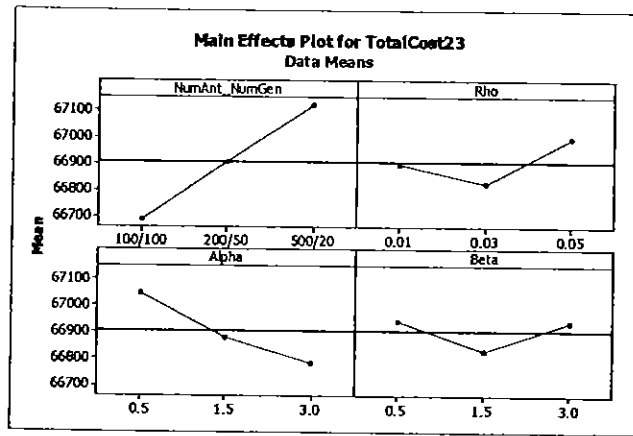
จากรูปที่ 4.97 จะพบว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลัก และไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 18.06 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 18.06 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.98



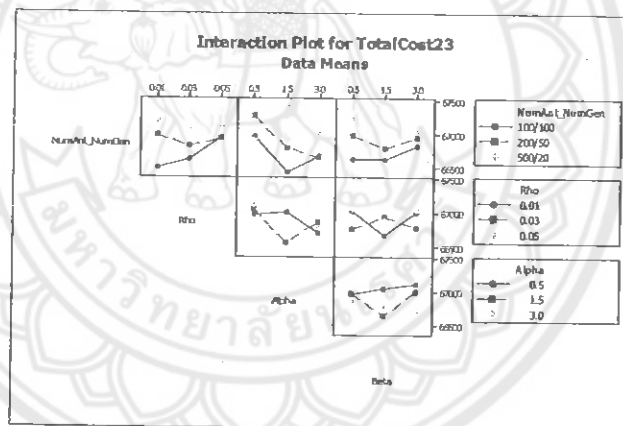
รูปที่ 4.98 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดเล็ก 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.98 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 13 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.99



รูปที่ 4.99 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 499 จะเห็นว่า ไม่มีการเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลัก และไม่มีผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.100



รูปที่ 4.100 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.100 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.03 แอลฟาที่ 1.5 และเบต้าที่ 0.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.32 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 65,236.64 บาท

4.9.10 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.101

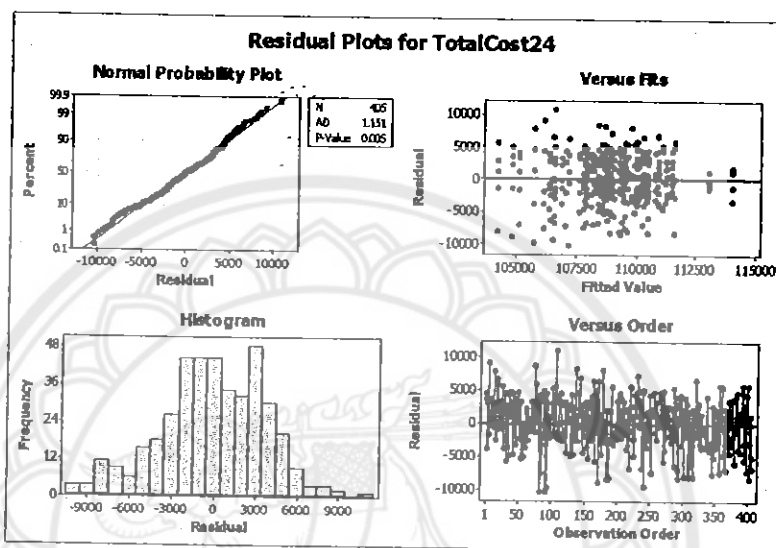
General Linear Model: TotalCost24 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Analysis of Variance for TotalCost24, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	119730003	119730003	59865001	3.50	
Rho	2	721710	721710	360855	0.02	
Alpha	2	13116420	13116420	6558210	0.38	
Beta	2	15127501	15127501	7563750	0.44	
NumAnt_NumGen*Rho	4	76582302	76582302	19145575	1.12	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	116426479	116426479	29106620	1.70	
NumAnt_NumGen*Beta	4	88035685	88035685	22008921	1.29	
Rho*Alpha	4	67924815	67924815	16981204	0.99	
Rho*Beta	4	139507210	139507210	34876802	2.04	
Alpha*Beta	4	25476958	25476958	6369240	0.37	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	92903433	92903433	11612929	0.68	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	73323498	73323498	9165437	0.54	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	87748055	87748055	10968507	0.64	
Rho*Alpha*Beta	8	75641609	75641609	9455201	0.55	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	370271435	370271435	23141965	1.35	
Error	324	5538276840	5538276840	17093447		
Total	404	6900813953				
Source	P					
NumAnt_NumGen	0.031					
Rho	0.979					
Alpha	0.682					
Beta	0.643					
NumAnt_NumGen*Rho	0.347					
NumAnt_NumGen*Alpha	0.149					
NumAnt_NumGen*Beta	0.275					
Rho*Alpha	0.411					
Rho*Beta	0.089					
Alpha*Beta	0.828					
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.710					
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.829					
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.742					
Rho*Alpha*Beta	0.816					
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.163					
Error						
Total						
S = 4134.42 R-Sq = 19.74% R-Sq(adj) = 0.00%						

รูปที่ 4.101 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

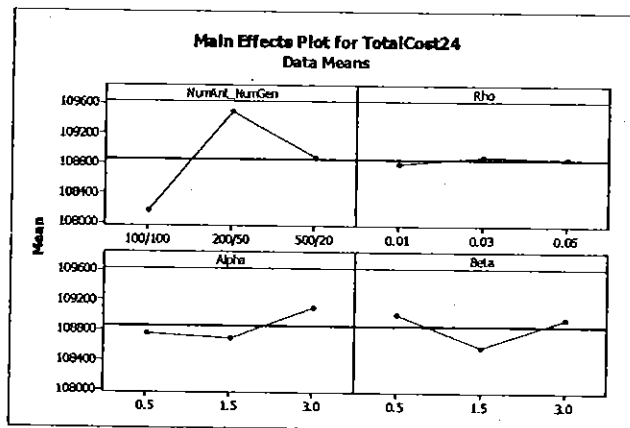
จากรูปที่ 4.101 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ จำนวนมด/จำนวนรอบ ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 19.74 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 19.74 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.102



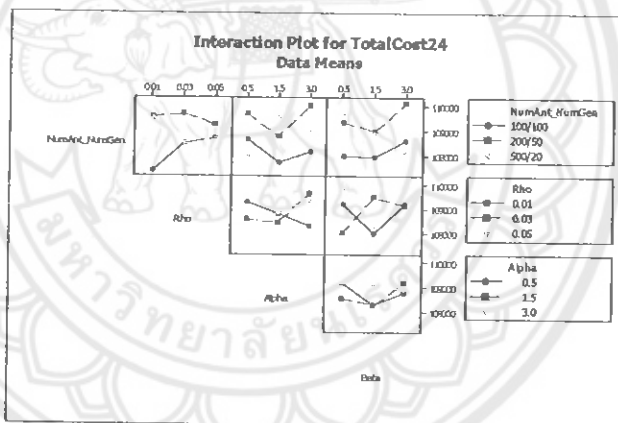
รูปที่ 4.102 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 1 โดยการปรับค่าที่โรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.102 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 24 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.103



รูปที่ 4.103 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.103 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ จำนวนมด/จำนวนรอบส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.104



รูปที่ 4.104 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.104 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 ฟีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของฟีโรโมนที่ 0.01 แอลฟาที่ 1.5 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.33 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าคือ 104,247.12 บาท

4.9.11 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.105

General Linear Model: TotalCost25 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost25, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	4768512	4769512	2384256	0.46	
Rho	2	10249230	10249230	5124615	0.99	
Alpha	2	45467161	45467161	22733580	4.41	
Beta	2	18549067	18549067	9274533	1.80	
NumAnt_NumGen*Rho	4	14993961	14993961	3748490	0.73	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	23732839	23732839	5933210	1.15	
NumAnt_NumGen*Beta	4	5401396	5401396	1350349	0.26	
Rho*Alpha	4	22500004	22500004	5625001	1.09	
Rho*Beta	4	9097122	9097122	2274280	0.44	
Alpha*Beta	4	14925088	14925088	3731272	0.72	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	25761379	25761379	3220172	0.62	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	55524539	55524539	6940567	1.35	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	30151209	30151209	3768901	0.73	
Rho*Alpha*Beta	8	39324695	39324695	4915587	0.95	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	52284861	52284861	3267804	0.63	
Error	324	1671034925	1671034925	5157515		
Total	404	2043765985				

Source	P
NumAnt_NumGen	0.630
Rho	0.371
Alpha	0.013
Beta	0.167
NumAnt_NumGen*Rho	0.574
NumAnt_NumGen*Alpha	0.333
NumAnt_NumGen*Beta	0.902
Rho*Alpha	0.361
Rho*Beta	0.779
Alpha*Beta	0.576
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.757
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.220
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.664
Rho*Alpha*Beta	0.473
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.956
Error	
Total	

S = 2271.02    R-Sq = 19.24%    R-Sq(adj) = 0.00%

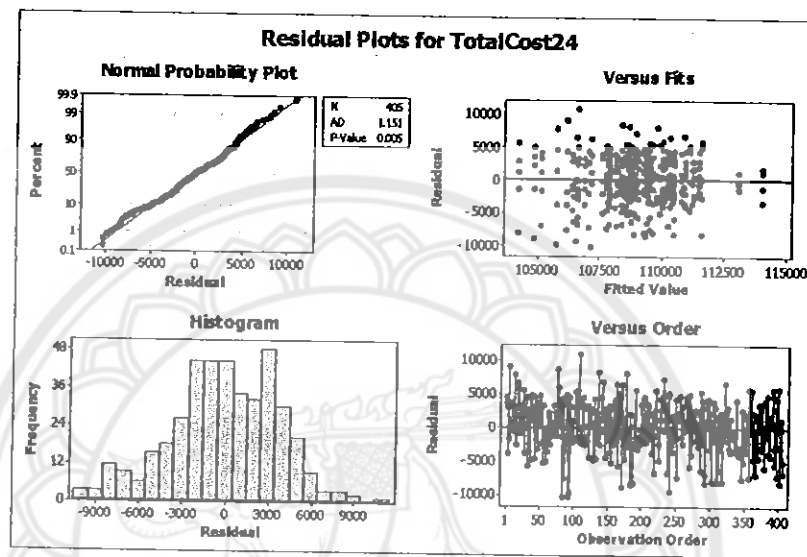
รูปที่ 4.105 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)



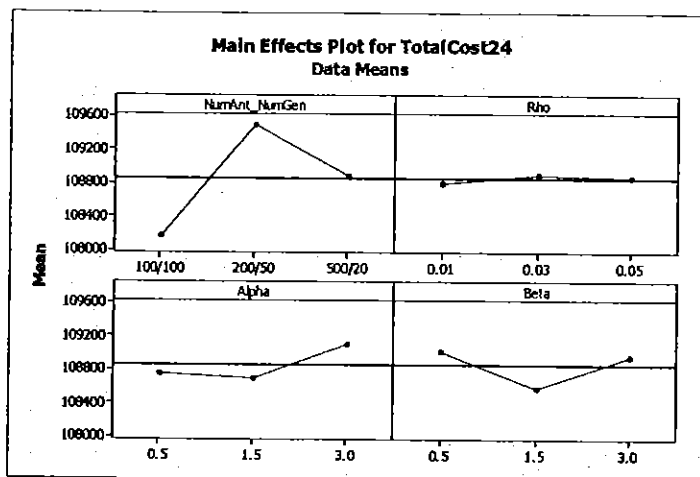
จากรูปที่ 4.105 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักไม่สามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายได้อย่างชัดเจน พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 18.24 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 18.24 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.106



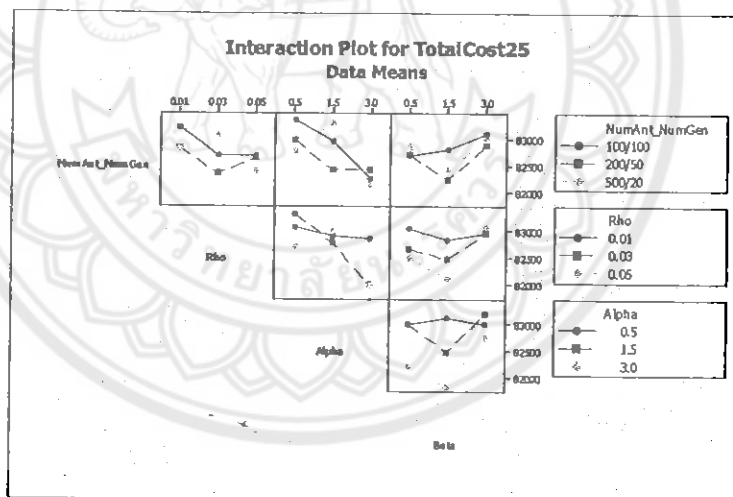
รูปที่ 4.106 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 2 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.106 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 25 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.107



รูปที่ 4.107 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.107 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.108



รูปที่ 4.108 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.108 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 500/20 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.05 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าสอดคล้องกับตารางที่ 4.34 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 80,097.34 บาท

4.9.12 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด  
โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหา ดังรูปที่ 4.109

General Linear Model: TotalCost26 versus NumAnt_NumGen, Rho, Alpha, Beta						
Factor	Type	Levels	Values			
NumAnt_NumGen	fixed	3	100/100, 200/50, 500/20			
Rho	fixed	3	0.01, 0.03, 0.05			
Alpha	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			
Beta	fixed	3	0.5, 1.5, 3.0			

Analysis of Variance for TotalCost26, using Adjusted SS for Tests						
Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	
NumAnt_NumGen	2	74548090	74548090	37274045	1.69	
Rho	2	23344355	23344355	11672177	0.53	
Alpha	2	592634635	592634635	296317318	13.47	
Beta	2	22089865	22089865	11044932	0.50	
NumAnt_NumGen*Rho	4	15343164	15343164	3835791	0.17	
NumAnt_NumGen*Alpha	4	230508535	230508535	57627134	2.62	
NumAnt_NumGen*Beta	4	10461685	10461685	2615421	0.12	
Rho*Alpha	4	42820378	42820378	10705095	0.49	
Rho*Beta	4	177885137	177885137	44471284	2.02	
Alpha*Beta	4	31806668	31806668	7951667	0.36	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	8	32300414	32300414	4037552	0.18	
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	8	330405632	330405632	41300704	1.98	
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	8	80742513	80742513	10092814	0.46	
Rho*Alpha*Beta	8	196971656	196971656	24621457	1.12	
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	16	324133635	324133635	20259352	0.92	
Error	324	7127857290	7127857290	21999560		
Total	404	9313853652				

Source	p
NumAnt_NumGen	0.135
Rho	0.589
Alpha	0.000
Beta	0.606
NumAnt_NumGen*Rho	0.951
NumAnt_NumGen*Alpha	0.035
NumAnt_NumGen*Beta	0.976
Rho*Alpha	0.746
Rho*Beta	0.091
Alpha*Beta	0.836
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha	0.993
NumAnt_NumGen*Rho*Beta	0.063
NumAnt_NumGen*Alpha*Beta	0.995
Rho*Alpha*Beta	0.350
NumAnt_NumGen*Rho*Alpha*Beta	0.545
Error	
Total	

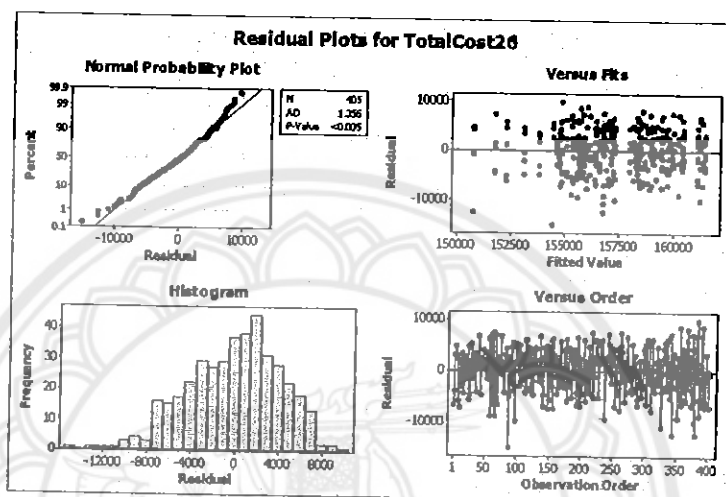
S = 4690.37    R-Sq = 23.47%    R-Sq(adj) = 4.57%

รูปที่ 4.109 แสดง ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด

โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์แบบที่ 2)

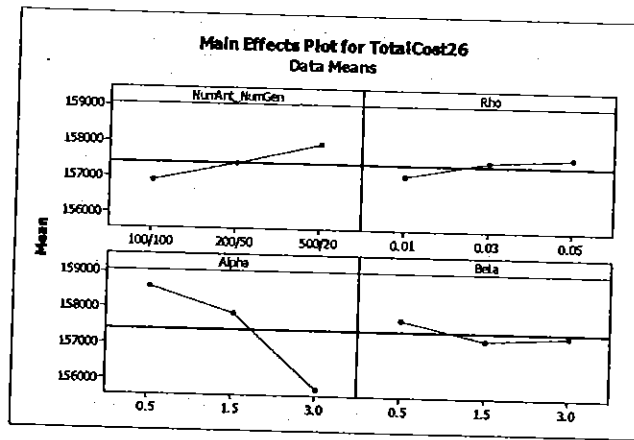
จากรูปที่ 4.109 จะพบว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของ แอลฟา ส่งผลกระทบท่อค่าใช้จ่าย

เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลักสามารถหาปัจจัยร่วม ที่ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่ายมากที่สุด คือ จำนวนรอบ/จำนวนมดกับแอลฟา พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 23.47 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบาย การเปลี่ยนแปลงของค่าใช้จ่ายได้เพียงร้อยละ 23.47 และมีการแสดงกราฟการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ดังรูปที่ 4.110



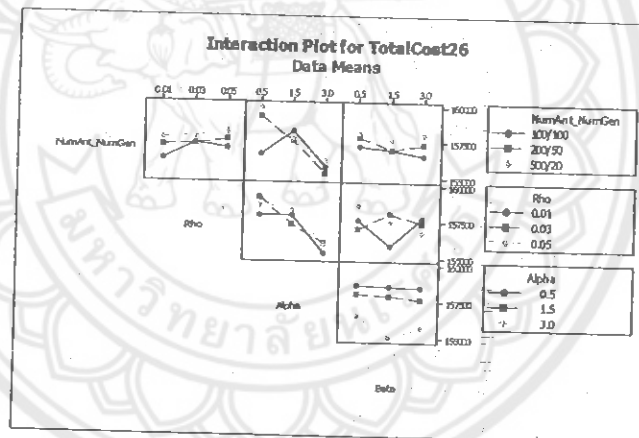
รูปที่ 4.110 แสดงการวิเคราะห์ Residual Plots for Total Cost ของปัญหาขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.110 จะพบว่า กราฟ Residual Plots for Total Cost 26 แสดงกราฟ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง และกราฟของ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลองเป็นไปตามเงื่อนไขในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) จะมีค่า Main effect ดังรูปที่ 4.111



รูปที่ 4.111 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.111 จะเห็นว่า การเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักของแอลฟา ส่งผลกระทบต่อค่าใช้จ่าย และมีการแสดงค่า Interaction Plot ดังรูปที่ 4.112



รูปที่ 4.112 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 3 ด้วยวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จากรูปที่ 4.112 ควรกำหนดจำนวนมด/จำนวนรอบที่ 100/100 พีโรโมนเริ่มต้นที่ 1 อัตราการระเหยของพีโรโมนที่ 0.01 แอลฟาที่ 3 และเบต้าที่ 1.5 จะได้ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยที่น้อยที่สุด จะเห็นได้ว่าไม่สอดคล้องกับตารางที่ 4.35 ซึ่งค่าใช้จ่ายเฉลี่ยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้า คือ 150,787.02 บาท

#### 4.10 การแสดงผลลัพธ์และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย

ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมและค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม โดยมีการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม โดยฟังก์ชัน เป้าประสงค์ 1 แสดงดังตารางที่ 4.42 และ 4.43

ตารางที่ 4.42 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมดแบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1

ลักษณะของปัญหา	ค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่	การปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม
เล็ก 1	49,907.85	55,881.68
เล็ก 2	265,703.58	296,249.81
เล็ก 3	84,804.39	84,126.77
กลาง 1	191,418	162,217.27
กลาง 2	162,091.68	145,412.40
กลาง 3	336,486.94	342,541.67
ใหญ่ 1	512,822.75	510,507.03
ใหญ่ 2	1,219,206.40	1,286,597.55
ใหญ่ 3	821,783.24	813,819.76

จากตารางที่ 4.42 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม จะพบว่าในปัญหาขนาดเล็ก การปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม และปัญหาขนาดกลาง จะพบว่า การปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่

ตารางที่ 4.43 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมด  
แบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ และแบบการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าพีโรโมนแบบ ระทางคู่	การปรับค่าพีโรโมนแบบ ระทางรวม
เล็ก 1	59,319.48	62,868.03
เล็ก 2	357,715.08	370,033.26
เล็ก 3	104,090.10	105,156.46
กลาง 1	213,296.25	207,345.15
กลาง 2	189,661.35	182,381.21
กลาง 3	424,973.44	407,285.43
ใหญ่ 1	541,256.43	552,199.16
ใหญ่ 2	1,390,016.81	1,389,074.59
ใหญ่ 3	939,905.75	888,850.75

จากตารางที่ 4.43 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดของวิธีอานานิคมมด โดยการปรับ  
ค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ และการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางรวม ในปัญหาขนาดเล็ก จะพบว่า  
การปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทาง  
รวม และในปัญหาขนาดกลาง จะเห็นได้ว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางรวม จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำ  
ที่สุดดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่

ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น โดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 มีการเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4.44

ตารางที่ 4.44 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น โดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)				
	ACO	PSO	SA	GA	ILS
เล็ก 1	59,319.48	82,939.41	33,663.68	46,707.48	38,301.19
เล็ก 2	357,715.08	449,946.43	131,032.86	212,414.86	165,503.53
เล็ก 3	104,090.10	121,629.01	68,723.33	81,741.27	74,013.37
กลาง 1	207,345.15	203,993.38	99,552.46	167,920.85	116,418.31
กลาง 2	182,381.21	203,993.38	73,783.57	112,312.65	92,442.33
กลาง 3	407,285.43	452,518.33	149,446.81	248,122	172,734.98
ใหญ่ 1	541,256.43	586,668.76	315,824.24	490,773.35	334,195.52
ใหญ่ 2	1,389,074.59	1,473,973.24	576,620.65	1,166,700.6	671,707.16
ใหญ่ 3	888,850.75	999,420.39	404,478.61	662,231.9	433,897.46

จากตารางที่ 4.44 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้วิธี SA จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีอื่นกับปัญหาทุกขนาด

ผลลัพธ์ของค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมและค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม โดยมีการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม โดยฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 แสดงดังตารางที่ 4.45 และ 4.46

ตารางที่ 4.45 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอาณานิคมมดแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวมแบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางคู่	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางรวม
เล็ก 1	28,870.17	28,788.65
เล็ก 2	34,237.61	33,642.99
เล็ก 3	62,321.64	62,676.92



ตารางที่ 4.45 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมดแบบการปรับ  
ค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวมแบบ  
ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางคู่	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางรวม
กลาง 1	94,339.23	95,796.67
กลาง 2	75,308.14	70,470.15
กลาง 3	104,709.85	138,293.96
ใหญ่ 1	329,113.77	335,310.65
ใหญ่ 2	423,618.06	425,997.17
ใหญ่ 3	370,300.87	373,790.68

จากตารางที่ 4.45 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดของวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าฟีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ และการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม จะพบว่าในปัญหาขนาดเล็ก จะพบว่า  
การปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าฟีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ และปัญหาขนาดกลาง จะพบว่าการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางรวม  
จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ ปัญหาขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.46 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมด  
แบบการปรับค่าฟีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าฟีโรโมน  
แบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางคู่	การปรับค่าฟีโรโมนแบบ ระยะทางรวม
เล็ก 1	30,644.37	30,445.22
เล็ก 2	37,604.02	39,268.44
เล็ก 3	65,132.57	65,223.64
กลาง 1	103,551.72	104,247.12
กลาง 2	79,451.54	80,097.34
กลาง 3	151,241.94	150,787.02
ใหญ่ 1	353,222.80	352,549.18

ตารางที่ 4.46 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมต  
แบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ และแบบการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	
	การปรับค่าพีโรโมนแบบ ระทางคู่	การปรับค่าพีโรโมนแบบ ระทางรวม
ใหญ่ 2	457,695.52	457,277.62
ใหญ่ 3	383,293.66	392,610.80

จากตารางที่ 4.46 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำที่สุดของวิธีอานานิคมมต โดยการปรับ  
ค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ และการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางรวม ในปัญหาขนาดเล็ก จะพบว่า  
การปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุดดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทาง  
รวม และในปัญหาขนาดกลาง จะพบว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางคู่ จะได้ค่าคำตอบที่ต่ำที่สุด  
ดีกว่าการปรับค่าพีโรโมนแบบระทางรวม

ผลลัพธ์ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น โดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2  
มีการเปรียบเทียบ ดังตารางที่ 4.47

ตารางที่ 4.47 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุดที่ได้จากงานวิจัยอื่น  
โดยใช้ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)				
	ACO	PSO	SA	GA	ILS
เล็ก 1	30,445.22	31,805.05	28,423.36	24,234.37	25,531.55
เล็ก 2	37,604.02	40,941.35	31,246.72	35,493.22	26,141.67
เล็ก 3	65,132.57	67,209.14	63,399.25	56,169.51	58,289.76
กลาง 1	103,551.72	105,144.94	91,761.15	62,475.62	68,522.97
กลาง 2	79,451.54	83,787.68	74,680.05	53,937.91	58,520.60
กลาง 3	150,787.02	163,262.82	143,563.30	97,093.71	102,382.83
ใหญ่ 1	352,549.18	371,638.45	354,556.89	171,728.96	189,243.84
ใหญ่ 2	457,695.52	476,458.17	430,266.97	189,096.76	214,379.76
ใหญ่ 3	383,293.66	458,880.46	433,075.46	256,139.18	270,195.11

จากตารางที่ 4.47 จะเห็นว่า ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้วิธี ILS จะให้ค่าคำตอบที่ดีกว่าวิธีอื่นกับปัญหาทุกขนา

เมื่อนำค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมด แบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าพีโรโมน แบบระยะทางรวม ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 และฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 มาเปรียบเทียบกับกันได้ ดังตารางที่ 4.48

ตารางที่ 4.48 แสดงการเปรียบเทียบค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดที่ได้จากวิธีอานานิคมมด  
แบบการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และแบบการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 และฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม (บาท)			
	การปรับ ค่าพีโรโมนแบบ ระยะทางคู่ แบบที่ 1	การปรับ ค่าพีโรโมนแบบ ระยะทางคู่ แบบที่ 2	การปรับ ค่าพีโรโมนแบบ ระยะทางรวม แบบที่ 1	การปรับ ค่าพีโรโมนแบบ ระยะทางรวม แบบที่ 2
เล็ก 1	49,907.85	28,870.17	55,881.68	28,788.65
เล็ก 2	265,703.58	34,237.61	296,249.81	33,642.99
เล็ก 3	84,804.39	62,321.64	84,126.77	62,676.92
กลาง 1	191,418	94,339.23	162,217.27	95,796.67
กลาง 2	162,091.68	75,308.14	145,412.40	70,470.15
กลาง 3	336,486.94	104,709.85	342,541.67	138,293.96
ใหญ่ 1	541,256.43	353,222.80	552,199.16	352,549.18
ใหญ่ 2	1,390,016.81	457,695.52	1,389,074.59	457,277.62
ใหญ่ 3	939,905.75	383,293.66	888,850.75	392,610.80

จากตารางที่ 4.48 เมื่อพิจารณาค่าใช้จ่ายต่ำที่สุดของวิธีอานานิคมมด โดยการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางรวม แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 จะพบว่าแบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 ให้ค่าคำตอบที่ดีกว่า แบบฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1

#### 4.11 การคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของโปรแกรม

การคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของโปรแกรม ซึ่งในที่นี้ขอแสดงตัวอย่างโดยย่อขนาดกลาง 3 ของการแยกการคิดค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมดของฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1 และฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 ของการปรับค่าพีโรโมนแบบระยะทางคู่ และระยะทางรวม ดังตารางที่ 4.49, 4.50, 4.51 และ 4.52

ตารางที่ 4.49 การคิดค่าใช้จ่ายของโดยย่อขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
1	446,408.63	272.00	4,372.51	427,676.49	14,087.64
2	454,751.86	290.00	4,126.12	431,229.98	19,105.75
3	467,599.70	288.00	4,479.02	453,993.34	8,839.34
4	449,293.17	268.00	4,186.90	434,321.25	10,517.03
5	438,533.32	270.00	4,302.81	420,509.08	13,451.43
6	456,052.35	272.00	4,110.86	439,253.63	12,415.85
7	443,290.35	280.00	3,959.46	422,951.85	16,099.04
8	433,386.50	268.00	4,087.99	418,544.22	10,486.29
9	438,987.10	272.00	4,111.08	421,627.68	12,976.34
10	457,199.34	296.00	4,138.19	440,825.86	11,939.29
11	435,797.47	270.00	4,186.87	419,599.76	11,740.84
12	460,501.14	290.00	4,344.63	444,819.28	11,047.22
13	451,772.05	280.00	4,238.60	435,549.38	11,704.07
14	448,715.91	292.00	4,054.82	434,588.08	9,781.01
15	456,570.00	288.00	4,249.22	440,073.66	11,959.12
16	425,681.81	278.00	4,023.83	408,365.92	13,014.06
17	440,795.28	276.00	4,095.31	419,914.01	16,509.96
18	449,971.70	286.00	3,940.10	432,667.54	13,078.06
19	449,281.31	272.00	4,245.27	430,124.25	14,639.79
20	439,313.25	282.00	4,203.03	423,639.86	11,188.36
21	433,329.73	266.00	4,282.48	415,035.20	13,746.05

ตารางที่ 4.49 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
22	446,033.95	276.00	4,103.52	430,157.69	11,496.73
23	450,763.54	272.00	4,318.77	432,342.03	13,830.74
24	430,409.76	274.00	3,902.82	411,584.11	14,648.82
25	440,696.36	274.00	4,124.14	423,547.67	12,750.54
26	452,215.68	280.00	4,122.80	435,404.84	12,408.03
27	435,738.55	268.00	4,003.98	419,014.08	12,452.49
28	435,555.53	278.00	4,242.10	420,002.23	11,033.21
29	451,774.16	278.00	4,276.18	430,760.30	16,459.67
30	461,949.46	288.00	4,170.36	443,345.34	14,145.76
31	450,316.89	282.00	4,125.75	433,783.74	12,125.40
32	447,437.94	268.00	4,116.54	431,190.18	11,863.22
33	433,846.23	264.00	4,173.33	415,799.89	13,609.01
34	443,200.01	298.00	4,086.83	429,246.40	9,568.78
35	431,607.62	270.00	3,925.63	415,070.15	12,341.84
36	438,522.50	280.00	3,925.93	421,711.86	12,604.71
37	445,291.75	274.00	4,367.82	426,822.22	13,827.72
38	456,419.88	288.00	4,234.82	437,337.53	14,559.53
39	448,587.57	288.00	4,086.80	435,767.91	8,444.86
40	432,571.89	280.00	4,256.51	417,237.18	10,798.20
41	447,829.45	292.00	4,308.86	429,894.55	13,334.05
42	458,541.05	288.00	4,080.18	441,331.65	12,841.22
43	450,211.63	270.00	4,273.41	431,812.70	13,855.51
44	444,448.64	262.00	4,279.68	427,056.10	12,850.86
45	455,567.15	282.00	4,169.20	436,820.32	14,295.64
46	450,751.69	274.00	4,273.70	434,091.74	12,112.26
47	445,008.44	282.00	4,200.42	427,288.55	13,237.47
48	452,645.72	272.00	4,066.98	435,869.77	12,436.97

ตารางที่ 4.49 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป่าประสงค์ 1)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่าย เฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
49	434,680.36	274.00	4,227.45	419,865.47	10,313.43
50	456,895.19	290.00	4,257.77	439,490.12	12,857.30
51	452,769.45	284.00	4,035.36	437,154.80	11,295.29
52	428,999.70	276.00	4,068.96	414,118.31	10,536.43
53	435,990.00	268.00	4,063.82	419,067.09	12,591.09
54	435,742.77	274.00	3,992.16	416,438.31	15,038.30
55	444,701.28	290.00	4,066.43	427,538.26	12,806.58
56	450,005.17	266.00	4,258.23	431,138.30	14,342.64
57	441,605.69	272.00	4,253.75	421,494.79	15,585.15
58	456,778.07	284.00	4,302.06	440,519.11	11,672.90
59	430,017.39	286.00	4,037.21	413,860.32	11,833.86
60	444,504.14	270.00	4,198.11	429,043.39	10,992.64
61	433,258.50	270.00	4,100.83	415,185.10	13,702.56
62	448,822.49	292.00	3,979.12	433,575.53	10,975.83
63	465,078.96	290.00	3,894.60	447,347.60	13,546.76
64	436,748.86	272.00	4,204.79	417,153.43	15,118.64
65	442,713.54	270.00	4,362.73	425,762.12	12,318.69
66	448,469.92	290.00	4,080.88	433,015.98	11,083.06
67	446,217.87	286.00	4,164.93	428,193.52	13,573.43
68	444,730.52	298.00	4,250.64	432,212.86	7,969.02
69	439,480.69	266.00	4,270.03	421,821.88	13,122.78
70	439,651.92	288.00	4,003.57	423,992.66	11,367.69
71	451,243.77	284.00	3,922.56	434,764.98	12,272.23
72	432,129.33	266.00	4,069.20	414,607.03	13,187.10
73	439,959.45	264.00	4,281.08	424,655.69	10,758.67
74	461,108.76	290.00	4,278.77	446,035.37	10,504.62
75	449,806.23	290.00	4,116.71	433,713.70	11,685.82

ตารางที่ 4.49 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโถยขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่าย เฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
76	456,161.61	274.00	4,235.88	437,142.27	14,509.47
77	424,973.44	266.00	4,216.00	407,542.19	12,949.25
78	444,894.31	282.00	4,099.22	422,582.73	17,930.36
79	447,388.39	278.00	4,154.10	429,580.89	13,375.39
80	450,991.41	268.00	4,172.60	433,496.71	13,054.10
81	443,937.40	264.00	4,188.94	425,690.18	13,794.27

จากตารางที่ 4.49 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายรวมของค่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด จะมีค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุกมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งจะถือได้ว่าหากยานพาหนะมีน้ำหนักบรรทุกมาก ก็จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.50 การคิดค่าใช้จ่ายของโถยขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
1	410,469.43	268	4,125.07	390,876.50	15,199.86
2	456,109.53	288	4,353.05	441,089.96	10,378.52
3	442,246.93	280	4,140.80	425,023.14	12,802.99
4	452,469.22	278	4,315.13	435,596.30	12,279.79
5	443,801.21	278	4,277.41	426,194.14	13,051.65
6	437,104.11	274	4,161.49	421,299.26	11,369.36
7	440,876.72	284	4,110.39	426,629.92	9,852.41
8	422,566.80	258	3,949.32	406,221.84	12,137.64
9	463,792.64	286	4,164.18	445,457.65	13,884.81
10	456,485.98	290	4,427.84	441,815.91	9,952.23
11	457,264.25	286	4,150.23	437,431.26	15,396.76

ตารางที่ 4.50 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
12	438,691.24	278	4,197.68	421,043.00	13,172.57
13	450,816.69	272	4,352.64	430,043.05	16,149.00
14	447,503.46	280	4,279.06	428,809.58	14,134.83
15	428,734.42	260	3,957.48	413,358.29	11,158.65
16	431,404.12	262	4,031.93	414,493.94	12,616.24
17	450,287.59	274	4,050.13	431,371.38	14,592.08
18	428,143.92	264	3,874.73	411,445.38	12,559.81
19	459,385.35	294	4,097.31	439,589.21	15,404.83
20	430,881.86	272	4,235.84	412,277.94	14,096.08
21	411,947.45	272	4,133.19	394,608.40	12,933.86
22	443,391.01	290	4,161.78	426,911.65	12,027.58
23	441,400.91	292	4,251.49	421,939.61	14,917.81
24	442,673.10	272	4,158.66	426,008.71	12,233.73
25	448,469.18	276	4,049.52	430,551.01	13,592.64
26	438,032.19	268	3,899.16	421,245.73	12,619.30
27	455,201.39	264	4,232.99	436,257.92	14,446.49
28	450,434.27	272	4,345.61	432,793.84	13,022.82
29	432,936.18	274	4,132.95	417,492.13	11,037.10
30	444,447.95	266	4,318.41	427,225.54	12,638.01
31	443,149.61	270	4,247.11	420,618.71	18,013.79
32	444,091.89	288	4,282.22	427,513.68	12,007.98
33	438,652.78	268	4,270.92	420,127.22	13,986.65
34	455,551.00	284	4,106.61	438,418.46	12,741.93
35	454,225.34	280	4,186.00	438,071.67	11,687.67
36	431,049.33	262	4,144.91	415,455.74	11,186.68
37	428,265.44	274	4,069.52	413,670.74	10,251.18
38	446,689.17	270	4,314.31	430,743.99	11,360.87



ตารางที่ 4.50 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
39	441,527.02	276	4,179.93	425,834.48	11,236.61
40	445,949.98	288	4,290.66	429,363.34	12,007.98
41	436,808.41	268	4,265.33	418,014.23	14,260.85
42	452,044.48	292	3,995.55	435,704.37	12,052.56
43	452,137.15	282	4,136.13	436,637.26	11,081.77
44	433,658.63	260	4,126.66	417,522.63	11,749.33
45	444,254.21	296	3,988.15	429,697.33	10,272.73
46	446,689.17	270	4,314.31	430,743.99	11,360.87
47	436,923.42	276	4,115.10	421,943.19	10,589.13
48	458,061.73	264	4,351.04	437,174.94	16,271.76
49	436,687.15	268	4,379.49	419,136.38	12,903.28
50	446,877.72	288	4,026.93	430,542.13	12,020.66
51	448,124.72	274	4,167.79	430,628.85	13,054.08
52	407,285.43	266	3,993.62	390,047.90	12,977.90
53	441,939.09	288	3,965.22	425,798.17	11,887.71
54	438,972.52	278	3,930.08	419,218.74	15,545.70
55	440,952.63	282	4,187.78	422,998.55	13,484.30
56	445,819.92	288	4,205.72	424,186.30	17,139.91
57	434,389.23	274	4,245.18	415,678.90	14,191.15
58	449,757.85	262	4,128.41	427,120.74	18,246.70
59	460,492.48	292	4,157.05	443,514.91	12,528.53
60	411,631.24	262	4,003.35	393,846.47	13,519.43
61	429,792.46	272	4,146.82	413,813.20	11,560.45
62	445,875.09	272	4,007.34	427,118.56	14,477.18
63	441,901.54	278	4,040.94	424,133.49	13,449.12
64	445,819.92	288	4,205.72	424,186.30	17,139.91
65	434,389.23	274	4,245.18	415,678.90	14,191.15

ตารางที่ 4.50 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรมอน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 1)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
66	456,197.57	298	4,268.65	441,829.73	9,801.19
67	460,492.48	292	4,157.05	443,514.91	12,528.53
68	414,604.26	264	3,989.41	396,909.19	13,441.66
69	432,424.30	272	4,147.00	413,953.55	14,051.74
70	445,875.09	272	4,007.34	427,118.56	14,477.18
71	441,901.54	278	4,040.94	424,133.49	13,449.12
72	437,968.78	268	4,055.95	420,681.46	12,963.37
73	434,145.56	274	4,313.89	415,735.73	13,821.94
74	448,779.08	294	4,290.75	433,962.90	10,231.44
75	445,022.57	292	4,159.26	428,851.43	11,719.88
76	411,919.76	264	3,967.74	393,999.92	13,688.10
77	432,424.30	272	4,147.00	413,953.55	14,051.74
78	459,934.03	274	4,265.20	442,693.55	12,701.29
79	440,954.47	274	3,887.04	421,956.27	14,837.15
80	437,968.78	268	4,055.95	420,681.46	12,963.37
81	427,705.93	272	4,081.23	409,795.02	13,557.68

จากตารางที่ 4.50 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายรวมของค่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด จะมีค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุกมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งจะถือได้ว่าหากยานพาหนะมีน้ำหนักบรรทุกมากก็จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.51 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
1	155,395.40	444	4,561.97	145,670.11	4,719.32
2	157,588.58	444	4,461.27	145,215.15	7,468.15
3	158,648.13	460	4,463.80	148,937.91	4,786.42
4	158,380.87	454	4,641.67	149,062.43	4,222.77
5	156,534.37	456	4,553.75	145,058.59	6,466.04
6	159,786.38	454	4,422.33	146,684.93	8,225.12
7	153,733.27	430	4,220.00	143,341.79	5,741.48
8	154,629.78	452	4,452.02	143,973.39	5,752.37
9	151,915.76	454	4,432.55	140,511.88	6,517.33
10	155,304.31	504	4,609.69	143,668.13	6,522.50
11	160,071.56	478	4,563.38	146,256.86	8,773.32
12	154,955.25	438	4,365.32	144,282.57	5,869.37
13	159,798.42	502	4,879.34	150,856.83	3,560.25
14	152,559.34	480	4,519.91	141,419.99	6,139.43
15	155,338.93	516	4,704.94	145,619.59	4,498.40
16	154,213.11	450	4,457.55	144,222.68	5,082.89
17	156,140.93	470	4,487.43	144,994.68	6,188.82
18	154,169.07	440	4,363.42	143,615.08	5,750.57
19	161,343.52	458	4,671.10	149,090.20	7,124.22
20	158,508.75	484	4,744.44	148,689.08	4,591.23
21	156,197.77	490	4,921.25	145,455.35	5,331.16
22	156,340.79	446	4,571.16	147,393.64	3,929.98
23	156,248.99	490	4,649.47	145,161.00	5,948.51
24	156,387.16	456	4,476.59	144,450.16	7,004.40
25	155,823.40	442	4,368.60	143,833.91	7,178.89
26	153,641.40	486	4,607.49	142,460.05	6,087.87
27	151,241.94	448	4,375.02	140,606.99	5,811.93

ตารางที่ 4.51 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนัก บรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
28	160,050.26	480	4,694.41	149,769.83	5,106.02
29	160,369.08	452	4,596.14	149,892.23	5,428.71
30	161,312.19	466	4,614.74	151,309.59	4,921.86
31	157,036.33	462	4,457.85	146,518.93	5,597.56
32	154,423.29	486	4,624.44	144,448.54	4,864.31
33	160,523.30	414	4,332.25	149,593.69	6,183.36
34	156,579.05	456	4,444.68	145,633.35	6,045.02
35	156,951.76	442	4,397.35	146,564.18	5,548.23
36	153,596.78	468	4,511.35	144,692.91	3,924.53
37	159,343.27	476	4,745.54	147,637.59	6,484.15
38	158,619.32	450	4,593.08	149,683.19	3,893.04
39	160,840.93	448	4,463.50	149,467.83	6,461.60
40	159,297.88	506	4,654.71	147,903.77	6,233.41
41	160,550.97	486	4,785.81	148,087.67	7,191.49
42	157,657.36	492	4,727.43	145,016.33	7,421.60
43	154,377.09	456	4,424.24	144,760.69	4,736.17
44	154,625.42	490	4,513.27	145,135.04	4,487.11
45	157,966.39	446	4,358.84	146,050.21	7,111.34
46	156,898.83	532	4,838.54	146,750.76	4,777.53
47	163,064.64	468	4,723.40	153,558.00	4,315.24
48	159,057.56	488	4,663.02	148,908.27	4,998.27
49	157,218.74	460	4,437.20	145,682.51	6,639.03
50	156,477.46	490	4,580.93	145,746.84	5,659.69
51	156,661.17	448	4,541.30	147,157.63	4,514.24
52	155,256.55	470	4,505.59	143,011.60	7,269.36
53	152,994.39	468	4,539.04	142,248.58	5,738.77
54	154,974.22	448	4,436.85	142,573.53	7,515.84

ตารางที่ 4.51 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางคู่ (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนัก บรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
55	158,155.85	430	4,374.79	146,693.32	6,657.73
56	157,416.46	470	4,611.49	147,722.85	4,612.12
57	160,868.37	490	4,757.83	149,533.08	6,087.46
58	160,872.19	456	4,552.13	148,820.89	7,043.16
59	158,294.98	464	4,592.24	148,752.03	4,486.71
60	156,474.61	524	4,795.88	147,963.84	3,190.89
61	157,993.89	434	4,399.37	144,989.95	8,170.57
62	155,559.24	454	4,444.48	145,071.14	5,589.63
63	157,117.60	460	4,620.11	146,883.94	5,153.54
64	160,176.58	484	4,505.00	148,721.80	6,465.78
65	159,078.03	474	4,472.51	149,719.99	4,411.53
66	161,489.93	482	4,654.71	150,810.02	5,543.20
67	158,291.49	488	4,687.96	147,348.70	5,766.83
68	156,893.53	486	4,547.38	143,377.15	8,482.99
69	152,742.48	450	4,367.81	141,965.93	5,958.74
70	154,894.35	492	4,492.90	145,196.10	4,713.35
71	156,442.90	466	4,594.95	145,294.81	6,087.14
72	153,035.80	446	4,307.86	142,272.78	6,009.17
73	156,251.74	512	4,720.71	146,068.40	4,950.63
74	156,100.04	484	4,482.56	144,454.32	6,679.16
75	159,244.71	454	4,530.43	146,954.70	7,305.58
76	158,187.64	462	4,444.62	147,298.35	5,982.67
77	156,844.42	482	4,541.84	145,416.60	6,403.98
78	156,124.67	472	4,491.49	145,005.59	6,155.59
79	155,934.81	474	4,592.89	146,392.82	4,475.10
80	155,649.31	442	4,456.90	143,643.94	7,106.47
81	156,904.36	492	4,630.92	146,756.47	5,024.96

จากตารางที่ 4.51 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายรวมของค่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด จะมีค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุกมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งจะถือได้ว่าหากยานพาหนะมีน้ำหนักบรรทุกมาก ก็จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดสูงขึ้นด้วย

ตารางที่ 4.52 การคิดค่าใช้จ่ายของโจทยขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุดพารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนักบรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
1	157,111.50	452	4,479.67	145,633.35	6,546.48
2	151,775.06	514	4,780.08	141,812.18	4,668.80
3	159,661.34	508	4,740.98	148,648.26	5,764.10
4	156,786.53	512	4,609.05	146,627.04	5,038.43
5	158,287.72	464	4,641.87	149,567.76	3,614.08
6	159,055.35	432	4,541.87	148,072.28	6,009.21
7	154,442.67	470	4,447.22	143,645.18	5,880.26
8	152,261.80	438	4,324.09	141,535.56	5,964.14
9	157,131.90	476	4,545.58	148,374.98	3,735.35
10	154,806.18	502	4,840.10	145,975.28	3,488.80
11	159,436.84	496	4,803.59	148,299.68	5,837.56
12	158,560.44	468	4,772.40	149,621.35	3,698.69
13	156,564.81	478	4,587.49	146,880.54	4,618.77
14	160,408.90	418	4,582.93	149,675.12	5,732.85
15	157,253.26	460	4,606.04	147,071.58	5,115.64
16	157,269.75	442	4,363.37	144,203.14	8,261.24
17	155,613.42	478	4,564.27	145,290.57	5,280.58
18	156,371.34	468	4,435.70	146,356.72	5,110.92
19	158,693.85	508	4,732.77	147,530.36	5,922.72
20	158,895.85	470	4,668.26	147,542.87	6,214.73
21	150,787.02	488	4,435.72	142,236.59	3,626.70
22	159,947.71	462	4,744.01	149,984.58	4,757.13
23	160,021.48	460	4,776.36	149,782.01	5,003.11

ตารางที่ 4.52 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนัก บรรจุทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
24	156,399.02	492	4,550.26	146,558.75	4,798.01
25	159,238.25	476	4,529.81	149,209.94	5,022.50
26	155,848.12	480	4,670.68	145,791.50	4,905.93
27	153,827.61	502	4,581.90	142,103.78	6,639.93
28	158,163.45	426	4,492.83	148,141.57	5,103.04
29	156,770.84	500	4,475.05	145,135.37	6,660.43
30	159,811.33	484	4,676.91	147,823.16	6,827.26
31	160,436.15	470	4,501.82	146,407.68	9,056.64
32	157,234.82	442	4,420.55	144,975.76	7,396.51
33	156,434.42	442	4,381.22	145,412.90	6,198.29
34	155,748.35	450	4,354.46	142,668.85	8,275.04
35	155,361.48	466	4,418.04	144,546.54	5,930.90
36	155,064.94	426	4,416.01	143,265.19	6,957.74
37	161,476.28	506	4,642.44	148,736.22	7,591.63
38	158,808.55	476	4,597.69	145,849.26	7,885.60
39	159,735.74	448	4,449.57	147,208.59	7,629.58
40	156,869.40	430	4,405.23	145,575.90	6,458.26
41	158,333.74	450	4,414.62	146,727.12	6,742.00
42	154,714.12	466	4,551.62	144,985.70	4,710.79
43	154,602.55	500	4,487.79	145,112.26	4,502.50
44	155,615.10	414	4,343.78	143,581.40	7,275.92
45	155,726.84	450	4,467.16	141,687.41	9,122.26
46	158,586.65	486	4,709.36	145,054.95	8,336.34
47	161,114.73	448	4,466.50	148,170.66	8,029.58
48	158,961.77	440	4,425.46	150,168.56	3,927.75
49	157,973.53	438	4,476.86	147,963.30	5,095.36
50	156,587.76	480	4,500.62	147,589.18	4,017.96

ตารางที่ 4.52 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโจทย์ขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรโมน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

ชุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนัก บรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
51	159,868.64	456	4,614.03	147,767.62	7,031.00
52	156,754.41	444	4,441.02	145,464.55	6,404.84
53	153,084.22	444	4,297.80	141,126.23	7,216.19
54	155,856.04	458	4,503.94	143,688.63	7,205.47
55	160,486.91	406	4,404.46	150,840.11	4,836.34
56	161,248.25	454	4,583.77	148,002.13	8,208.36
57	156,767.34	458	4,558.19	145,292.60	6,458.54
58	159,093.13	440	4,430.79	146,319.31	7,903.03
59	155,339.67	494	4,438.83	143,168.18	7,238.66
60	159,000.83	462	4,608.57	145,581.79	8,348.47
61	156,149.51	488	4,617.33	143,531.70	7,512.47
62	154,826.58	466	4,603.60	145,282.20	4,474.77
63	156,972.65	478	4,687.97	146,177.38	5,629.30
64	160,244.70	460	4,591.36	147,448.88	7,744.45
65	158,397.40	464	4,594.29	147,791.35	5,547.76
66	161,100.36	456	4,376.12	146,741.37	9,526.87
67	155,339.67	494	4,438.83	143,168.18	7,238.66
68	159,508.26	462	4,659.13	146,799.44	7,587.68
69	157,264.40	462	4,588.77	145,173.53	7,040.10
70	155,983.70	466	4,599.76	146,389.32	4,528.62
71	156,972.65	478	4,687.97	146,177.38	5,629.30
72	155,878.99	472	4,515.96	146,551.97	4,339.06
73	158,397.40	464	4,594.29	147,791.35	5,547.76
74	161,390.25	480	4,473.57	147,145.59	9,291.09
75	161,466.03	404	4,389.92	151,594.69	5,077.41
76	159,415.78	474	4,662.68	146,574.53	7,704.57
77	155,586.00	462	4,483.91	145,089.03	5,551.06



ตารางที่ 4.52 (ต่อ) การคิดค่าใช้จ่ายของโครงข่ายขนาดกลาง 3 โดยการปรับค่าพีโรมอน  
แบบระยะทางรวม (ฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2)

จุด พารามิเตอร์	ค่าใช้จ่ายเฉลี่ย ต่ำสุด (บาท)	ค่าใช้จ่าย คงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่าย ผันแปร (บาท)	ค่าใช้จ่ายจาก น้ำหนัก บรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
78	158,994.84	450	4,513.74	146,381.45	7,649.65
79	158,469.83	478	4,680.41	147,063.03	6,248.40
80	155,654.77	470	4,519.25	145,444.02	5,221.51
81	154,861.70	512	4,645.09	143,662.23	6,042.38

จากตารางที่ 4.52 จะเห็นได้ว่า ค่าใช้จ่ายรวมของค่าค่าใช้จ่ายเฉลี่ยต่ำสุด จะมีค่าใช้จ่าย  
จากน้ำหนักบรรทุกมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าค่าใช้จ่ายอื่นๆ ซึ่งจะถือได้ว่าหากยานพาหนะมีน้ำหนักบรรทุก  
มากก็จะส่งผลให้ค่าใช้จ่ายทั้งหมดสูงขึ้นด้วย



## บทที่ 5

### บทสรุปและข้อเสนอแนะ

#### 5.1 สรุปผลการดำเนินโครงการ

ผลการดำเนินโครงการการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พิจารณาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด โดยวิธีอาณานิคมมด แบบระยะทางคู่และแบบระยะทางรวม สามารถสรุปผลการดำเนินโครงการได้ดังนี้

ในการดำเนินโครงการผู้ดำเนินโครงการได้ทำการออกแบบ และเพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก โดยมีวัตถุประสงค์ เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งยานพาหนะที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุก บน Microsoft Excel โดยประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมด ซึ่งได้พัฒนาวิธีการอาณานิคมมด เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ 2 วิธี ได้แก่ วิธีระบบอาณานิคมมดแบบระยะทางคู่ และแบบระยะทางรวม ซึ่งขั้นตอนการปฏิบัติงานได้กล่าวไว้แล้วในบทที่ 4 จากนั้นผู้ดำเนินโครงการได้ทำการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel

จากการทดลองใช้โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ที่พิจารณาน้ำหนักบรรทุกที่ได้จากการรันโปรแกรม จากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้นมาสรุปได้ว่า จำนวนลูกค้า จำนวนยานพาหนะ จำนวนมด/จำนวนรอบในการวนซ้ำ ค่าอัตราการระเหยของฟีโรโมน ค่าแอลฟา และค่าเบต้า มีผลต่อการหาคำตอบของโปรแกรม

##### 5.1.1 ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม

พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่ ประกอบด้วยจำนวนมด/จำนวนรอบ ค่าอัตราการระเหย แอลฟา และเบต้า ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่

ลักษณะของปัญหา	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่			
	จำนวนมด/จำนวนรอบ	ค่าอัตราการระเหย	แอลฟา	เบต้า
เล็ก 1	100/100	0.05	3.0	3.0
เล็ก 2	200/50	0.03	0.5	1.5
เล็ก 3	200/50	0.03	0.5	1.5
กลาง 1	100/100	0.05	3.0	3.0
กลาง 2	100/100	0.03	0.5	0.5

ตารางที่ 5.1 (ต่อ) ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางคู่			
	จำนวนมด/ จำนวนรอบ	ค่าอัตรา การระเหย	แอลฟา	บีต้า
กลาง 3	500/20	0.05	1.5	3.0
ใหญ่ 1	100/100	0.05	3.0	3.0
ใหญ่ 2	200/50	0.03	3.0	3.0
ใหญ่ 3	200/50	0.01	1.5	3.0

จากตารางที่ 5.1 จะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ของโจทย์แต่ละข้อมีการตั้งค่าที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมซึ่งค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะตั้งค่า จำนวนมด/จำนวนรอบ ที่ 100/100 ค่าอัตราการระเหย ที่ 0.03 และ 0.05 แอลฟา ที่ 3 และค่าเบต้า ที่ 3

พารามิเตอร์ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม ประกอบด้วย จำนวนมด/จำนวนรอบ ค่าอัตราการระเหย แอลฟา และเบต้า ซึ่งมีค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสม ดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม

ลักษณะ ของปัญหา	ค่าเฉลี่ยต่ำสุดของค่าใช้จ่ายระยะทางรวม			
	จำนวนมด/ จำนวนรอบ	ค่าอัตรา การระเหย	แอลฟา	บีต้า
เล็ก 1	200/50	0.01	0.5	1.5
เล็ก 2	500/20	0.03	1.5	3.0
เล็ก 3	500/20	0.01	0.5	0.5
กลาง 1	500/20	0.03	1.5	0.5
กลาง 2	500/20	0.05	0.5	3.0
กลาง 3	500/20	0.03	1.5	0.5
ใหญ่ 1	200/50	0.01	1.5	3.0
ใหญ่ 2	200/50	0.05	3.0	0.5
ใหญ่ 3	500/20	0.01	1.5	0.5

จากตารางที่ 5.2 จะเห็นได้ว่า ค่าพารามิเตอร์ของโจทย์แต่ละข้อมีการตั้งค่าที่แตกต่างกันตามความเหมาะสมซึ่งค่าพารามิเตอร์ส่วนใหญ่จะตั้งค่า จำนวนมด/จำนวนรอบ ที่ 500/20 ค่าอัตราการระเหย ที่ 0.01 แอลฟา ที่ 1.5 และค่าเบต้าที่ 0.5

## 5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงการ

5.2.1 เนื่องจากคณะผู้จัดทำโครงการไม่มีความรู้ในการเขียนโปรแกรมโดยใช้ภาษา VBA บน Microsoft Excel จึงทำให้ระยะแรกๆ ในการจัดทำโครงการค่อนข้างดำเนินไปด้วยความล่าช้า

5.2.2 การเขียนโปรแกรม และการทดสอบโปรแกรมต้องใช้เวลามาก

## 5.3 แนวทางในการแก้ปัญหา

5.3.1 ขอคำแนะนำและคำเสนอแนะจากอาจารย์ที่ปรึกษา และค้นคว้าจากผลงานวิจัยต่างๆ รวมทั้งสืบค้นข้อมูลต่างๆ จากทางอินเทอร์เน็ต

5.3.2 สอบถามจากผู้มีความรู้ในการเขียนโปรแกรม VBA ค้นคว้าจากงานวิจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้อง และศึกษาจากหนังสือที่เกี่ยวกับ VBA รวมถึงการสืบค้นข้อมูลต่างๆ ทางอินเทอร์เน็ต

## 5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้กับกรณีที่ใช้ในการแก้ปัญหการจัดเส้นทางขนส่ง แบบมีกรอบเวลา และข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะเท่านั้น หากผู้ใช้จะนำไปใช้กับแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากปัจจัยอื่นๆ สามารถนำโปรแกรมนี้ออกไปพัฒนา เพื่อนำไปประยุกต์ใช้กับปัญหาของท่านได้

5.4.2 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในวิธีระบบอาณานิคมแบบระยะทางคู่ และแบบระยะทางรวม อาจจะต้องมีการศึกษาในหลายๆ รูปแบบ ว่ามีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใดจึงจะมีผลอย่างไร และสามารถเลือกใช้กับปัญหาขนาดใดได้บ้าง จึงจะมีความเหมาะสมเพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด และใช้เวลาที่น้อยที่สุด

## เอกสารอ้างอิง

- ฉลอง สีแก้วสัว. วิธีการออกแบบการทดลอง (Design of Experiment : DOE). สืบค้นเมื่อวันที่ 8 กันยายน 2559, จาก <http://digi.library.tu.ac.th/thesis/en/0510/03chapter2.pdf>.
- ฐิตินันท์ ศรีสุวรรณดี และ ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). การประยุกต์วิธีอานานิคมมดสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ กรณีศึกษา บริษัทเจียรนัยน้ำดื่ม จำกัด. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี, อุบลราชธานี.
- ธารชуда พันธุ์นิกุล. (2551). ลักษณะปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ. สืบค้นเมื่อ 18 กันยายน 2559, จาก <http://readgur.com/doc/2270406>
- ปวีณา สุขเจริญ และ อมรัตน์ จันทร์สง่า. (2557). การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีอานานิคมมด. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ปิ่นนภา เกตุศรี และ สุวรรณมา บุญชุ่ม. (2555). การหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดเนื่องจากความจุโดยวิธีเมตาฮิวริสติก. วิทยานิพนธ์ วศ.บ., มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
- ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น).
- Tang, J., Zhang, j., and Pan, Z. (2010). A scatter search algorithm for solving vehicle routing problem with loading cost. *Expert Systems with Applications*, 37 (6), 4073-4083
- Solomon, M. M. (1987). Algorithms for the vehicle routing and scheduling problems with time window constraints. *Operations Research*, 35(2), 254-265.
- Augerat, P., Belenguer, J., Benavent, E., Corber'an, A., Naddef, D., Rinaldi, G., 1995. Computational results with a branch and cut code for the capacitated vehicle routing problem. Tech. Rep. 949-M, Université Joseph Fourier, Grenoble, France.
- Christofides, N., Eilon, S., 1969. An algorithm for the vehicle-dispatching problem. *Operational Research Quarterly* 20, 309-318.

ภาคผนวก ก  
โจทย์ที่ใช้ในการรันโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง  
การขนส่งยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวม  
โดยวิธีอาณานิคมมด



ก. โจทย์ที่ใช้ในการรันโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวม โดยวิธีอณานิคมมด

ก.1 โจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 1

ตารางที่ ก.1 ข้อมูลยานพาหนะของโจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 1

ประเภทของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/นาที่)
1	10	100	30	1.0	2.0	2.0
2	5	200	80	1.2	3.0	1.5
ความจุรวม		2,000				

ตารางที่ ก.2 ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความต้องการ	กรอบเวลาเริ่มต้น (นาที่)	กรอบเวลาสิ้นสุด (นาที่)	เวลาในการขนถ่าย (นาที่)	ค่าปรับ (บาท/นาที่)
0	40	50	0	0	1,236	0	0
1	45	68	10	0	1,127	90	5
2	45	70	30	0	1,125	90	5
3	42	66	10	0	1,129	90	5
4	42	68	10	727	782	90	5
5	42	65	10	0	1,130	90	5
6	40	69	20	621	702	90	5
7	40	66	20	0	1,130	90	5
8	38	68	20	255	324	90	5
9	38	70	10	534	605	90	5
10	35	66	10	357	410	90	5
11	35	69	10	448	505	90	5

ตารางที่ ก.2 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
12	25	85	20	0	1,107	90	5
13	22	75	30	30	92	90	5
14	22	85	10	0	1,106	90	5
15	20	80	40	384	429	90	5
16	20	85	40	0	1,105	90	5
17	18	75	20	99	148	90	5
18	15	75	20	0	1,110	90	5
19	15	80	10	0	1,106	90	5
20	30	50	10	0	1,136	90	5
21	30	52	20	0	1,135	90	5
22	28	52	20	812	883	90	5
23	28	55	10	732	777	90	5
24	25	50	10	0	1,131	90	5
25	25	52	40	169	224	90	5
ความต้องการรวม			460				

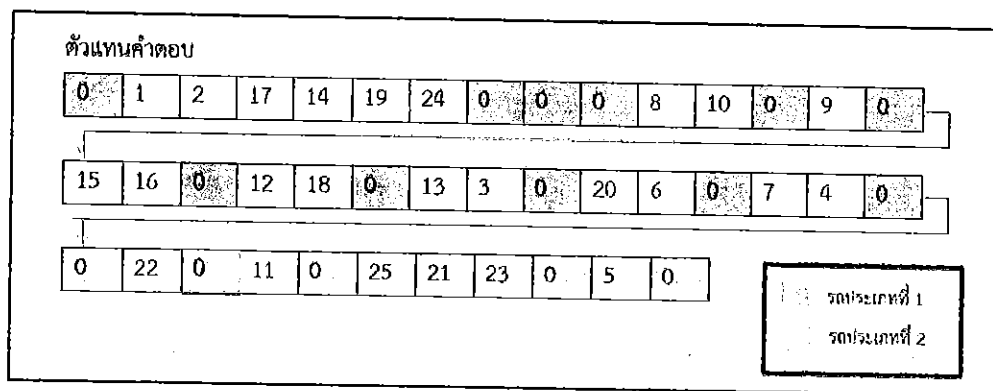
## ก.1.1 ตัวอย่างแสดงการคำนวณโจทย์ข้อที่ 1

เมื่อทำการรันโปรแกรมในโจทย์ข้อที่ 1 ของฟังก์ชันเป้าประสงค์ 2 จะได้ผลลัพธ์ดังตารางที่ ก.3 โดยยานพาหนะมีการบรรจุน้ำหนักบรรทุกเต็มความต้องการของลูกค้า ซึ่งมีตัวแทนคำตอบแสดงดังรูปที่ ก.1

ตารางที่ ก.3 แสดงผลจากการรันโปรแกรมโจทย์ข้อที่ 1

ค่าใช้จ่ายรวม (บาท)	ค่าใช้จ่ายคงที่ (บาท)	ค่าใช้จ่ายแปรผัน (บาท)	ค่าใช้จ่ายจากน้ำหนัก บรรทุก (บาท)	ค่าปรับ (บาท)
31,795.987	560.000	674.785	30,280.851	280.352





รูปที่ ก.1 ตัวอย่างที่ได้จากการคำนวณโจทย์ข้อที่ 1

### ก.1.1.1 คำนวณค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)

คำนวณค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) = ระยะทาง (ระยะทาง) × ค่าใช้จ่ายผันแปร (บาท/ระยะทาง)

$$\begin{aligned} \text{รถประเภทที่ 1} &= (18.682 + 2 + 27.459 + 10.770 + 8.602 + \\ &31.623 + 15 + 18.111 + 3.606 + 16.763 + 20.1 + 20.1 + 36.056 + 5 + 40.311 + 38.079 + \\ &14.142 + 35.355 + 30.806 + 21.932 + 16.125 + 10 + 21.471 + 19 + 16 + 2.828 + 18.111) \\ &\times 1 = 518.03 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{รถประเภทที่ 2} &= (12.116 + 12.166 + 19.647 + 19.647 + 15.133 \\ &+ 5 + 3.606 + 13 + 15.133 + 15.133) \times 1.2 = 156.75 \text{ บาท} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost)} &= \text{รถคันที่ 1} + \text{รถคันที่ 2} = 518.03 \\ &+ 156.75 = 674.78 \text{ บาท} \end{aligned}$$

### ก.1.1.2 การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)

การคำนวณค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) = จำนวนรถ × Fixed Cost

$$\text{รถประเภทที่ 1} = 8 \times 30$$

$$\text{รถประเภทที่ 2} = 4 \times 80$$

$$\text{ค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost)} = (8 \times 30) + (4 \times 80) = 560 \text{ บาท}$$

### ก.1.1.3 การคำนวณค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก (Loading Cost)

ค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก = น้ำหนักบรรทุก (หน่วย) × ระยะทาง (ระยะทาง) × ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุก (บาท/หน่วย/ระยะทาง)

รถประเภทที่ 1

คันที่ 1 มีลูกค่า ดังนี้ 0-1-2-17-14-19-24-0

$$0-1 \text{ คิดจาก } 2 \times 90 \times 18.682 = 3,362.76$$

$$1-2 \text{ คิดจาก } 2 \times 80 \times 2 = 320$$

$$2-17 \text{ คิดจาก } 2 \times 50 \times 27.459 = 2,745.9$$

$$17-14 \text{ คิดจาก } 2 \times 30 \times 10.770 = 646.2$$

$$14-19 \text{ คิดจาก } 2 \times 20 \times 8.602 = 344.08$$

$$19-24 \text{ คิดจาก } 2 \times 10 \times 31.623 = 632.46$$

คันที่ 2, 3 มีลูกค้า ดังนี้ = 0

คันที่ 4 มีลูกค้า ดังนี้ 0-8-10-0

$$0-8 \text{ คิดจาก } 2 \times 30 \times 18.111 = 1,086.66$$

$$8-10 \text{ คิดจาก } 2 \times 10 \times 3.606 = 72.12$$

คันที่ 5 มีลูกค้า ดังนี้ 0-9-0

$$0-9 \text{ คิดจาก } 2 \times 10 \times 20.1 = 1,086.66$$

คันที่ 6 มีลูกค้า ดังนี้ 0-15-16-0

$$0-15 \text{ คิดจาก } 2 \times 80 \times 36.056 = 5,768.96$$

$$15-16 \text{ คิดจาก } 2 \times 40 \times 5 = 400$$

คันที่ 7 มีลูกค้า ดังนี้ 0-12-18-0

$$0-12 \text{ คิดจาก } 2 \times 40 \times 38.079 = 3,046.32$$

$$12-18 \text{ คิดจาก } 2 \times 20 \times 14.142 = 565.68$$

คันที่ 8 มีลูกค้า ดังนี้ 0-13-3-0

$$0-13 \text{ คิดจาก } 2 \times 40 \times 30.806 = 2,464.48$$

$$13-3 \text{ คิดจาก } 2 \times 10 \times 21.932 = 438.64$$

คันที่ 9 มีลูกค้า ดังนี้ 0-20-6-0

$$0-20 \text{ คิดจาก } 2 \times 30 \times 10 = 600$$

$$20-6 \text{ คิดจาก } 2 \times 20 \times 21.471 = 858.84$$

คันที่ 10 มีลูกค้า ดังนี้ 0-7-4-0

$$0-7 \text{ คิดจาก } 2 \times 30 \times 16 = 960$$

$$7-4 \text{ คิดจาก } 2 \times 10 \times 2.828 = 56.56$$

รถประเภทที่ 2

คันที่ 1 มีลูกค้า ดังนี้ = 0

คันที่ 2 มีลูกค้า ดังนี้ 0-22

$$0-22 \text{ คิดจาก } 3 \times 20 \times 12.166 = 729.96$$

คันที่ 3 มีลูกค้า ดังนี้ 0-11-0

$$0-11 \text{ คิดจาก } 3 \times 10 \times 19.647 = 589.41$$

คันที่ 4 มีลูกค้า ดังนี้ 0-25-21-23-0

$$0-25 \text{ คิดจาก } 3 \times 70 \times 15.133 = 3,177.93$$

$$25-21 \text{ คิดจาก } 3 \times 30 \times 5 = 450$$

$$21-23 \text{ คิดจาก } 3 \times 10 \times 3.606 = 108.18$$

คันที่ 5 มีลูกค้า ดังนี้ 0-5-0

$$0 - 5 \text{ คิดจาก } 3 \times 10 \times 15.133 = 453.99$$

$$\text{รวมค่าใช้จ่ายน้ำหนักบรรทุก} = 30,280.21 \text{ บาท}$$

#### ก.1.1.4 การคำนวณค่าปรับจากการล่วงเวลา (Penalty Cost)

รถประเภทที่ 1

คันที่ 1 มีลูกค้า ดังนี้ 0-1-2-17-14-19-24-0

จากลูกค้า 0-1 ใช้เวลาในการเดินทาง  $18.682/2 = 9.34$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.2



รูปที่ ก.2 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 0-1

จากรูปที่ ก.2 จะเห็นว่าไม่เลยกรอบเวลาที่กำหนด และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 99.34 นาที

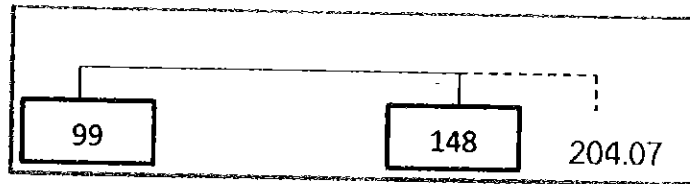
จากลูกค้าคนที่ 1-2 ใช้เวลาในการเดินทาง  $2/2 = 1$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 2 นาทีที่  $99.34 + 1 = 100.34$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.3



รูปที่ ก.3 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 1-2

จากรูปที่ ก.3 จะเห็นว่าไม่เลยกรอบเวลาที่กำหนด และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 190.34 นาที

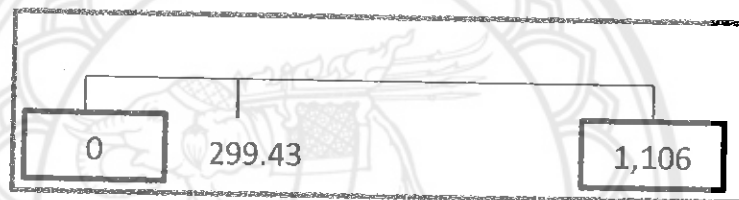
จากลูกค้าที่ 2-17 ใช้เวลาในการเดินทาง  $27.459/2 = 13.73$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 17 นาทีที่ 190.24 นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.4



รูปที่ ก.4 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 2-17

จากรูปที่ ก.4 จะเห็นได้ว่าเลยกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนด ดังนั้น จึงเสียค่าปรับ  $204.04 - 148 = 56.04$  นาที โดยมีค่าปรับนาทีละ 5 บาท ดังนั้น จึงเสียค่าปรับ 280.2 นาที และใช้เวลาทั้งหมดทั้งหมดถึงนาทีที่ 294.04 นาที

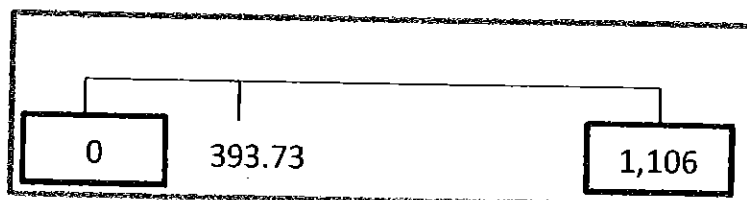
จากลูกค้าที่ 17-14 ใช้เวลาในการเดินทาง  $10.770/2 = 5$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 14 นาทีที่  $294.04 + 5.39 = 299.43$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.5



รูปที่ ก.5 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 17-14

จากรูปที่ ก.5 จะเห็นได้ว่าไม่เลยกรอบเวลาที่กำหนด และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 389.43 นาที

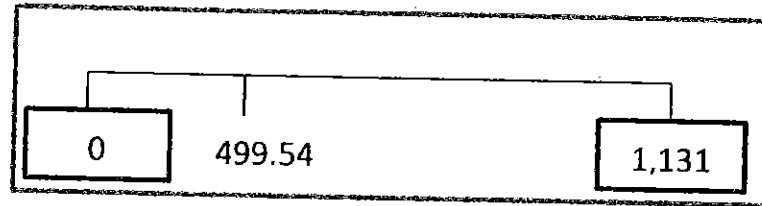
ลูกค้าที่ 14-19 ใช้เวลาในการเดินทาง  $8.602/2 = 4.301$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 19 นาทีที่  $384.43 + 4.301 = 393.73$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.6



รูปที่ ก.6 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 14-19

จากรูปที่ ก.6 จะเห็นได้ว่าไม่เลยกรอบเวลาที่กำหนด และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 483.73 นาที

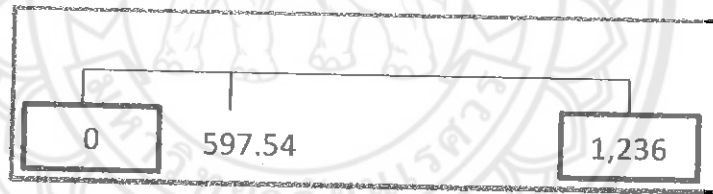
ลูกค้าคนที่ 19-24 ใช้เวลาในการเดินทาง  $31.623/2 = 15.81$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 24 นาทีที่  $483.731 + 15.81 = 499.541$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.7



รูปที่ ก.7 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 19-24

จากรูปที่ ก.7 จะเห็นได้ว่าไม่เลยกรอบเวลาที่กำหนด และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 589.54 นาที

ลูกค้าคนที่ 24-0 ใช้เวลาในการเดินทาง  $15/2 = 7.5$  นาที กลับถึงศูนย์กระจายสินค้า นาทีที่  $589.54 + 7.5 = 597.04$  จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.8

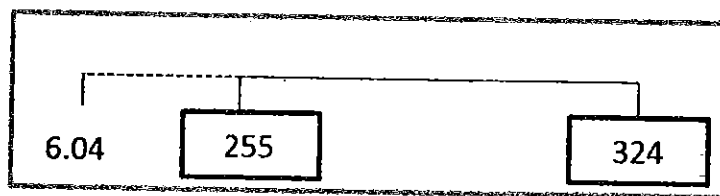


รูปที่ ก.8 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 1 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 24-0

จากรูปที่ 8 จะเห็นได้ว่ารถคันที่ 1 ใช้เวลารวมทั้งหมด 597.04 นาที

คันที่ 4 มีลูกค้า ดังนี้ 0-8-10-0

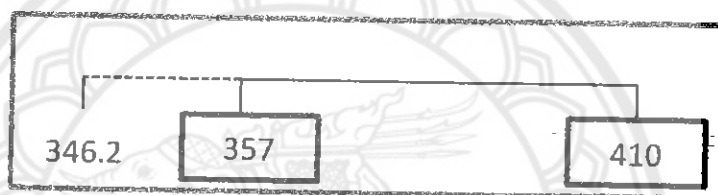
ลูกค้าคนที่ 0-8 ใช้เวลาในการเดินทาง  $18.111/3 = 6.04$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที จากการคำนวณจะแสดง ดังรูปที่ ก.9



รูปที่ ก.9 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 0-8

จากรูปที่ ก.9 จะเห็นได้ว่า รถมาถึงก่อนเวลากำหนดดังนั้นจึงต้องรอ  $255 - 6.04 = 248.96$  นาที และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 345 นาที

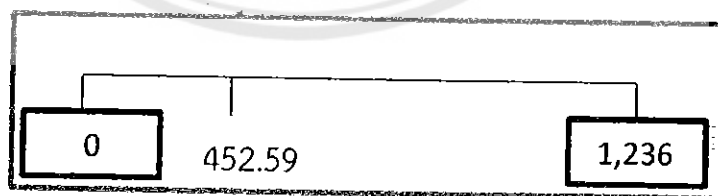
ลูกค้าคนที่ 8-10 ใช้เวลาในการเดินทาง  $3.606/3 = 1.2$  นาที ใช้เวลาในการขนถ่ายสินค้า 90 นาที ถึงลูกค้ารายที่ 10 นาทีที่  $345 + 1.2 = 346.2$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.10



รูปที่ ก.10 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 8-10

จากรูปที่ ก.10 จะเห็นได้ว่า รถมาถึงก่อนเวลากำหนดดังนั้นจึงต้องรอ  $357 - 346.2 = 10.8$  นาที และใช้เวลารวมทั้งหมดถึงนาทีที่ 447 นาที

ลูกค้าคนที่ 10-0 ใช้เวลาในการเดินทาง  $16.763/3 = 5.59$  นาที กลับถึงศูนย์กระจายสินค้านาทีที่  $447 + 5.59 = 452.59$  นาที จากการคำนวณ ดังรูปที่ ก.11



รูปที่ ก.11 แสดงกรอบเวลาของรถคันที่ 4 รถประเภทที่ 1 จากลูกค้า 10-0

จากรูปที่ ก.11 จะเห็นได้ว่ารถคันที่ 4 ใช้เวลารวมทั้งหมด 452.59 นาที รวมค่าปรับจากการล่าช้าเวลา (Penalty Cost) = 280.2 บาท สรุปค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด  $560 + 674.78 + 30,280.21 + 280.2 = 31,514.99$  บาท

## ก.2 โจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 2

ตารางที่ ก.4 ข้อมูลพาหนะของโจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 2

ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/ นาที่)
1	5	300	45	1.0	2.0	2.0
2	5	400	70	1.2	3.0	1.5
ความจุรวม		3,500				

ตารางที่ ก.5 ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดเล็กข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที่)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที่)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที่)	ค่าปรับ (บาท/ นาที่)
0	35	35	0	0	1,000	0	0
1	41	49	10	658	898	10	5
2	35	17	7	93	333	10	5
3	55	45	13	436	676	10	5
4	55	20	19	620	860	10	5
5	15	30	26	20	260	10	5
6	25	30	3	345	585	10	5
7	20	50	5	251	491	10	5
8	10	43	9	323	563	10	5
9	55	60	16	329	569	10	5
10	30	60	16	485	725	10	5
11	20	65	12	146	386	10	5
12	50	35	19	167	407	10	5
13	30	25	23	639	879	10	5
14	15	10	20	32	272	10	5
15	30	5	8	118	358	10	5
16	10	20	19	203	443	10	5
17	5	30	2	682	922	10	5

ตารางที่ ก.5 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโหนดขนาดเล็กข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความต้องการ	กรอบเวลาเริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลาดำเนินการ (นาที)	เวลาในการขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/นาที)
18	20	40	12	286	526	10	5
19	15	60	17	204	444	10	5
20	45	65	9	504	744	10	5
21	45	20	11	153	393	10	5
22	45	10	18	332	572	10	5
23	55	5	29	146	386	10	5
24	65	35	3	656	896	10	5
25	65	20	6	716	956	10	5
ความต้องการรวม			332				

## ก.3 โหนดขนาดเล็กข้อที่ 3

ตารางที่ ก.6 ข้อมูลพาหนะของโหนดขนาดเล็กข้อที่ 3

ประเภทของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/นาที)
1	5	40	60	1.0	2.0	2.0
2	10	80	150	1.2	3.0	1.5
3	5	150	300	1.4	4.0	1.0
ความจุรวม		1,750				



ตารางที่ ก.7 ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดเล็กข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	7รอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบ เวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาใน การขน ถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
0	40	50	0	0	240	0	0
1	25	85	20	125	191	10	5
2	22	75	30	32	97	10	5
3	22	85	10	101	146	10	5
4	20	80	40	71	193	10	5
5	20	85	20	40	113	10	5
6	18	75	20	55	164	10	5
7	15	75	20	69	118	10	5
8	15	80	10	56	155	10	5
9	10	35	20	51	160	10	5
10	10	40	30	90	177	10	5
11	8	40	40	33	152	10	5
12	8	45	20	49	108	10	5
13	5	35	10	62	191	10	5
14	5	45	10	35	117	10	5
15	2	40	20	39	161	10	5
16	0	40	20	59	114	10	5
17	0	45	20	60	189	10	5
18	44	5	20	79	124	10	5
19	42	10	40	58	115	10	5
20	42	15	10	111	162	10	5
21	40	5	10	52	111	10	5
22	40	15	40	55	158	10	5
23	38	5	30	45	164	10	5
24	38	15	10	128	194	10	5
25	35	5	20	54	184	10	5
ความต้องการรวม			540				

## ก.4 โจทย์ขนาดกลางข้อที่ 1

ตารางที่ ก.8 ข้อมูลพาหนะของโจทย์ขนาดกลางข้อที่ 1

ประเภทของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/นาที่)
1	10	50	10	1.0	2.0	2.0
2	10	80	20	1.2	3.0	1.5
3	10	100	30	1.4	4.0	1.0
รวม		2,300				

ตารางที่ ก.9 ข้อมูลพาหนะของโจทย์ขนาดกลางข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความต้องการ	กรอบเวลาเริ่มต้น (นาที่)	กรอบเวลาสิ้นสุด (นาที่)	เวลาในการขนถ่าย (นาที่)	ค่าปรับ (บาท/นาที่)
0	40	40	0	0	3,390	0	0
1	22	22	18	0	3,272	90	5
2	36	26	26	0	3,279	90	5
3	36	26	26	0	3,279	90	5
4	21	45	11	0	3,270	90	5
5	45	35	30	1,261	1,421	90	5
6	55	20	21	0	3,284	90	5
7	33	34	19	497	657	90	5
8	50	50	15	0	3,273	90	5
9	55	45	16	2,887	3,047	90	5
10	26	59	29	2,601	2,761	90	5
11	40	66	26	2,791	2,951	90	5
12	55	65	37	2,698	2,858	90	5
13	35	51	16	0	3,261	90	5
14	62	35	12	2,405	2,565	90	5
15	62	57	31	2,026	2,186	90	5
16	62	24	8	2,216	2,376	90	5

ตารางที่ ก.9 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดกลางข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
17	21	36	19	1,934	2,094	90	5
18	33	44	20	2,311	2,471	90	5
19	9	56	13	1,742	1,902	90	5
20	62	48	15	1,837	1,997	90	5
21	66	14	22	10	170	90	5
22	44	13	28	0	3,288	90	5
23	26	13	12	22	182	90	5
24	11	28	6	1643	1,803	90	5
25	7	43	27	116	276	90	5
26	17	64	14	2504	2,664	90	5
27	41	46	18	0	3,265	90	5
28	55	34	17	209	369	90	5
29	35	16	29	1,447	1,607	90	5
30	52	26	13	398	558	90	5
32	31	76	25	0	3,266	90	5
33	22	53	28	593	753	90	5
34	26	29	27	685	845	90	5
35	50	40	19	0	3,267	90	5
36	55	50	10	876	1,036	90	5
37	54	10	12	1,253	1,413	90	5
38	60	15	14	0	3,260	90	5
39	47	66	24	1,063	1,223	90	5
40	30	60	16	1,158	1,318	90	5
41	30	50	33	1,819	1,979	90	5
42	12	17	15	2,758	2,918	90	5
43	15	14	11	2,666	2,826	90	5
44	16	19	18	2,573	2,733	90	5
45	21	48	17	1,913	2,073	90	5

ตารางที่ ก.9 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดกลางข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
46	50	30	21	2,105	2,265	90	5
47	51	42	27	2,009	2,169	90	5
48	50	15	19	2,480	2,640	90	5
49	48	21	20	0	3,289	90	5
50	12	38	5	967	1,127	90	5
ความต้องการรวม			951				

ก.5 โจทย์ขนาดกลางข้อที่ 2

ตารางที่ ก.10-ข้อมูลพาหนะของโจทยขนาดกลางข้อที่ 2

ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/ นาทีก)
1	10	50	80	1.0	2.0	2.0
2	10	80	140	1.2	3.0	1.5
3	10	100	250	1.4	4.0	1.0
ความจุรวม		2,300				

ตารางที่ ก.11 ข้อมูลค่าของโจทยขนาดกลางข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
0	30	40	0	0	230	0	0
1	37	52	7	0	204	10	5
2	49	49	30	0	202	10	5
3	52	64	16	0	197	10	5
4	20	26	9	149	159	10	5
5	40	30	21	0	199	10	5

ตารางที่ ก.11 (ต่อ) ข้อมูลค่าของโหนดขนาดกลางข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
6	21	47	15	0	208	10	5
7	17	63	19	0	198	10	5
8	31	62	23	95	105	10	5
9	52	33	11	97	107	10	5
10	51	21	5	0	194	10	5
11	42	41	19	67	77	10	5
12	31	32	29	0	205	10	5
13	5	25	23	159	169	10	5
14	12	42	21	0	187	10	5
15	36	16	10	61	71	10	5
16	52	41	15	0	190	10	5
17	27	23	3	0	189	10	5
18	17	33	41	0	204	10	5
19	13	13	9	0	187	10	5
20	57	58	28	0	188	10	5
21	62	42	8	0	201	10	5
22	42	57	8	0	193	10	5
23	16	57	16	68	78	10	5
24	8	52	10	0	190	10	5
25	7	38	28	172	182	10	5
26	27	68	7	0	208	10	5
27	30	48	15	0	215	10	5
28	43	67	14	0	213	10	5
29	58	48	6	0	190	10	5
30	58	27	19	0	194	10	5
31	37	69	11	0	202	10	5
32	38	46	12	0	186	10	5
33	46	10	23	0	195	10	5
34	61	33	26	0	183	10	5

ตารางที่ ก.11 (ต่อ) ข้อมูลค่าของโหนดขนาดกลางข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
35	62	63	17	0	178	10	5
36	63	69	6	0	178	10	5
37	32	22	9	0	198	10	5
38	45	35	15	83	93	10	5
39	59	15	14	0	186	10	5
40	5	6	7	0	208	10	5
41	10	17	27	0	191	10	5
42	21	10	13	0	194	10	5
43	5	64	11	0	185	10	5
44	30	15	16	69	79	10	5
45	39	10	10	0	190	10	5
46	32	39	5	0	184	10	5
47	25	32	25	0	185	10	5
48	25	55	17	0	192	10	5
49	48	28	18	0	176	10	5
50	56	37	10	0	180	10	5
ความต้องการรวม			777				

## ก.6 โหนดขนาดกลางข้อที่ 3

ตารางที่ ก.12 ข้อมูลพาหนะของโหนดขนาดกลางข้อที่ 3

ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/ นาทีก)
1	10	50	10	1.0	2.0	2.0
2	15	80	20	1.2	3.0	1.5
3	10	100	30	1.4	4.0	1.0
ความจุรวม		2,700				

ตารางที่ ก.13 ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดกลางข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
0	53	55	0	0	960	0	0
1	1	90	9	613	853	10	5
2	94	85	10	92	332	10	5
3	13	19	14	411	651	10	5
4	97	45	5	584	824	10	5
5	78	69	8	40	280	10	5
6	92	35	10	328	568	10	5
7	98	36	15	240	480	10	5
8	99	0	16	307	547	10	5
9	2	94	23	311	551	10	5
10	85	77	4	459	699	10	5
11	94	42	22	135	375	10	5
12	101	3	16	163	403	10	5
13	103	51	12	593	833	10	5
14	106	38	20	35	275	10	5
15	9	95	18	114	354	10	5
16	88	71	9	195	435	10	5
17	83	77	17	643	883	10	5
18	100	55	42	275	515	10	5
19	17	23	9	194	434	10	5
20	3	91	17	477	717	10	5
21	6	91	7	155	395	10	5
22	9	102	4	315	555	10	5
23	9	95	7	141	381	10	5
24	8	104	13	621	861	10	5
25	9	99	6	664	904	10	5
26	98	39	22	469	709	10	5
27	101	8	6	86	326	10	5
28	99	38	13	89	329	10	5

ตารางที่ ก.13 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดกลางข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
29	103	54	21	134	374	10	5
30	3	103	16	186	426	10	5
31	101	7	20	105	345	10	5
32	103	8	11	561	801	10	5
33	20	25	18	51	291	10	5
34	97	93	24	427	667	10	5
35	97	93	24	427	667	10	5
36	0	51	26	597	837	10	5
37	81	70	9	43	283	10	5
38	103	7	21	497	737	10	5
39	95	87	3	218	458	10	5
40	102	54	22	36	276	10	5
41	83	72	7	269	509	10	5
42	101	10	10	316	556	10	5
43	105	48	17	33	273	10	5
44	96	40	8	514	754	10	5
45	5	91	10	157	397	10	5
46	9	96	12	37	277	10	5
47	10	100	10	429	669	10	5
48	9	96	24	45	285	10	5
49	22	21	5	664	904	10	5
50	2	95	10	380	620	10	5
ความต้องการรวม			684				



## ก.7 โจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ตารางที่ ก.14 ข้อมูลยานพาหนะของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ประเภทของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/นาท)
1	20	100	30	1.0	2.0	2.0
2	5	200	80	1.5	3.0	1.5
ความจุรวม		1,200				

ตารางที่ ก.15 ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความต้องการ	กรอบเวลาเริ่มต้น (นาท)	กรอบเวลาสิ้นสุด (นาท)	เวลาในการขนถ่าย (นาท)	ค่าปรับ (บาท/นาท)
0	35	35	0	0	1,236	0	0
1	41	49	10	912	967	90	5
2	35	17	7	825	870	90	5
3	55	45	13	65	146	90	5
4	55	20	19	727	782	90	5
5	15	30	26	15	67	90	5
6	25	30	3	621	702	90	5
7	20	50	5	170	225	90	5
8	10	43	9	255	324	90	5
9	55	60	16	534	605	90	5
10	30	60	16	357	410	90	5
11	20	65	12	448	505	90	5
12	50	35	19	652	721	90	5
13	30	25	23	30	92	90	5
14	15	10	20	567	620	90	5
15	30	5	8	384	429	90	5
16	10	20	19	475	528	90	5
17	5	30	2	99	148	90	5

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
18	20	40	12	179	254	90	5
19	15	60	17	278	345	90	5
20	45	65	9	10	73	90	5
21	45	20	11	914	965	90	5
22	45	10	18	812	883	90	5
23	55	5	29	732	777	90	5
24	65	35	3	65	144	90	5
25	65	20	6	169	224	90	5
26	45	30	17	622	701	90	5
27	35	40	16	261	316	90	5
28	41	37	16	546	593	90	5
29	64	42	9	358	405	90	5
30	40	60	21	449	504	90	5
31	31	52	27	200	237	90	5
32	35	69	23	31	100	90	5
33	53	52	11	87	158	90	5
34	65	55	14	751	816	90	5
35	63	65	8	283	344	90	5
36	2	60	5	665	716	90	5
37	20	20	8	383	434	90	5
38	5	5	16	479	522	90	5
39	60	12	31	567	624	90	5
40	40	25	9	264	321	90	5
41	42	7	5	166	235	90	5
42	24	12	5	68	149	90	5
43	23	3	7	16	80	90	5
44	11	14	18	359	412	90	5
45	6	38	16	541	600	90	5
46	2	48	1	448	509	90	5

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโรงพยาบาลขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
47	8	56	27	1,054	1,127	90	5
48	13	52	36	632	693	90	5
49	6	68	30	1,001	1,066	90	5
50	47	47	13	815	880	90	5
51	49	58	10	725	786	90	5
52	27	43	9	912	969	90	5
53	37	31	14	286	347	90	5
54	57	29	18	186	257	90	5
55	63	23	2	95	158	90	5
56	53	12	6	385	436	90	5
57	32	12	7	35	87	90	5
58	36	26	18	471	534	90	5
59	21	24	28	651	740	90	5
60	17	34	3	562	629	90	5
61	12	24	13	531	610	90	5
62	24	58	19	262	317	90	5
63	27	69	10	171	218	90	5
64	15	77	9	632	693	90	5
65	62	77	20	76	129	90	5
66	49	73	25	826	875	90	5
67	67	5	25	12	77	90	5
68	56	39	36	734	777	90	5
69	37	47	6	916	969	90	5
70	37	56	5	387	456	90	5
71	57	68	15	293	360	90	5
72	47	16	25	450	505	90	5
73	44	17	9	478	551	90	5
74	46	13	8	353	412	90	5
75	49	11	18	997	1,068	90	5

ตารางที่ ก.15 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 1

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
76	49	42	13	203	260	90	5
77	53	43	14	574	643	90	5
78	61	52	3	109	170	90	5
79	57	48	23	668	731	90	5
80	56	37	6	769	820	90	5
81	55	54	26	47	124	90	5
82	15	47	16	369	420	90	5
83	14	37	11	265	338	90	5
84	11	31	7	458	523	90	5
85	16	22	41	555	612	90	5
86	4	18	35	173	238	90	5
87	28	18	26	85	144	90	5
88	26	52	9	645	708	90	5
89	26	35	15	737	802	90	5
90	31	67	3	20	84	90	5
91	15	19	1	836	889	90	5
92	22	22	2	368	441	90	5
93	18	24	22	475	518	90	5
94	26	27	27	285	336	90	5
95	25	24	20	196	239	90	5
96	22	27	11	95	156	90	5
97	25	21	12	561	622	90	5
98	19	21	10	30	84	90	5
99	20	26	9	743	820	90	5
100	18	18	17	56	700	90	5
ความต้องการรวม			1,458				

## ก.8 โจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ตารางที่ ก.16 ข้อมูลยานพาหนะของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/ นาที่)
1	10	300	45	1.0	2.0	2.0
2	5	400	70	1.5	3.0	1.5
ความจุรวม		2,300				

ตารางที่ ก.17 ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที่)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที่)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที่)	ค่าปรับ (บาท/ นาที่)
0	35	35	0	0	1,000	0	0
1	41	49	10	0	974	10	5
2	35	17	7	0	972	10	5
3	55	45	13	0	967	10	5
4	55	20	19	678	801	10	5
5	15	30	26	0	969	10	5
6	25	30	3	415	514	10	5
7	20	50	5	0	968	10	5
8	10	43	9	404	481	10	5
9	55	60	16	400	497	10	5
10	30	60	16	577	632	10	5
11	20	65	12	206	325	10	5
12	50	35	19	0	975	10	5
13	30	25	23	690	827	10	5
14	15	10	20	32	243	10	5
15	30	5	8	175	300	10	5
16	10	20	19	272	373	10	5
17	5	30	2	733	870	10	5

ตารางที่ ก.17 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
18	20	40	12	377	434	10	5
19	15	60	17	269	378	10	5
20	45	65	9	581	666	10	5
21	45	20	11	0	971	10	5
22	45	10	18	409	494	10	5
23	55	5	29	206	325	10	5
24	65	35	3	704	847	10	5
25	65	20	6	817	956	10	5
26	45	30	17	0	978	10	5
27	35	40	16	104	255	10	5
28	41	37	16	114	255	10	5
29	64	42	9	190	313	10	5
30	40	60	21	259	354	10	5
31	31	52	27	0	972	10	5
32	35	69	23	660	777	10	5
33	53	52	11	45	200	10	5
34	65	55	14	0	953	10	5
35	63	65	8	686	813	10	5
36	2	60	5	41	208	10	5
37	20	20	8	0	968	10	5
38	5	5	16	302	405	10	5
39	60	12	31	33	224	10	5
40	40	25	9	360	437	10	5
41	42	7	5	396	511	10	5
42	24	12	5	25	172	10	5
43	23	3	7	620	705	10	5
44	11	14	18	233	340	10	5
45	6	38	16	29	189	10	5
46	2	48	1	515	628	10	5

ตารางที่ ก.17 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
47	8	56	27	85	250	10	5
48	13	52	36	0	962	10	5
49	6	68	30	501	540	10	5
50	47	47	13	0	973	10	5
51	49	58	10	348	453	10	5
52	27	43	9	0	978	10	5
53	37	31	14	414	489	10	5
54	57	29	18	641	734	10	5
55	63	23	2	620	739	10	5
56	53	12	6	585	692	10	5
57	32	12	7	421	530	10	5
58	36	26	18	849	980	10	5
59	21	24	28	0	972	10	5
60	17	34	3	721	862	10	5
61	12	24	13	290	377	10	5
62	24	58	19	163	302	10	5
63	27	69	10	34	191	10	5
64	15	77	9	214	333	10	5
65	62	77	20	49	188	10	5
66	49	73	25	592	693	10	5
67	67	5	25	294	401	10	5
68	56	39	36	637	752	10	5
69	37	47	6	162	293	10	5
70	37	56	5	788	968	10	5
71	57	68	15	268	367	10	5
72	47	16	25	0	967	10	5
73	44	17	9	308	399	10	5
74	46	13	8	681	802	10	5
75	49	11	18	0	962	10	5

ตารางที่ ก.17 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 2

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
76	49	42	13	290	373	10	5
77	53	43	14	817	952	10	5
78	61	52	3	384	499	10	5
79	57	48	23	388	465	10	5
80	56	37	6	839	968	10	5
81	55	54	26	411	456	10	5
82	15	47	16	0	966	10	5
83	14	37	11	0	968	10	5
84	11	31	7	436	511	10	5
85	16	22	41	0	966	10	5
86	28	18	26	420	447	10	5
88	26	52	9	279	388	10	5
89	26	35	15	755	920	10	5
90	31	67	3	392	487	10	5
91	15	19	1	0	964	10	5
92	22	22	2	18	181	10	5
93	18	24	22	811	969	10	5
94	26	27	27	0	977	10	5
95	25	24	20	0	975	10	5
96	22	27	11	0	974	10	5
97	25	21	12	612	673	10	5
98	19	21	10	0	968	10	5
99	20	26	9	333	432	10	5
100	18	18	17	798	965	10	5
ความต้องการรวม			1,458				



## ก.9 โจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ตารางที่ ก.18 ข้อมูลยานพาหนะของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ประเภท ของรถ	จำนวน (คัน)	ความจุ (หน่วย)	Fix Cost (บาท/ ระยะทาง)	Variable Cost (บาท/ ระยะทาง)	Loading Cost (บาท/หน่วย/ ระยะทาง)	Speed (ระยะทาง/ นาทึ)
1	10	40	60	1.0	2.0	2.0
2	20	80	150	1.5	3.0	1.5
3	10	150	300	2.0	4.0	1.0
ความจุรวม		3,500				

ตารางที่ ก.19 ข้อมูลลูกค้าของโจทย์ขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทึ)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทึ)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทึ)	ค่าปรับ (บาท/ นาทึ)
0	10	45	0	0	240	0	0
1	25	1	25	49	191	10	5
2	25	3	7	30	168	10	5
3	31	5	13	95	152	10	5
4	32	5	6	69	193	10	5
5	31	7	14	40	189	10	5
6	32	9	5	60	159	10	5
7	34	9	11	54	133	10	5
8	46	9	19	67	144	10	5
9	35	7	5	57	154	10	5
10	34	6	15	106	161	10	5
11	35	5	15	33	152	10	5
12	47	6	17	32	148	10	5
13	40	5	13	53	191	10	5
14	39	3	12	35	194	10	5
15	36	3	18	39	163	10	5
16	73	6	13	41	141	10	5

ตารางที่ ก.19 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทีก)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทีก)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทีก)	ค่าปรับ (บาท/ นาทีก)
17	73	8	18	51	189	10	5
18	24	36	12	73	130	10	5
19	76	6	17	40	148	10	5
20	76	10	4	94	179	10	5
21	76	13	7	45	161	10	5
22	78	3	12	64	149	10	5
23	78	9	13	45	164	10	5
24	79	3	8	51	194	10	5
25	79	5	16	45	183	10	5
26	79	11	15	90	169	10	5
27	82	3	6	57	172	10	5
28	82	7	5	55	174	10	5
29	90	15	9	52	174	10	5
30	84	3	11	52	147	10	5
31	84	5	10	50	172	10	5
32	84	9	3	61	178	10	5
33	85	1	7	51	178	10	5
34	87	5	2	83	168	10	5
35	85	8	4	57	185	10	5
36	87	7	4	43	186	10	5
37	86	41	18	95	182	10	5
38	86	44	14	38	141	10	5
39	86	46	12	36	193	10	5
40	85	55	17	61	138	10	5
41	89	43	20	49	164	10	5
42	89	46	14	33	180	10	5
43	89	52	16	100	185	10	5
44	92	42	10	35	142	10	5
45	92	52	9	37	192	10	5

ตารางที่ ก.19 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทื)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทื)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทื)	ค่าปรับ (บาท/ นาทื)
46	94	42	11	71	184	10	5
47	94	44	7	38	191	10	5
48	94	48	13	50	184	10	5
49	96	42	5	99	138	10	5
50	99	46	4	83	178	10	5
51	99	50	21	45	150	10	5
52	83	80	13	25	150	10	5
53	83	83	11	68	143	10	5
54	85	81	12	107	200	10	5
55	85	85	14	95	214	10	5
56	85	89	10	91	198	10	5
57	87	80	8	56	165	10	5
58	87	86	16	51	182	10	5
59	90	77	19	42	187	10	5
60	90	88	5	62	203	10	5
61	93	82	17	37	124	10	5
62	93	84	7	29	168	10	5
63	93	89	16	39	190	10	5
64	94	86	14	20	139	10	5
65	95	80	17	11	150	10	5
66	99	89	13	97	198	10	5
67	37	83	17	31	138	10	5
68	50	80	13	101	216	10	5
69	35	85	14	9	139	10	5
70	35	87	16	30	210	10	5
71	44	86	7	30	129	10	5
72	46	89	13	27	202	10	5
73	46	83	9	46	137	10	5
74	46	87	11	71	193	10	5

ตารางที่ ก.19 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาที)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาที)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาที)	ค่าปรับ (บาท/ นาที)
75	46	89	35	57	165	10	5
76	48	83	5	48	131	10	5
77	50	85	28	49	180	10	5
78	50	88	7	47	162	10	5
79	54	86	3	65	142	10	5
80	54	90	10	93	222	10	5
81	10	35	7	78	123	10	5
82	10	40	12	14	140	10	5
83	18	30	11	19	172	10	5
84	17	35	10	73	148	10	5
85	16	38	8	59	144	10	5
86	14	40	11	63	140	10	5
87	15	42	21	91	118	10	5
88	11	42	4	27	136	10	5
89	18	40	15	52	177	10	5
90	21	39	16	53	148	10	5
91	20	40	4	89	217	10	5
92	18	41	16	14	177	10	5
93	20	44	7	50	208	10	5
94	22	44	10	76	143	10	5
95	16	45	9	20	159	10	5
96	20	45	11	105	188	10	5
97	25	45	17	104	165	10	5
98	30	55	12	14	136	10	5
99	20	50	11	42	141	10	5
100	22	51	7	43	210	10	5
101	18	49	9	24	115	10	5
102	16	48	11	35	220	10	5
103	20	55	12	40	190	10	5

ตารางที่ ก.19 (ต่อ) ข้อมูลลูกค้าของโจทยขนาดใหญ่ข้อที่ 3

ลูกค้า	X	Y	ความ ต้องการ	กรอบเวลา เริ่มต้น (นาทื)	กรอบเวลา สิ้นสุด (นาทื)	เวลาในการ ขนถ่าย (นาทื)	ค่าปรับ (บาท/ นาทื)
104	18	53	7	66	155	10	5
105	14	50	8	45	189	10	5
106	15	51	6	68	133	10	5
107	16	54	5	44	152	10	5
108	28	33	12	88	198	10	5
109	33	38	13	60	210	10	5
110	30	50	7	76	140	10	5
111	13	40	7	59	110	10	5
112	15	36	8	83	190	10	5
113	18	31	11	56	173	10	5
114	25	37	13	67	166	10	5
115	30	46	11	33	190	10	5
116	25	52	10	53	177	10	5
117	16	33	7	89	148	10	5
118	25	35	4	74	217	10	5
119	5	40	20	78	177	10	5
120	5	50	13	64	202	10	5
ความต้องการรวม			1,375				

ภาคผนวก ข

Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทาง  
การขนส่งยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวม  
โดยวิธีอาณานิคมมด

มหาวิทยาลัยนเรศวร

## ข. Source Code ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง ยานพาหนะเพื่อหาค่าใช้จ่ายรวม โดยวิธีอาณานิคมมด

เพื่อสะดวกแก่ความเข้าใจ จะขอแบ่งการแสดงคำสั่งหรือ Source Code ตามลักษณะของโปรแกรม ซึ่งจะแบ่งได้ ดังนี้

- ข.1 การเปิดโปรแกรมและหน้าแรกที่เป็นส่วนต้อนรับโปรแกรม
- ข.2 โค้ดการทำงานของ User From Data
- ข.3 โค้ดการทำงานของ Module 1

### ข.1 การเปิดโปรแกรมและหน้าแรกที่เป็นส่วนต้อนรับโปรแกรม

เมื่อเปิดโปรแกรมจะเข้าหน้าแรกที่เป็นการต้อนรับของโปรแกรมโดยอัตโนมัติ

```
Private Sub CommandButton2_Click()
FormEx1.Show
End Sub
```

รูปที่ ข.1 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม Add ในหน้าแรกของโปรแกรม

```
Private Sub CommandButton1_Click()
Range("H2:ZZ5000").ClearContents
Dim Problem As String
Problem = Worksheets("Ant Colony Optimization").Range("B9").Value
If Problem = "Problem 1" Then
Filename = "InputTest2.xlsx"
ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 2" Then
Filename = "InputTest3.xlsx"
ReadInput (Filename)
```

รูปที่ ข.2 แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม RUN ในหน้าแรกของโปรแกรม

```
Elseif Problem = "Problem 3" Then
    Filename = "InputTest4.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 4" Then
    Filename = "InputTest5.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 5" Then
    Filename = "InputTest6.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 6" Then
    Filename = "InputTest7.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 7" Then
    Filename = "InputTest8.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 8" Then
    Filename = "InputTest9.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Elseif Problem = "Problem 9" Then
    Filename = "InputTest10.xlsx"
    ReadInput (Filename)
Else
    MsgBox "Please Enter only Problem", vbExclamation, "Message Box"
```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม RUN ในหน้าแรกของโปรแกรม



```

Load FormEx1

FormEx.1Show

End If

Method = Worksheets("Ant Colony Optimization").Range("B.c8Value

Select Case Method

Case "แบบระยะทางคู่"

Call IntSol

Case "แบบระยะทางรวม"

Call IntSol1

End Select

Range("B = ("13TotalTime

End Sub

Case "แบบระยะทางรวม"

Call IntSol1

End Select

Range("B = ("13TotalTime

End Sub

Case "แบบระยะทางรวม"

Call IntSol1

End Select

Range("B = ("13TotalTime

End Sub

```

รูปที่ ข.2 (ต่อ) แสดงคำสั่งเมื่อคลิกปุ่ม RUN ในหน้าแรกของโปรแกรม

## ข.2 ได้การทำงานของ User From Data

```
Private Sub CommandButton1_Click()  
Unload FormEx1  
If NumAnt.Text = "" Then  
    MsgBox "กรุณารอกค่าให้ครบ"  
Elseif NumGen.Text = "" Then  
    MsgBox "กรุณารอกค่าให้ครบ"  
Elseif PheInt.Text = "" Then  
    MsgBox "กรุณารอกค่าให้ครบ"  
Elseif Rho.Text = "" Then  
    MsgBox "กรุณารอกค่าให้ครบ"  
Elseif Alpha.Text = "" Then  
    MsgBox "กรุณารอกค่าให้ครบ"  
End If
```

รูปที่ ข.3 การทำงานของ User form Data

```
Elseif Alpha.Text = "" Then
    MsgBox "กรุณากรอกค่าให้ครบ"
End If

Range("C2").Value = NumAnt.Text
Range("C3").Value = NumGen.Text
Range("C4").Value = PheInt.Text
Range("C5").Value = Rho.Text
Range("C6").Value = Alpha.Text
Range("C7").Value = Beta.Text

Dim UserSelected As String
UserSelected = ComboBox1.Text

Select Case UserSelected
    Case "Problem 1"
        Range("B9").Value = "Problem 1"
    Case "Problem 2"
        Range("B9").Value = "Problem 2"
    Case "Problem 3"
        Range("B9").Value = "Problem 3"
    Case "Problem 4"
        Range("B9").Value = "Problem 4"
    Case "Problem 5"
        Range("B9").Value = "Problem 5"
    Case "Problem 6"
        Range("B9").Value = "Problem 6"
    Case "Problem 7"
        Range("B9").Value = "Problem 7"
```

รูปที่ ข.3 (ต่อ) การทำงานของ User form Data

```

Case "Problem 8"

    Range("B9").Value = "Problem 8"

Case "Problem 9"

    Range("B9").Value = "Problem 9"

End Select

If OptionButton1 Then Worksheets("Ant Colony Optimization").Range("B8") = "แบบระยะทางคู่"

If OptionButton2 Then Worksheets("Ant Colony Optimization").Range("B8") = "แบบระยะทางรวม"

End Sub

```

### รูปที่ ข.3 (ต่อ) การทำงานของ User form Data

```

Private Sub UserForm_Initialize()

OptionButton1.Value = True

NumAnt.Value = "100"

NumGen.Value = "100"

PheInt.Value = "1"

Rho.Value = "0.3"

Alpha.Value = "5"

Beta.Value = "5"

ComboBox1.List = Array("Problem 1", "Problem 2", "Problem 3", "Problem 4", "Problem 5",
"Problem 6", "Problem 7", "Problem 8", "Problem 9")

ComboBox1.Text = "Problem 1"

End Sub

```

### รูปที่ ข.4 การกำหนดค่าพารามิเตอร์ใน User Form

## ข.3 โค้ดการทำงานของ Module 1

```
Option Explicit
Public NumCust As Integer
Public CoX() As Integer
Public CoY() As Integer
Public Filename As String
Public NumTV As Integer 'ชนิดของรถที่ชนิด
Public NumV() As Integer
Public Cap() As Integer
Public FCost() As Integer
Public VCost() As Single
Public LCost() As Single
Public speed() As Single
Public Demand() As Integer
Public STW() As Integer
Public FTW() As Integer
Public TranTime() As Integer
Public PCost() As Integer
Public i As Integer
Public j As Integer
Public k As Integer
```

รูปที่ ข.5 การประกาศตัวแปร





Public BestAnt() As Integer  
Public BestAntCost As Double  
Public CountZeroEvalF As Integer  
Public Ant\_Dist() As Double  
Public MaxNumV As Integer  
Public Method As String  
Public StartTime As Double  
Public TotalTime As Double  
Public TotalDistBestAntSol As Double  
Public Sub IntSol()  
Dim NumAnt\_Gen\_Run As Integer  
Dim Rho\_Run As Integer  
Dim Alpha\_Run As Integer  
Dim Beta\_Run As Integer  
Dim NumIter\_Run As Integer  
Dim LineCount As Integer  
Dim MaxAntAtt As Double  
Dim CountRange As Range  
Dim ws As Worksheet

รูปที่ ข.5 (ต่อ) การประกาศตัวแปร



```
ReadInput (Filename)

Dim a As Integer

For i = 1 To Ant_NumAnt

    Ant_CurAnt(i, 0) = 1

    Ant_CurAnt(i, TotalRepPos) = 0

Next i

For i = 0 To NumCust

    For j = 0 To NumCust

        If i = j Then

            Ant_Phe(i, j) = 0

        Else

            Ant_Phe(i, j) = Ant_IntPhe

        End If

    Next j

Next i
```

รูปที่ ข.6 การสร้างพีโรโมนเริ่มต้น

```
For i = 0 To NumCust
    For j = 0 To NumCust
        If i = j Then
            Ant_Pi(i, j) = 0
        Else
            If Distance(i, j) > 0 Then
                Ant_Pi(i, j) = 1 / Distance(i, j)
            Elself Distance(i, j) = 0 Then
                Ant_Pi(i, j) = 10
            End If
        End If
    Next j
Next i
```

รูปที่ ข.7 การหาค่าส่วนกลับของระยะทาง

```
BestAntCost = 1E+17 'Initialize the best solution so far

For z = 1 To Ant_NumGen

  For i = 0 To NumCust

    For j = 0 To NumCust

      If i = j Then

        Ant_Att(i, j) = 0

      Else

        Ant_Att(i, j) = ((Ant_Phe(i, j)) ^ Ant_Alpha) * ((Ant_Pi(i, j)) ^ Ant_Beta)

      End If

    Next j

  Next i
```

รูปที่ ข.8 การวนตามจำนวนรอบ

มหาวิทยาลัยพระนคร

'ค่าความน่าจะเป็น

For i = 1 To Ant\_NumAnt

CountZero = 0

MaxZero = TotalRepPos - NumCust - 2

For j = 0 To NumCust 'เซตค่า 0 ทุกรอบ

Visited(j) = False

Next j

Ant\_CustomerLeft = NumCust 'จำนวนลูกค้าที่เหลืออยู่

For j = 2 To TotalRepPos - 1

MaxAntAtt = 0

Ant\_TotalAtt = 0

'คำนวณค่าผลรวม Att และค่า Att สูงสุดที่ได้

For k = 1 To NumCust

If Visited(k) = False Then

Ant\_TotalAtt = Ant\_TotalAtt + Ant\_Att(Ant\_CurAnt(i, j), k)

If MaxAntAtt < Ant\_Att(Ant\_CurAnt(i, j), k) Then

MaxAntAtt = Ant\_Att(Ant\_CurAnt(i, j), k)

End If

End If

รูปที่ ข.9 การหาค่าความน่าจะเป็น

' หากความน่าจะเป็นให้ 0 หรือการขึ้นรถคันใหม่

If CountZero < MaxZero Then

If Ant\_CustomerLeft > 0 Then ' กรณีที่ยังมีลูกค้าเหลืออยู่

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0) = (Ant\_TotalAtt / Ant\_CustomerLeft) \_

\* (MaxZero - CountZero) \* Ant\_CustomerLeft

'Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0) = MaxAntAtt

\* (MaxZero - CountZero)

\* ((MaxZero - CountZero + Ant\_CustomerLeft) / (MaxZero - CountZero))

Elseif Ant\_CustomerLeft = 0 Then ' กรณีที่ไม่มีลูกค้าแล้ว ความน่าจะเป็นที่จะไป depot จะเป็น 1

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0) = 1

End If

Else ' กรณีที่ใช้รถไปทุกคันแล้ว ความน่าจะเป็นที่จะเริ่มรถคันใหม่เป็น 0

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0) = 0

End If

รูปที่ ข.9 (ต่อ) การหาค่าความน่าจะเป็น

การตั้งค่าความน่าจะเป็นให้กับลูกค้ำที่ถูกเลือกแต่ละคน

For k = 1 To NumCust

If Visited(k) = True Then 'ถ้าลูกค้ำได้รับสินค้าไปแล้ว ความน่าจะเป็นที่จะเดินทางไปหาลูกค้ำคนนั้นเป็น 0

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), k) = 0

Else 'ถ้ายังไม่ได้ไปก็จะมีการกำหนดความน่าจะเป็นให้

If Ant\_TotalAtt > 0 Then

If Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0) > 0 Then

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), k) = Ant\_Att(Ant\_CurAnt(i, j), k) / (Ant\_TotalAtt +  
Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), 0))

Else

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), k) = Ant\_Att(Ant\_CurAnt(i, j), k) / Ant\_TotalAtt

End If

Else

Ant\_Prob(Ant\_CurAnt(i, j), k) = 0

End If

End If

รูปที่ ข.10 การตั้งค่าความน่าจะเป็นให้กับลูกค้ำที่ถูกเลือกแต่ละคน

```

' การหาค่าความน่าจะเป็นให้ 0 อีกที
If Ant_CustomerLeft = 0 Then

    Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), 0) = 1

Else

    If Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), 0) > 0 Then

        Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), 0) = Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), 0) / (Ant_TotalAtt +
        Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), 0))

    End If

End If

```

รูปที่ ข.11 การตั้งค่าความน่าจะเป็นให้กับลูกค้าที่ถูกเลือกแต่ละคน

```

' การสร้างเส้นทางเดินทางด้วยวงกลมรูเล็ต
Ant_Roulette(1) = 0

For k = 2 To NumCust + 2 'หาความถี่สะสมจากความน่าจะเป็น

    Ant_Roulette(k) = Ant_Roulette(k - 1) + Ant_Prob(Ant_CurAnt(i, j), k - 2)

Next k

```

รูปที่ ข.12 การสร้างเส้นทางเดินทางด้วยวงกลมรูเล็ต

```

' การสุ่มหาเส้นทางตั้งแต่ 1-0

RndNum = Rnd

For k = 1 To NumCust + 1

    If RndNum > Ant_Roulette(k) And RndNum <= Ant_Roulette(k + 1) Then

        Ant_CurAnt(i, j) = k - 1

    End If

    If RndNum < Ant_Roulette(k) Then

        Exit For

    End If

Next k

If Ant_CurAnt(i, j) <> 0 Then

    Ant_CurAnt(i, 0) = (1

    Visited(Ant_CurAnt(i, j)) = True ' เส้นทางที่ถูกเลือกจะไม่เอามาคิด ให้ได้เป็น True

    Ant_CustomerLeft = Ant_CustomerLeft - 1 ' จำนวนลูกค้าที่เหลือลดลง 1

Else

    CountZero = CountZero + 1 ' ถ้าเป็น 1 ให้คิดจำนวนรถเพิ่มขึ้นไป 0

End If

Next j

```

รูปที่ ข.13 การสุ่มหาเส้นทางตั้งแต่ 1-0



```

For j = 1 To TotalRepPos

    Next j

Next i

For i = 1 To Ant_NumAnt 'ค่าใช้จ่าย

    For j = 1 To TotalRepPos 'เก็บตัวแทนค่าตอบแทน Costsol

        CostSol(j) = Ant_CurAnt(i, j)

    Next j

    CountZeroEvalF = 0

    For j = 1 To TotalRepPos

        If CostSol(j) = 0 Then

            CountZeroEvalF = CountZeroEvalF + 1

        End If

    Next j

    If CountZeroEvalF = TotalNumV + 1 Then

        Call EvalF(CostSol) 'เรียก Evalf แสดงค่าใช้จ่าย

        AntCost(i) = TotalCost

    Else

        AntCost(i) = 1000000000

    End If

```

รูปที่ ข.14 แสดงการหาค่าใช้จ่าย

'หามดที่ให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

BestCost = AntCost(1)

BestAntIndex = 1

For i = 2 To Ant\_NumAnt

If AntCost(i) < BestCost Then

BestCost = AntCost(i)

BestAntIndex = i

End If

Next i

For j = 1 To TotalRepPos

BestAntSol(j) = Ant\_CurAnt(BestAntIndex, j)

Next j

รูปที่ ข.15 การหามดที่ให้ค่าใช้จ่ายต่ำที่สุด

'updat Pheromone ระบุเขยก่อน

For i = 0 To NumCust

For j = 0 To NumCust

Ant\_Phe(i, j) = Ant\_Phe(i, j) \* (1 - Ant\_Rho)

Next j

Next i

รูปที่ ข.16 แสดงการ update Pheromone

'เพิ่มฟีโรโมนในเส้นทางที่สุด แบบระยะทางคู่

For i = 1 To TotalRepPos - 1

Ant\_Phe(BestAntSol(i), BestAntSol(i + 1)) = Ant\_Phe(BestAntSol(i), BestAntSol

(i + 1)) + Ant\_Pi(BestAntSol(i), BestAntSol(i + 1))

Next i

รูปที่ ข.17 แสดงการเพิ่มฟีโรโมนในเส้นทางที่สุดแบบระยะทางคู่

'เพิ่มฟีโรโมนในเส้นทางที่สุด แบบระยะทางรวม

For i = 1 To TotalRepPos - 1

Ant\_Phe(BestAntSol(i), BestAntSol(i + 1)) = Ant\_Phe(BestAntSol(i), BestAntSol (i + 1))  
+ (1 / TotalDistBestAntSol)

Next i

รูปที่ ข.18 แสดงการเพิ่มฟีโรโมนในเส้นทางที่สุดแบบระยะทางรวม

If BestCost < BestAntCost Then

BestAntCost = BestCost

For j = 1 To TotalRepPos

BestAnt(j) = Ant\_CurAnt(BestAntIndex, j)

BestAnt(j) = BestAntSol(j)

Next j

End If

รูปที่ ข.19 การเลือกค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดในแต่ละรอบ

## ประวัติผู้ดำเนินโครงการ



ชื่อ นางสาวฉันทยานต์ แสงคำ  
ภูมิลำเนา 219/2 ม.2 ต.ป่าหุ่ง อ.พาน จ.เชียงราย  
ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพานพิทยาคม  
จ.เชียงราย  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail Noonnoitunyan@gmail.com



ชื่อ นางสาวสรินยา ท้าวอินทร์ดี  
ภูมิลำเนา 5/17 ต.แม่ฮ้อ อ.พาน จ.เชียงราย  
ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนพานพิเศษพิทยา  
จ.เชียงราย  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail Am\_sarinya2537@hotmail.com



ชื่อ นางสาวอภรณ์ เจียงกองโค  
ภูมิลำเนา 74 ม.7 ต.หาดจิว อ.เมือง จ.อุตรดิตถ์  
ประวัติการศึกษา จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนเตรียมอุดมศึกษา  
น้อมเกล้า อุตรดิตถ์ จ.อุตรดิตถ์  
ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4  
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร  
E-mail Pop\_apantree@hotmail.com