การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค

SOLVING THE DYNAMIC VEHICLE ROUTING

BY PARTICLE SWARM OPTIMIZATION

นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ รหัส 54365730

นายทศพร จตุรภุชาภรณ์ รหัส 54365778

นางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร รหัส 54365907

i 6874721

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปีการศึกษา 2557

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ รหัส 54365730
	นายทศพร จตุรภุชาภรณ์ รหัส 54365778
	นางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร รหัส 54365907
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

....

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร อนุมัติให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

....ที่ปรึกษาโครงงาน
(ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง)

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

....กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ศรีสัจจา วิทยศักดิ์)

ชื่อหัวข้อโครงงาน	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค
ผู้ดำเนินโครงงาน	นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์ รหัส 54365730
	นายทศพร จตุรภุชาภรณ์ รหัส 54365778
	นางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร รหัส 54365907
ที่ปรึกษาโครงงาน	ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ภาควิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
ปีการศึกษา	2557

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตมีลักษณะที่แตกต่างจากปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบดั้งเดิม คือ ข้อมูลรายละเอียดของลูกค้าสามารถมีการเปลี่ยนแปลงได้เมื่อเวลาผ่านไป ทำให้ปัญหานี้จัดเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนขึ้นจากปัญหาแบบดั้งเดิมโดยปัญหาที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางของยานพาหนะที่ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่ง ซึ่งประกอบไปได้ค่าใช้จ่ายคงที่ และค่าใช้จ่ายแปรผันในการใช้ยานพาหนะ และค่าปรับที่เกิดจากการส่งสินค้าล่าช้า รูปแบบการขนส่งที่ใช้สำหรับปัญหานี้ กำหนดให้มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียวสามารถมีรถได้หลายประเภท และมีกรอบเวลาในการขนส่งของลูกค้าแต่ละคน

สำหรับวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคที่นำมาใช้ในการแก้ปัญหานั้นเป็นวิธีที่จัดอยู่ในกลุ่มเมตาฮิวริสติก ซึ่งเป็นวิธีในการหาคำตอบที่ใช้เวลารวดเร็วแต่ไม่รับรองว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดมีแนวคิดมาจากการศึกษาพฤติกรรมทางสังคมของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงนก โดยนกแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่ม เรียกว่า อนุภาค (Particle) การบินของนกหากมองเป็นพารามิเตอร์ จะประกอบไปด้วยตำแหน่งที่นกบินอยู่ (Position) และความเร็วของการเคลื่อนที่โดยวิธีกลุ่มอนุภาค มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องกำหนด ซึ่งอาจมีผลต่อคุณภาพของผลลัพธ์ ได้แก่ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบ น้ำหนักแรงเฉื่อย ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว และ ความเร็วที่เรามีการเปลี่ยนแปลงในการทดลอง

วิธีกลุ่มอนุภาค ที่ผู้ดำเนินโครงงานได้นำมาประยุกต์ใช้ได้มีการนำมาทดสอบกลับปัญหาสามขนาด คือ ขนาดเล็ก กลาง และใหญ่ เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละปัญหา และได้มีการนำไปเปรียบเทียบกลับวิธีการอื่นๆ ได้แก่ วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการหาคำตอบเฉพาะที่แบบทำซ้ำ และวิธีอาณานิคมมด

Project title	Solving the dynamic vehicle routing by Particle Swarm Optimization
Author	Ms. Nichapat Pitisuwannarat ID 54365730
	Mr. Todsaporn Jtirapuchaporn ID 54365778
	Ms. Panadda Phetsupaporn ID 54365907
Project advisor	Dr. Kwanniti Khammuang
Major	Industrial Engineering
Department	Industrial Engineering
Academic year	2014

Abstract

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

The Particle Swarm Optimization algorithm is one of the metaheuristics method which usually acquires fast computation time but does not guarantee optimal solution. The Particle Swarm Optimization algorithm is inspired by the social behavior of organisms. Parameters, which are Number of Particle, Number of Iteration, Inertia Weight, Global Best Position, Personal Best Position and Velocity Number of particle, Number of Iteration, Inertia Weight, Global Best Position, Personal Best Position and Velocity are important for Particle Swam Optimization application as they can influence the quality of solution.

The experiment were performed on three problems of various sizes, namely small, middle and large, in order to find suitable parameters and assesses the algorithm's performance. The results were compared with those obtained from

Genetic Algorithm, Simulated Annealing, Ant Colony Optimization and Iterated Local Search.

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความช่วยเหลือเป็นอย่างดีจาก ดร.ขวัญนิธิ คำเมือง อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญานิพนธ์ ซึ่งท่านได้สอน ให้คำแนะนำ และได้เสนอข้อคิดเห็นต่างๆ ให้ผู้ดำเนินโครงงานตลอดมา ทำให้ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้มีความสมบูรณ์และถูกต้อง

ขอขอบคุณอาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ทุกท่าน ขอบพระคุณบิดามารดา ที่ได้สนับสนุนในเรื่องทุนการศึกษา และให้กำลังใจที่ดีในทุกๆ เรื่อง จนทำให้ผู้ดำเนินโครงงานมีขวัญ และกำลังใจที่ดีตลอดมา

ผู้ดำเนินโครงงาน
นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์
นายทศพร จตุรภุชาภรณ์
นางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร
เมษายน 2558

สารบัญ

	หน้า
ใบรับรองปริญญานิพนธ์	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	จ
สารบัญ	ฉ
สารบัญตาราง	ญ
สารบัญรูป	ฎ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน	1
1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน	2
1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ	2
1.5 ขอบเขตการดำเนินโครงงาน	2
1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน	3
1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน	3
1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น	4
2.1 อธิบายถึงปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ	4
2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ	4
2.1.2 การแบ่งกลุ่มของปัญหาตามเงื่อนไข	5
2.1.3 ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขน	12
2.1.4 จัดกลุ่มตามวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา	15
2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต	15
2.3 วิธีการเมตาฮิวริสติก	23
2.4 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก	25
2.4.1 การใช้วิธีเจเนติกอัลกอลิทึม	25
2.4.2 การใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม	25
2.5 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค	26

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.5.1 หลักการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค....26

2.5.2 สัญลักษณ์และคำจำกัดความที่ใช้ในวิธีกลุ่มอนุภาค....27

2.5.3 วิธีกลุ่มอนุภาคแบบมาตรฐาน....28

2.5.4 ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค....29

2.6 โปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel....33

บทที่ 3 วิธีการดำเนินโครงงาน....34

3.1 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง....35

3.1.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ....35

3.1.2 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต....35

3.1.3 ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น....35

3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก....35

3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการแบบกลุ่มอนุภาค....36

3.4 ศึกษาข้อมูลการเขียนโปรแกรม (VBA) บน Microsoft Excel....36

3.5 ออกแบบกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยใช้โปรแกรม (VBA) บน Microsoft Excel....36

3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์....36

3.7 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีกลุ่มอนุภาค....36

3.8 สรุปผลการดำเนินโครงงาน....36

บทที่ 4 ผลการดำเนินโครงงาน....37

4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ....37

4.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ....37

4.1.2 ค่าคำตอบ....43

4.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต....43

4.2.1 ลักษณะปัญหาในโครงงาน....45

4.3 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค....46

4.4 วิธีการกลุ่มอนุภาค....49

4.4.1 การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว....50

4.4.2 การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล....52

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.4.3 การปรับค่าความเร็วใหม่ 43
4.4.4 การปรับค่าตำแหน่งใหม่ 55
4.4.5 ค่าพารามิเตอร์ 58
4.5 โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต โดยวิธีกลุ่มอนุภาค 59
4.5.1 เริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม 59
4.5.2 ส่วนรับข้อมูลในหน้า Worksheet PSO 62
4.5.3 ส่วนรับข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล 63
4.5.4 การประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด 64
4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง 64
4.6.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก 67
4.6.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง 71
4.6.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่ 75
4.6.4 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์ 79
4.7 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ 82
4.7.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 83
4.7.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 86
4.7.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 89
4.7.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 92
4.7.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 95
4.7.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 98
4.8 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่น 101
4.8.1 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่นที่ออกมา ในรูปแบบตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ และค่าต่ำสุดของผลลัพธ์ 101
4.8.2 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่นที่ออกมา ในรูปแบบของกราฟแสดงผลลัพธ์การลู่เข้าของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 1 103
4.8.3 การแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ใน การคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่น 104

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 บทสรุป และข้อเสนอแนะ 105

5.1 บทสรุป 105

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน 107

5.3 ข้อเสนอแนะ 108

เอกสารอ้างอิง 109

ภาคผนวก ก โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ 110

ภาคผนวก ข Source Code ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

Visual Basic for Application 123

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน 136

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน	3
2.1 การแบ่งกลุ่มของปัญหาตามเงื่อนไข	11
2.2 สมมติฐานของตัวอย่างปัญหา VRP	12
2.3 ตัวอย่างความต้องการสินค้าของลูกค้าทั้ง 5 ราย ของปัญหา VRP	12
2.4 ตัวอย่างระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) ของปัญหา VRP	13
2.5 สมมติฐานของตัวอย่างปัญหา DVRP	17
2.6 ตัวอย่างคำสั่งซื้อสินค้าแบบมีกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า ของปัญหา DVRP	17
2.7 ตัวอย่างระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) ของปัญหา DVRP	18
4.1 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ 1	44
4.2 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ 2	65
4.3 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าเท่ากัน	66
4.4 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	67
4.5 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 กรณีที่ค่า Cp ,Cg มีค่าเท่ากัน	68
4.6 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	69
4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าเท่ากัน	70
4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	71
4.9 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าเท่ากัน	72
4.10 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	73
4.11 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าเท่ากัน	74
4.12 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	75
4.13 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าเท่ากัน	76
4.14 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp, Cg มีค่าไม่เท่ากัน	77
4.15 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์	78
4.16 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าต่ำสุดที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์	79
4.17 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น	80
4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น	101
4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่ำสุดของผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น	102
4.20 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่น	104

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ....4

2.2 ตัวอย่างค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน....5

2.3 ตัวอย่างการแจกแจงปกติ....5

2.4 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของการจัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา....6

2.5 ตัวอย่างการขนส่งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา....6

2.6 ตัวอย่างการขนส่งที่มีข้อจำจัดด้านเวลาอย่างไม่เคร่งครัด....7

2.7 ตัวอย่างการขนส่งที่มีข้อจำจัดด้านเวลาอย่างเคร่งครัด....7

2.8 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบคาบเวลาเดียว....8

2.9 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบหลายคาบเวลา....8

2.10 ตัวอย่างการจัดกลุ่มตามจุดเริ่มต้นเดียว....9

2.11 ตัวอย่างการจัดกลุ่มตามจุดเริ่มต้นหลายจุด....9

2.12 ตัวอย่างจัดกลุ่มตามลักษณะการเดินรถแบบปิด....10

2.13 ตัวอย่างจัดกลุ่มตามลักษณะการเดินรถแบบเปิด....10

2.14 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของปัญหา VRP....13

2.15 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้า....14

2.16 ตัวอย่างสัญลักษณ์อธิบายปัญหา DVRP....16

2.17 ตัวอย่างจำนวนลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า และเส้นทางการขนส่งของปัญหา DVRP....16

2.18 ตัวอย่างการเพิ่มเข้ามาของลูกค้า และการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ของปัญหา DVRP....16

2.19 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของปัญหา DVRP....18

2.20 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าของลูกค้าที่ทราบจำนวนล่วงหน้าของปัญหา DVRP....19

2.21 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของปัญหา DVRP....19

2.22 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 1 ของปัญหา DVRP....20

2.23 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 2 ของปัญหา DVRP....20

2.24 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของปัญหา DVRP....21

2.25 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 1 ของปัญหา DVRP....21

2.26 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 2 ของปัญหา DVRP....22

2.27 ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค....29

2.28 การคำนวณการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาค....31

3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงงาน
ของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต....33

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 แสดงตัวแทนคำตอบ....37
4.2 การแบ่งยานพาหนะของตัวแทนคำตอบ....38
4.3 การแบ่งยานพาหนะของตัวแทนคำตอบเริ่มต้น....38
4.4 วิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบ....39
4.5 การปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ....41
4.6 การนำค่าคำตอบเริ่มต้นมาประยุกต์ใช้กับวิธีกลุ่มอนุภาค....42
4.7 การหาค่าคำตอบ....43
4.8 การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic....45
4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการกลุ่มอนุภาค....47
4.10 แสดงการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลในแต่ละรอบ....49
4.11 แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว....50
4.12 แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล....52
4.13 แสดงการปรับค่าความเร็วใหม่....54
4.14 แสดงการปรับค่าตำแหน่งใหม่....55
4.15 แสดงขั้นตอนการปรับค่าทศนิยมเป็นจำนวนเต็ม....56
4.16 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม....59
4.17 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง....60
4.18 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่ต้องการ....60
4.19 แสดงหน้าต่างยืนยันการกรอกข้อมูล....61
4.20 ระบุค่าที่ใช้ในวิธีกลุ่มอนุภาค....62
4.21 ส่วนรับข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล....63
4.22 แสดงข้อมูลประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด....64
4.23 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 1....83
4.24 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1....84
4.25 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1....84
4.26 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1....85
4.27 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 2....86
4.28 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2....87
4.29 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2....87
4.30 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2....88

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.31 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 1 89

4.32 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1 90

4.33 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 90

4.34 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1 91

4.35 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 2 92

4.36 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2 93

4.37 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 93

4.38 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2 94

4.39 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 1 95

4.40 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 96

4.41 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 96

4.42 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 97

4.43 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 2 98

4.44 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 99

4.45 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 99

4.46 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 100

4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Convergence 103

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของโครงงาน

ในปัจจุบันการขนส่งในภาคอุตสาหกรรม และการบริการนั้นถือ ได้ว่าเป็นสิ่งที่มีความสำคัญอย่างมากในการขายสินค้าให้กับลูกค้า หรือผู้บริโภคไม่ว่าจะเป็นการขนส่งวัตถุดิบ สินค้าหรือผลิตภัณฑ์อื่นๆ จากต้นทางหรือคลังสินค้าไปยังปลายทาง หรือจุดรับสินค้าล้วนแล้วแต่มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งมาเกี่ยวข้องด้วยกันทั้งสิ้น จึงทำให้เกิดเป็นปัญหาการขนส่งจากคลังสินค้าขึ้น โดยตัวแปรที่สำคัญในการขนส่งนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัยด้วยกัน เช่น เส้นทางการขนส่ง ระยะทางการขนส่ง และปริมาณความจุของรถที่ใช้ขนส่ง เป็นต้น ซึ่งปัญหาการขนส่งนี้จะไปส่งผลกระทบโดยตรงกับราคาต้นทุนสินค้าที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ต้องมีการพิจารณาถึงการแก้ไขปัญหาการขนส่ง เพื่อให้ลูกค้าที่สั่งของจากคลังสินค้าได้รับความพึงพอใจในการให้บริการส่งของที่มีความรวดเร็ว ได้รับของตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการและจัดเส้นทางการขนส่งให้ครอบคลุมพื้นที่ต่อการสั่งสินค้าจากลูกค้า โดยมีเป้าหมายเพื่อให้เสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งจะมีข้อจำกัดทั้งทางด้านของราคาค่าขนส่ง ระยะทาง ปริมาณความต้องการ และช่วงเวลาที่สามารถขนส่งได้ เป็นต้น

จากการที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการศึกษาค้นคว้าถึงปัญหาการกระจายสินค้า และการให้บริการในภาคอุตสาหกรรม พบว่า ปัญหาในการกระจายสินค้า และการให้บริการในภาคอุตสาหกรรมนั้น มีปัญหาอยู่หลากหลายรูปแบบด้วยกัน เช่น ปัญหาช่วงเวลาที่จะต้องส่งของให้ทันตามเวลาที่ลูกค้าต้องการ ปัญหาค่าจ้างพนักงานขับรถ ปัญหาค่าน้ำมันที่ขึ้นอยู่กับระยะทางการขนส่ง และหนึ่งในปัญหาเหล่านี้ที่ควรได้รับการแก้ไข คือ ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP) ซึ่งเป็นปัญหาการตัดสินใจหาเส้นทางการเดินทางจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าโดยมีการปรับเปลี่ยนเส้นทางของยานพาหนะที่ได้รับการวางแผนให้มีค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานลดลง ทำให้ทางผู้ดำเนินโครงงานได้มีการศึกษาถึงการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะขึ้น โดยได้นำโปรแกรม Microsoft Excel ไปใช้ในการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด หรือเรียกว่า Optimal Solution ในการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพนะ เพื่อช่วยลดต้นทุนการขนส่งและทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปพัฒนาในการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงงาน

เพื่อสร้างโปรแกรมที่ใช้แก้ไขปัญหาบน Microsoft Excel โดยวิธีกลุ่มอนุภาค ด้วยภาษา Visual Basic for Applications (VBA)

1.3 เกณฑ์ชี้วัดผลงาน (Output)

ผลจากการทดลองโปรแกรมที่ใช้ในการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต ที่ผ่านการทดสอบที่ถูกต้องแล้ว

1.4 เกณฑ์ชี้วัดผลสำเร็จ (Outcome)

โปรแกรมที่ช่วยในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต สามารถนำไปช่วยลดค่าใช้จ่ายรวม ซึ่งประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา

1.5 ขอบเขตในการดำเนินโครงงาน

1.5.1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem : DVRP) ที่ทำการศึกษามีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้เกิดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ (Fixed Cost) ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง (Variable Cost) และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา (Penalty Cost)

1.5.2 รายละเอียดของลูกค้า ประกอบด้วย ตำแหน่งของลูกค้า ปริมาณความต้องการของลูกค้า กรอบเวลาในการรับสินค้า (จะรู้ล่วงหน้าเพียงบางราย และจะทยอยเข้ามาเมื่อกำลังดำเนินการส่ง)

1.5.3 ปริมาณความต้องการของลูกค้าจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะ

1.5.4 มีคลังสินค้าเพียงแห่งเดียว และมีสินค้าพร้อมส่งไม่จำกัด

1.5.5 ยานพาหนะทุกคันจอดอยู่ที่คลังสินค้า และยานพาหนะจะพร้อมใช้งานอยู่ตลอดเวลา

1.5.6 ยานพาหนะจะเริ่มต้นออกจากคลังสินค้าในเวลาเริ่มต้นของวันทำงาน และจะกลับมาที่คลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ

1.5.7 เมื่อยานพาหนะออกจากคลังสินค้าไปแล้ว เมื่อมีการสั่งของจากลูกค้าใหม่เข้ามา ยานพาหนะไม่จำเป็นต้องกลับไปที่คลังสินค้า เพื่อบรรทุกสินค้าเพิ่ม แต่ยานพาหนะสามารถพิจารณาให้บริการสินค้าใหม่โดยใช้สินค้าที่บรรจุอยู่บนรถได้เลย

1.5.8 ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายมีความสมมาตรกัน

1.5.9 เวลาที่ใช้สำหรับขนถ่ายสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีค่าเท่ากัน

1.5.10 ไม่คำนึงถึงเรื่องการจัดวางสินค้า และสินค้าจะไม่ได้รับความเสียหายขณะขนส่ง

1.5.11 ถ้าหากยานพาหนะเดินทางไปถึงลูกค้าก่อนเวลาการรับสินค้า ยานพาหนะจำเป็นต้องรอคอยให้ถึงช่วงเริ่มต้นของกรอบเวลาลูกค้ารายนั้นก่อนจึงจะสามารถส่งของได้

1.5.12 ถ้าหากยานพาหนะไปส่งของถึงลูกค้าเลยเวลาที่ลูกค้ากำหนด ลูกค้าจะสามารถรับสินค้าได้ (ในกรณีนี้จะมีค่าปรับ ซึ่งค่าปรับจะไม่เปลี่ยนแปลงตามเวลา)

1.5.13 ยานพาหนะในการขนส่งสินค้ามี 3 ขนาด และมีจำนวนไม่จำกัด

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

1.6 สถานที่ในการดำเนินโครงงาน

ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

1.7 ระยะเวลาในการดำเนินโครงงาน

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

1.8 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ตารางที่ 1.1 ขั้นตอนและแผนการดำเนินโครงงาน

ลำดับ	การดำเนินโครงงาน	ช่วงเวลา								
		ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.
1.8.1	กำหนดหัวข้อโครงงาน	↔								
1.8.2	ศึกษารูปแบบลักษณะและเงื่อนไขในปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต	↔	↔							
1.8.3	ศึกษาวิธีกลุ่มอนุภาค		↔	↔	↔					
1.8.4	ออกแบบและเขียนโปรแกรมกระบวนการทำงานของ วิธีกลุ่มอนุภาคลงบนคอมพิวเตอร์			↔	↔	↔				
1.8.5	ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม						↔	↔		
1.8.6	ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคเพื่อค้นหาคำตอบกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต							↔	↔	
1.8.7	สรุปผลการดำเนินโครงงาน									↔

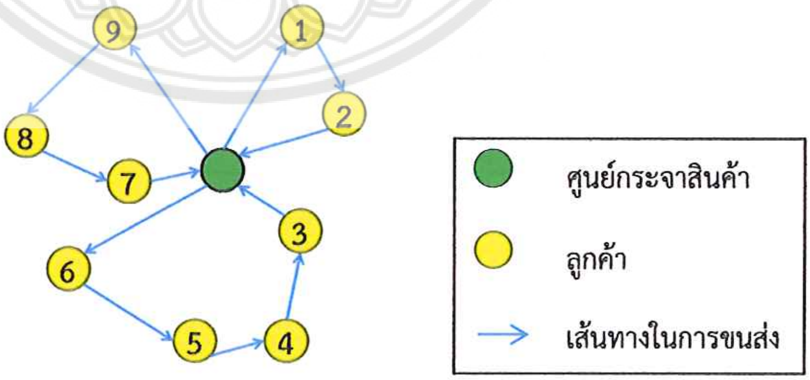
บทที่ 2
หลักการและทฤษฎีเบื้องต้น

เนื้อหาในบทนี้จะเริ่มกล่าวถึงตั้งแต่หลักการ และทฤษฎีของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะอธิบายวิธีการหาค่าที่เหมาะที่ดีที่สุดด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) โดยใช้โปรแกรม Visual Basic for Applications บน Microsoft Office

2.1 อธิบายถึงปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem : VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการขนส่ง และโลจิสติกส์ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถแต่ละคันให้เหมาะสมที่สุด ซึ่งการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะจะมีศูนย์กระจายสินค้าเป็นศูนย์กลาง และลูกค้าที่กระจายตัวตามจุดต่างๆ ที่ทราบตำแหน่งที่ตั้งในแต่ละราย โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้ามีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันออกไปซึ่งจะต้องทราบความต้องการที่แน่นอนล่วงหน้า และจะกลับมาสิ้นสุดเส้นทางที่คลังสินค้าเริ่มต้น อาจต้องคำนึงถึงเงื่อนไขต่างๆ ที่เข้ามารวมด้วยทั้งในด้านของค่าใช้จ่าย และสอดคล้องกับข้อจำกัดต่างๆ ที่มี เช่น ความจุของยานพาหนะ ช่วงเวลาในการรับส่ง (Time Windows) ผลเฉลยของปัญหาจะเป็นการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ที่เริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจายสินค้า เพื่อไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า แสดงดังรูปที่ 2.1 จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ทั้งหมด 3 เส้นทางด้วยกัน โดยแต่ละเส้นทางมีการกระจายตัวของลูกค้าแต่ละรายอยู่ (ระพีพันธ์ 2554)

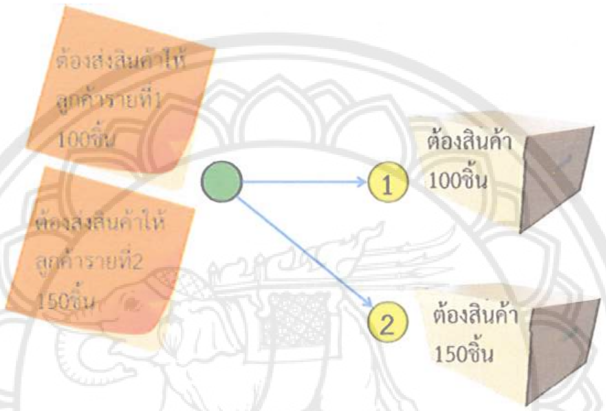


รูปที่ 2.1 ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ

2.1.2 การแบ่งกลุ่มของปัญหาตามเงื่อนไข

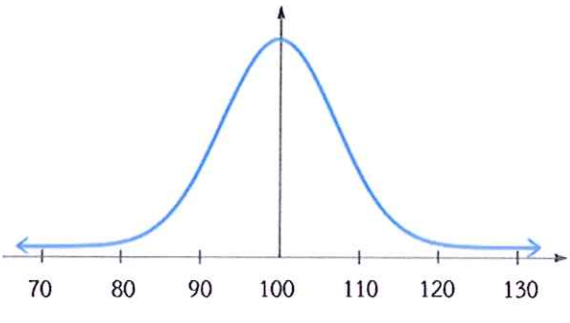
2.1.2.1 จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า จะเป็นการนำความต้องการของลูกค้ามาพิจารณา เพื่อทำการจัดกลุ่ม ดังนี้

ก. ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน (Deterministic Demand) มีการสั่งสินค้าก่อน และจัดเส้นทางการขนส่ง หรือทำการประมาณค่าจากการใช้ค่าเฉลี่ย หรือค่าทางสถิติอย่างใดอย่างหนึ่ง ตัวอย่าง ทราบความต้องการของจำนวนสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่แน่นอน แสดงดังรูปที่ 2.2 จะเห็นได้ว่าศูนย์กระจายสินค้าทราบถึงความต้องการของลูกค้ารายที่ 1 และลูกค้ารายที่ 2 ล่วงหน้าก่อนที่จะมีการจะมีการจัดส่งสินค้า



รูปที่ 2.2 ตัวอย่างค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแน่นอน

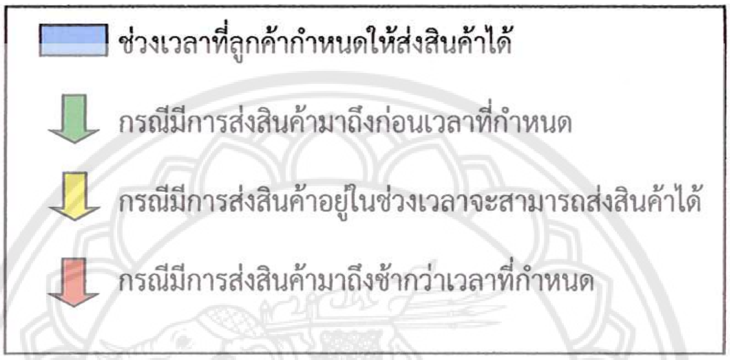
ข. ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าไม่แน่นอน (Stochastic Demand) ตัวอย่าง การแจกแจงแบบปกติที่ไม่สามารถทราบความต้องการของลูกค้าที่แน่นอนได้ แสดงดังรูปที่ 2.3 จะเห็นได้ว่าลูกค้ามีความต้องการที่ไม่แน่นอน โดยมีการแจกแจงความน่าจะเป็นแบบปกติ ลูกค้าจะมีความต้องการสินค้าเฉลี่ยอยู่ที่ 100 ชิ้น



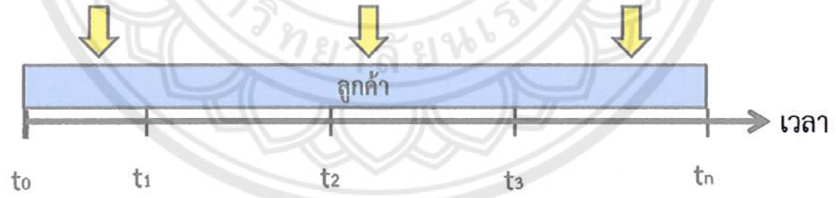
รูปที่ 2.3 ตัวอย่างการแจกแจงปกติ

2.1.2.2 จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows) ซึ่งเป็นข้อจำกัดที่มีความสำคัญกับการจัดเส้นทาง เนื่องจากบางครั้งเวลาให้บริการลูกค้า หรือเวลาในการเดินทาง จะมีผลต่อเส้นทางที่ได้จากการจัดด้วยวิธีการต่างๆ โดยมีสัญลักษณ์แสดงถึงกรณีการส่งสินค้าต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.4 และสามารถแบ่งกลุ่มของปัญหา ดังนี้

ก. แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows) จะไม่คำนึงถึงข้อจำกัดด้านเวลาต่างๆ โดยจะทำการจัดเฉพาะเส้นทาง ตัวอย่าง การจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ในช่วงเวลาใดก็ได้ แสดงดังรูปที่ 2.5 จะเห็นได้ว่าสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าในช่วงเวลาใดก็ได้



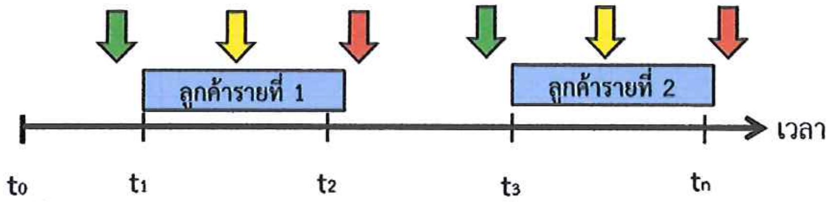
รูปที่ 2.4 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของการจัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา



รูปที่ 2.5 ตัวอย่างการขนส่งที่ไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา

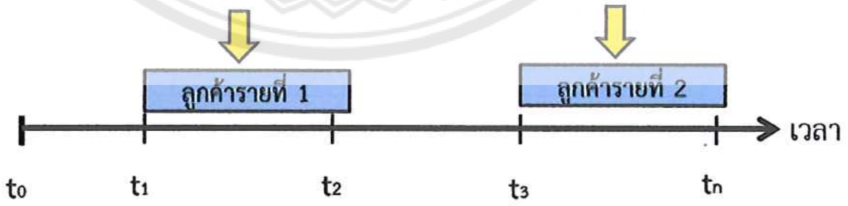
ข. แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows) จะมีข้อจำกัดทางด้านเวลาแต่ไม่เคร่งครัดมากนักสามารถส่งสินค้าช้า หรือเร็วกว่ากำหนดได้บ้าง แต่อย่างไรก็ตามข้อจำกัดด้านเวลานี้ จะมีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน ตัวอย่าง การจัดเส้นทางการขนส่งที่จะต้องจัดเส้นทางให้สามารถขนส่งสินค้าได้ตามเวลาที่กำหนด แต่ถ้ามีการขนส่งสินค้าไม่ทันตามเวลาที่กำหนด อาจจะต้องเสียค่าปรับเพิ่มเติม แต่ยังคงสามารถส่งสินค้าได้เหมือนเดิม

แสดงดังรูปที่ 2.6 จะเห็นได้ว่าลูกค้าแต่ละรายมีช่วงเวลาที่ให้ส่งสินค้าได้แต่ต่างกัน โดยลูกค้ารายที่ 1 กำหนดให้สามารถส่งสินค้าได้ในช่วงเวลา t1 ถึง t2 ถ้ามีการมาถึงก่อนของรถส่งสินค้าจะต้องเสียเวลารอคอยในการส่งสินค้า ถ้าการมาถึงของรถส่งสินค้าอยู่ในช่วงเวลาจะสามารถส่งสินค้าได้ และถ้าการมาถึงของรถส่งสินค้ามาช้ากว่าช่วงเวลาที่กำหนดอาจจะต้องเสียค่าปรับเพิ่มเติม



รูปที่ 2.6 ตัวอย่างการขนส่งที่มีข้อจำจัดด้านเวลาอย่างไม่เคร่งครัด

ค. แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Hard Time Windows) จะคำนึงถึงระยะเวลาในการเดินทาง และระยะเวลาในการให้บริการอย่างเคร่งครัดหากเดินทางผิดเวลา หรือไปถึงลูกค้าผิดเวลา จะทำให้เส้นทางนั้นเป็นเส้นทางที่ไม่ถูกต้องไม่สามารถให้บริการลูกค้าได้ ตัวอย่างการจัดเส้นทางการขนส่งที่จะต้องจัดเส้นทางให้สามารถขนส่งสินค้าได้ตามเวลาที่ลูกค้ากำหนดเท่านั้นไม่สามารถส่งนอกเหนือจากเวลาที่กำหนดได้เลย แสดงดังรูปที่ 2.7 จะเห็นได้ว่าลูกค้าแต่ละรายมีช่วงเวลาที่ให้ส่งสินค้าได้แต่ต่างกัน โดยลูกค้ารายที่ 1 กำหนดให้สามารถส่งสินค้าได้ในช่วงเวลา t1 ถึง t2 ถ้ามีการมาถึงก่อนของรถส่งสินค้าจะต้องเสียเวลารอคอยในการส่งสินค้า ถ้าการมาถึงของรถส่งสินค้าอยู่ในช่วงเวลาจะสามารถส่งสินค้าได้ และถ้าการมาถึงของรถส่งสินค้ามาช้ากว่าช่วงเวลาที่กำหนดลูกค้าจะไม่รับสินค้าที่รถมาส่งให้

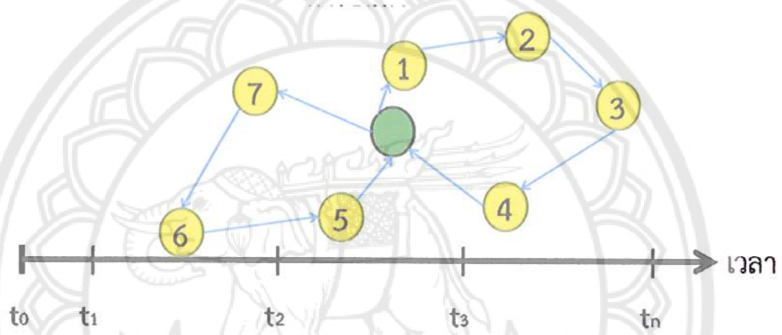


รูปที่ 2.7 ตัวอย่างการขนส่งที่มีข้อจำจัดด้านเวลาอย่างเคร่งครัด

ง. แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งครัด และไม่เคร่งครัด (Mixed) จะมีลูกค้าทั้งที่เคร่งครัดเรื่องเวลาที่มาถึงของรถ หรือเวลาในการให้บริการ และไม่เคร่งครัดเรื่องเวลาในปัญหาเดียวกัน ซึ่งจะทำให้การดำเนินการด้วยวิธีการต่างๆ มีความแตกต่างกันออกไป และมีผลต่อการจัดเส้นทางเช่นเดียวกัน

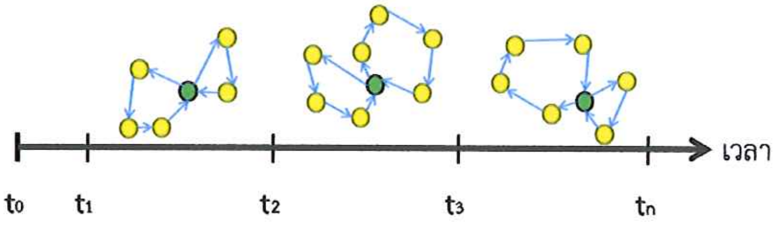
2.1.2.3 จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon) ในกลุ่มนี้จะเน้นการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบครั้งเดียวในการวางแผนหนึ่งครั้ง ตัวอย่าง การเดินทางส่งสินค้าทุกวันจะเดินทางด้วยเส้นทางเดียวกัน และการจัดแบบหลายครั้ง เช่น วางแผนเป็นเดือนและปี เป็นต้น โดยในแต่ละวันอาจจะมีการเดินทางที่ไม่เหมือนกัน

ก. แบบคาบเวลาเดียว (Single Period) จะวางแผนครั้งเดียว แสดงดังรูปที่ 2.8 จะเห็นได้ว่ามีการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งเพียงครั้งเดียวตลอดช่วงเวลาที่มีการขนส่ง



รูปที่ 2.8 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบคาบเวลาเดียว

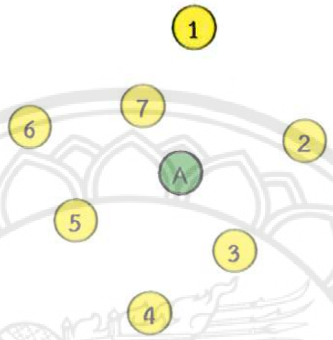
ข. แบบหลายคาบเวลา (Multiple Period) เป็นการวางแผนแบบหลายคาบเวลา และมีเส้นทางการเดินทางที่แตกต่างกันไปในแต่ละคาบเวลา แสดงดังรูปที่ 2.9 จะเห็นได้ว่ามีการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งในแต่ละช่วงเวลาที่แต่ต่างกันออกไป



รูปที่ 2.9 ตัวอย่างการจัดกลุ่มแบบการจัดแบบหลายคาบเวลา

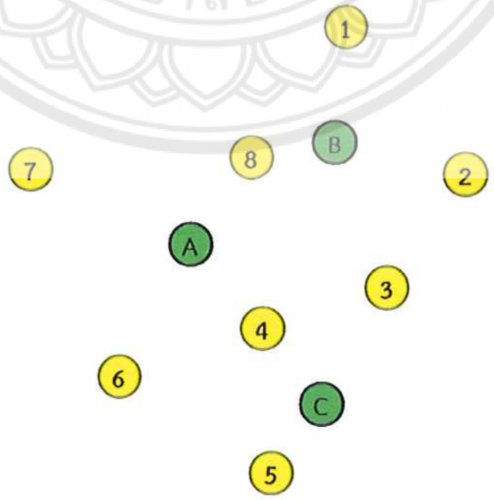
2.1.2.4 จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number of Origin Points) จุดเริ่มต้นที่แตกต่างกันจะทำให้ได้ระยะทางในการเดินทางที่แตกต่างกันไป การวางแผนการจัดเส้นทางบางครั้งอาจจะมีจุดเริ่มต้นเดียว บางครั้งจะต้องวางแผนให้กับศูนย์กระจายสินค้าหลายจุดไปพร้อมๆ กัน สามารถแบ่งกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้นได้เป็น

ก. มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single Depot) การเริ่มต้นของทุกเส้นทางจะเริ่มต้นจากจุดกระจายสินค้าเพียงแห่งเดียว แสดงดังรูปที่ 2.10 จะเห็นได้ว่ามีศูนย์กระจายสินค้า A เพียงแห่งเดียว และมีลูกค้าอยู่ 7 ราย



รูปที่ 2.10 ตัวอย่างการจัดกลุ่มตามจุดเริ่มต้นเดียว

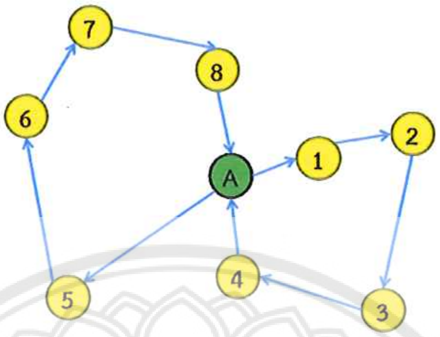
ข. มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Depot) จะต้องวางแผนให้มีศูนย์กระจายสินค้าหลายแห่ง โดยทำการจัดเส้นทางไปพร้อมๆ กัน แสดงดังรูปที่ 2.11 จะเห็นได้ว่ามีศูนย์กระจายสินค้าอยู่ 2 แห่ง คือ A และB มีลูกค้าอยู่ 8 ราย



รูปที่ 2.11 ตัวอย่างการจัดกลุ่มตามจุดเริ่มต้นหลายจุด

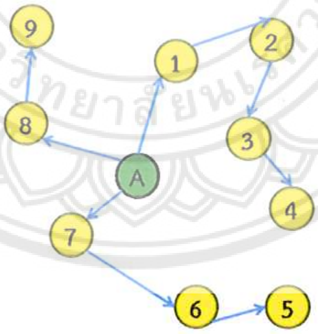
2.1.2.5 จัดกลุ่มตามลักษณะการเดินทาง

ก. เส้นทางเดินรถแบบปิด (Closed Trips or Vehicle Routing Problem) รถแต่ละคันจะต้องออกศูนย์กระจายสินค้า และกลับมายังศูนย์กระจายสินค้า แสดงดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ตัวอย่างจัดกลุ่มตามลักษณะการเดินรถแบบปิด

ข. เส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem) การที่รถขนส่งไม่ต้องย้อนกลับมายังศูนย์กระจายสินค้า หลังจากส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายสุดท้าย ซึ่งช่วยลดต้นทุนการขนส่งรวม เพราะลดระยะการเดินทางย้อนกลับ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ถ้ามีการขนส่งหลายคันจะทำให้ประหยัดระยะทางโดยรวมลงได้มาก แสดงดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 ตัวอย่างจัดกลุ่มตามลักษณะการเดินรถแบบเปิด

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะได้มีการแบ่งกลุ่มของปัญหาตามเงื่อนไขต่างๆ ออกเป็น 5 กลุ่มหลัก แสดงดังตารางที่ 2.1 เพื่ออธิบายปัญหาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ผู้ดำเนินโครงงานจึงได้ยกตัวอย่างของปัญหา VRP ไว้ ดังนี้

ตารางที่ 2.1 การแบ่งกลุ่มของปัญหาตามเงื่อนไข

ลำดับ	กลุ่มหลัก	กลุ่มย่อย
1.	จัดกลุ่มตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า	ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าและแน่นอน (Deterministic Demand)
		ค่าความต้องการของลูกค้าทราบค่าแต่ไม่ทราบค่าที่แน่นอน (Stochastic Demand)
2.	จัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา (Time Windows)	แบบไม่มีข้อจำกัดด้านเวลา (No Time Windows)
		แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบไม่เคร่งครัด (Soft Time Windows)
		แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาแบบเคร่งครัด (Hard Time Windows)
		แบบมีข้อจำกัดด้านเวลาที่มีทั้งเคร่งและไม่เคร่ง (Mixed)
3.	จัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง (Time Horizon)	แบบคาบเวลาเดียว (Single Period)
		แบบหลายคาบเวลา (Multiple Period)
4.	จัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น (Number of Origin Points)	มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single Depot)
		มีจุดเริ่มต้นหลายจุด (Multiple Depot)
5.	จัดกลุ่มตามลักษณะการเดินทาง	เส้นทางเดินรถแบบปิด (Closed Trips หรือ Vehicle Routing Problem)
		เส้นทางเดินรถแบบเปิด (Open Vehicle Routing Problem)

2.1.3 ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งนี้ ทางผู้ดำเนินโครงงานได้ยกตัวอย่างของปัญหา VRP ไว้เพื่ออธิบายปัญหาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนี้ คลังสินค้าหนึ่งต้องส่งสินค้าให้ลูกค้า 5 ราย คือ 1, 2, 3, 4 และ 5 มีศูนย์กระจายสินค้าเป็นจุดกระจายสินค้า มีสมมติฐานแสดงดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 สมมติฐานของตัวอย่างปัญหา VRP

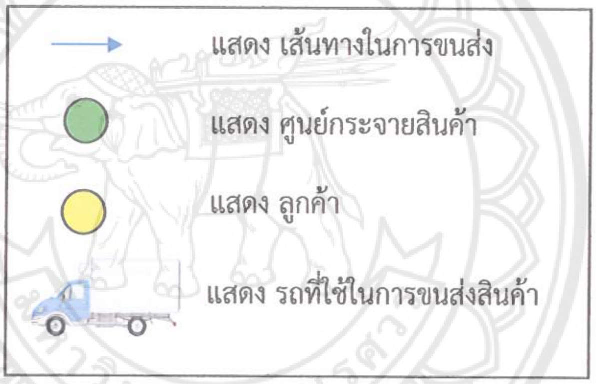
ลำดับ	สมมติฐาน
1.	รถต้องเริ่มออกจากคลังสินค้าเท่านั้นแล้วต้องกลับมาที่จุดเดิม
2.	รถทุกคันบรรทุกสินค้าได้ 250 หน่วย
3.	ไม่จำกัดเวลาในการจัดส่งสินค้า ทำให้ไม่มีการเสียค่าปรับ
4.	ระยะทางในการขนส่ง 1 กิโลเมตร ต้องเสียค่าใช้จ่าย 100 บาท
5.	มีรถขนส่งสินค้า 2 คัน ซึ่งรถแต่ละคันมีค่าใช่จ่ายเท่ากับ 200 บาท
6.	ระยะทางจาก จุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i มีระยะทางเท่ากัน ความต้องการสินค้า และระยะทางการขนส่ง แสดงดังตารางที่ 2.2 และ 2.3 ตามลำดับ และสัญลักษณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.14

ตารางที่ 2.3 ตัวอย่างความต้องการสินค้าของลูกค้าทั้ง 5 ราย ของปัญหา VRP

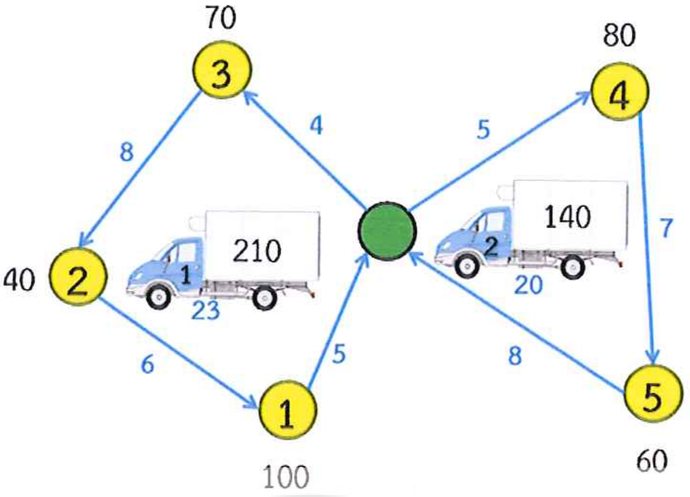
ลูกค้า	ความต้องการสินค้า (หน่วย)
1	100
2	40
3	70
4	80
5	60

ตารางที่ 2.4 ตัวอย่างระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) ของปัญหา VRP

i/j	คลังสินค้า	ลูกค้า 1	ลูกค้า 2	ลูกค้า 3	ลูกค้า 4	ลูกค้า 5
คลังสินค้า	-					
ลูกค้า 1	5	-				
ลูกค้า 2	7	6	-			
ลูกค้า 3	4	9	8	-		
ลูกค้า 4	5	6	9	4	-	
ลูกค้า 5	8	4	10	12	7	-



รูปที่ 2.14 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของปัญหา VRP



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าของปัญหา VRP

จากรูปที่ 2.15 การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าที่ตำแหน่งต่างๆ

รถคันที่ 1 เริ่มการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังจุดรับสินค้าไปสู่ลูกค้าที่ลูกค้ารายที่ 3, 2 และ 1 ตามลำดับ โดยที่มีระยะทางการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปสู่สินค้ารายที่ 3 เท่ากับ 4 ระยะทางการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ 3 ไปสู่ลูกค้ารายที่ 2 เท่ากับ 8 ระยะทางการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ 2 ไปสู่ลูกค้ารายที่ 1 เท่ากับ 6 และระยะทางการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ 1 กลับสู่คลังสินค้าจะมีค่าเท่ากับ 5 ดังนั้น รถคันที่ 1 มี ระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าสู่ลูกค้ารายต่างๆ จนกระทั่งเดินทางกลับมายังคลังสินค้าจะมีระยะทางรวมของการเดินทางขนส่งสินค้า 4+8+6+5 ซึ่งมีระยะทางเท่ากับ 23 และมีจำนวนสินค้าที่ต้องบรรทุกรวม 100+70+40 รวมเป็น 210 หน่วย ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (23x100)+200 รวม 2,500 บาท

รถคันที่ 2 เริ่มการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังจุดรับสินค้ารายที่ 4 และ 5 ตามลำดับ โดยที่มีระยะทางการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้ารายที่ 4 เท่ากับ 5 ระยะทางการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ 4 ไปสู่ลูกค้ารายที่ไปสู่ลูกค้ารายที่ 5 กลับสู่คลังสินค้ามีค่าเท่ากับ 7 และระยะทางการขนส่งสินค้าจากลูกค้ารายที่ 5 กลับสู่คลังสินค้าเท่ากับ 8 ดังนั้น รถคันที่ 2 มีระยะทางรวมในการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าสู่ลูกค้ารายต่างๆ จนกระทั่งเดินทางกลับ 5+7+8 ซึ่งมีระยะทางเท่ากับ 20 และมีจำนวนสินค้าที่ต้องบรรทุกรวม 80+60 รวมเป็น 140 หน่วย ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (20x100)+200 รวม 2,200 บาท

สรุปได้ว่า รถคันที่ 2 มีระยะทางในการขนส่งน้อยกว่าการขนส่งด้วยรถคันที่ 1 เพราะเส้นทางในการขนส่งแต่ละเส้นทางมีระยะทางที่ไม่เท่ากัน และระยะทางรวมในการขนส่งขึ้นอยู่กับการจัดเส้นทางการขนส่ง ทำให้ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น 2,500+2,200 รวม 4,700 บาท

2.1.4 จัดกลุ่มตามวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหา

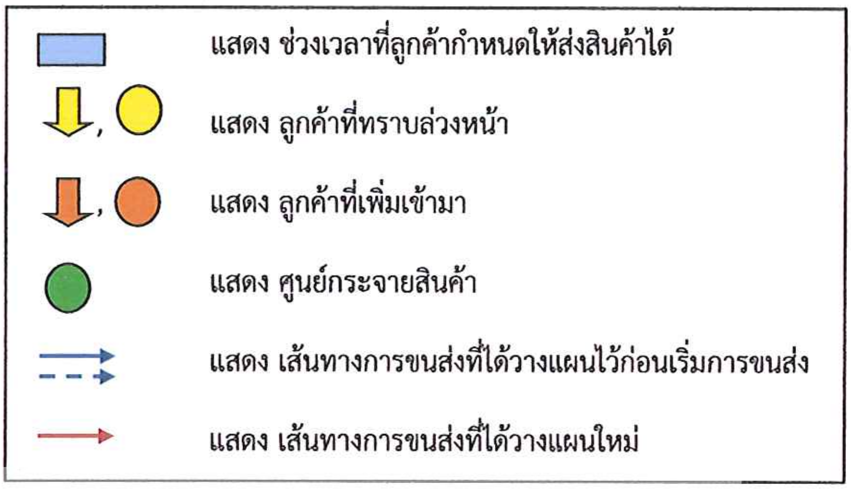
2.1.4.1 วิธีการแม่นตรง (Exact Method) วิธีการนี้ จะใช้พื้นฐานจากการโปรแกรมเชิงเส้นตรง การโปรแกรมจำนวนเต็ม หรือวิธีการอื่น ที่จะทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุด เช่น วิธีการตัดแบบระนาบ (Cutting Plane Method) และวิธีบรานช์แอนด์บาว (Branch and Bound Method) เป็นต้น

2.1.4.2 วิธีการฮิวริสติก (Heuristics) เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียงภายในเวลาจำกัด หรือ “Good Enough and Fast Enough Solution” เป็นวิธีการที่เมื่อดำเนินการเสร็จเรียบร้อยจะได้ค่าที่ดี ไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุด แต่จะใช้เวลาสั้นกว่าวิธีการแบบแม่นตรงสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่

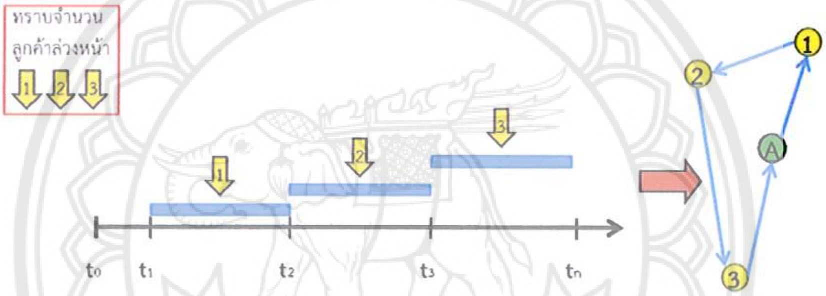
2.1.4.3 วิธีเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic) คือ เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนา และดัดแปลงวิธีฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อน และมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมากได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ เช่น วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm), วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) และวิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) เป็นต้น

2.2 ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problems : DVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตเป็นปัญหาที่พัฒนามาจากปัญหา VRP ซึ่งมีความแตกต่างกัน คือ VRP เป็นปัญหาที่ทราบจำนวนลูกค้าล่วงหน้า ทำให้ไม่มีการเปลี่ยนแปลงเส้นทางในระหว่างการขนส่ง และไม่มีข้อจำกัดทางด้านเวลาเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งต่างจากปัญหา DVRP ที่จะมีช่วงเวลาจำกัดในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย แสดงดังรูปที่ 2.17 และมีการเพิ่มเข้ามาของลูกค้าในระหว่างการขนส่ง ทำให้มีการเปลี่ยนแปลงของเส้นทาง แสดงดังรูปที่ 2.18 ซึ่งจะต้องตัดสินใจว่าควรจะมีการวางแผนจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะอย่างไร โดยคำนึงถึงระยะเวลาในการจัดส่ง การตัดสินใจนี้ไม่สามารถรอจนกระทั่งทราบข้อมูลเกี่ยวกับลูกค้าที่จะต้องส่งครบทุกราย แล้วจึงตัดสินใจสั่งออกรถเพื่อไปส่งสินค้าได้ ซึ่งมีสัญลักษณ์แสดงดังรูปที่ 2.16

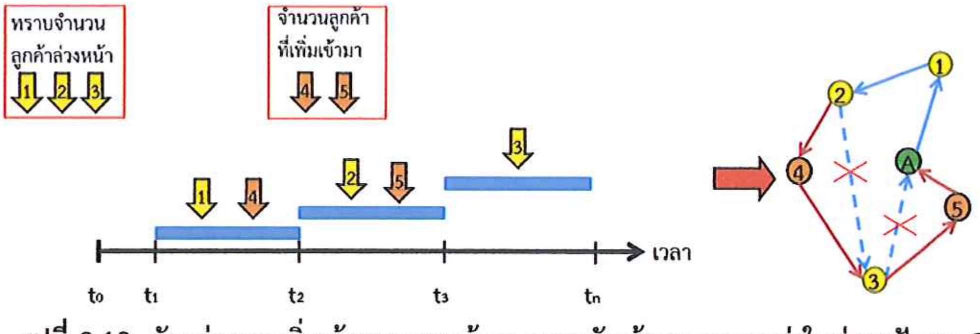


รูปที่ 2.16 ตัวอย่างสัญลักษณ์อธิบายปัญหา DVRP



รูปที่ 2.17 ตัวอย่างจำนวนลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า และเส้นทางการขนส่งของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.17 ทราบจำนวนลูกค้าที่แน่นอนล่วงหน้า คือ ลูกค้ารายที่ 1, 2, 3 และทราบกรอบเวลาของลูกค้าที่แต่ละราย ว่าสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 1 ในช่วงเวลาที่ t1 ถึง t2 เท่านั้น ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 2 ในช่วงเวลาที่ t2 ถึง t3 เท่านั้น ส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 3 ในช่วงเวลาที่ t3 ถึง tn เท่านั้น และทำการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่ง



รูปที่ 2.18 ตัวอย่างการเพิ่มเข้ามาของลูกค้า และการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.18 มีการเพิ่มเข้ามาของลูกค้ารายที่ 4 และ 5 ในระหว่างช่วงเวลาที่มีการขนส่ง ทำให้ต้องมีการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ เพื่อที่จะสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ครบทุกราย

2.2.1 ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต

ตัวอย่างการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตนี้ ทางผู้ดำเนินโครงงานได้ยกตัวอย่างของปัญหา DVRP ไว้เพื่ออธิบายปัญหาให้สามารถเข้าใจได้ง่ายยิ่งขึ้น ดังนี้ คลังสินค้าหนึ่งต้องส่งสินค้าให้ลูกค้าที่ทราบล่วงหน้าจำนวน 3 ราย คือ 1, 2 และ 3 มีการเพิ่มเข้ามาของลูกค้ารายที่ 4 และ 5 เมื่อเวลาผ่านไป โดยมีคลังสินค้าเป็นศูนย์กระจายสินค้ามีสมมติฐานแสดงดังตารางที่ 2.5

ตารางที่ 2.5 สมมติฐานของตัวอย่างปัญหา DVRP

ลำดับ	สมมติฐาน
1.	รถต้องเริ่มออกจากคลังสินค้าเท่านั้นแล้วต้องกลับมาที่จุดเดิม
2.	รถทุกคันบรรทุกสินค้าได้ 300 หน่วย
3.	ระยะทางจาก จุด i ไปยังจุด j และจุด j ไปยังจุด i มีระยะทางเท่ากัน
4.	มีรถขนส่งสินค้า 2 คัน ซึ่งรถแต่ละคันมีค่าใช่จ่ายเท่ากับ 200 บาท
5.	ระยะทางในการขนส่ง 1 กิโลเมตร ต้องเสียค่าใช้จ่าย 100 บาท
6.	มีค่าปรับในกรณีที่ไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามเวลาที่กำหนด ซึ่งจะต้องเสียค่าปรับในอัตราที่เท่ากัน กำหนดให้ต้องเสียค่าปรับครั้งละ2,000 บาท
7.	รถแต่ละคันมีเวลาในการใช้งาน 15 ชั่วโมง โดยเริ่มออกจากคลังสินค้าเวลา 08.00 น. และเป็นเวลาที่ต่อเนื่องกัน คำสั่งซื้อสินค้าแบบมีกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าระยะทางการขนส่ง และเวลาในการเดินทาง แสดงดังตารางที่ 2.4, 2.5 และ 2.6 ตามลำดับสัญลักษณ์ต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.19

ตารางที่ 2.6 ตัวอย่างคำสั่งซื้อสินค้าแบบมีกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าของปัญหา DVRP

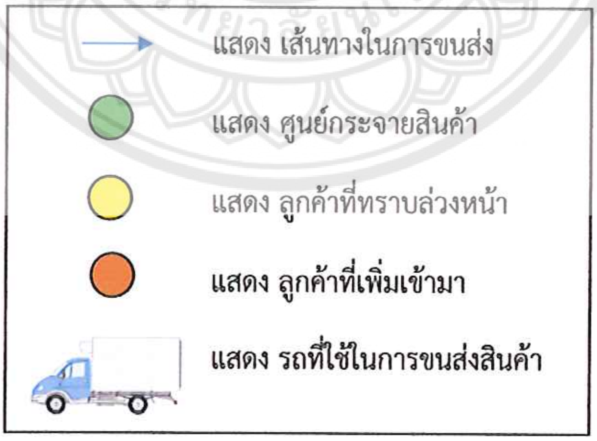
ลูกค้า	จำนวนกล่อง	กรอบเวลาจัดส่งสินค้า	เวลาที่ใช้ในการขนถ่ายสินค้า
1	50	8.00 น. - 11.00 น.	30 นาที
2	100	9.00 น. - 12.00 น.	1 ชั่วโมง
3	75	10.00 น. - 16.00 น.	30 นาที
4	120	10.00 น. - 14.00 น.	45 นาที
5	60	8.00 น. – 12.00 น.	30 นาที

ตารางที่ 2.7 ตัวอย่างระยะทางการขนส่งสินค้า (กิโลเมตร) ของปัญหา DVRP

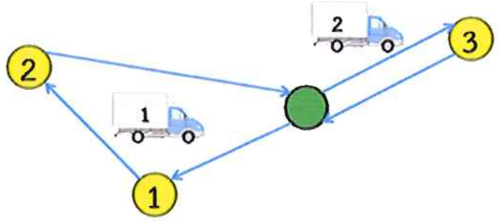
i/j	คลังสินค้า	ลูกค้า 1	ลูกค้า 2	ลูกค้า 3	ลูกค้า 4	ลูกค้า 5
คลังสินค้า	-					
ลูกค้า 1	5	-				
ลูกค้า 2	7	6	-			
ลูกค้า 3	4	3	8	-		
ลูกค้า 4	5	6	9	4	-	
ลูกค้า 5	8	4	10	12	7	-

ตารางที่ 2.8 ตัวอย่างเวลาในการเดินทาง (เวลา) ของปัญหา DVRP

i/j	คลังสินค้า	ลูกค้า 1	ลูกค้า 2	ลูกค้า 3	ลูกค้า 4	ลูกค้า 5
คลังสินค้า	-					
ลูกค้า 1	30 นาที	-				
ลูกค้า 2	1 ชม.	30 นาที	-			
ลูกค้า 3	2 ชม.	30 นาที	3 ชม.	-		
ลูกค้า 4	1 ชม.	1 ชม.	3 ชม.	2 ชม.	-	
ลูกค้า 5	3 ชม.	1 ชม.	4 ชม.	4 ชม.	2 ชม.	-



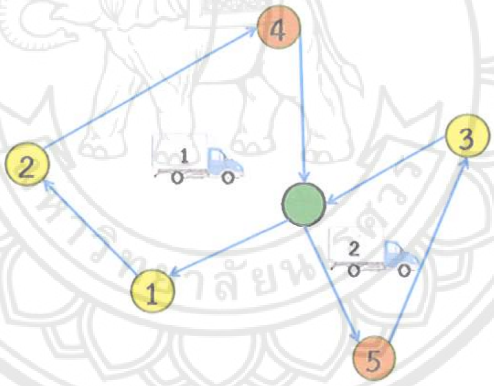
รูปที่ 2.19 ตัวอย่างสัญลักษณ์ของปัญหา DVRP



รูปที่ 2.20 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าของลูกค้าที่ทราบจำนวนล่วงหน้าของปัญหา DVRP

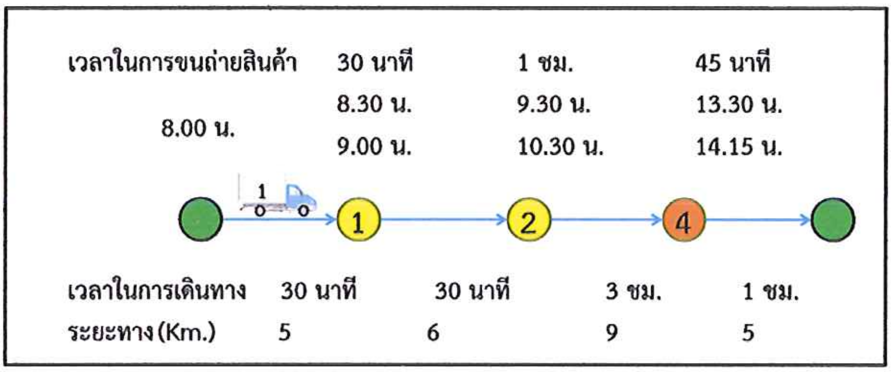
การขนส่งสินค้าจากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า ในตำแหน่งต่างๆ แสดงดังรูปที่ 2.20 โดยรถขนส่งสินค้าคันที่ 1 จะส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 1 และ 2 ตามแผนที่ได้วางไว้ และรถขนสินค้าคันที่ 2 จะส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 3 ตามแผนที่ได้วางไว้

เมื่อมีการเพิ่มเข้ามาของลูกค้ารายที่ 4 และ 5 ระหว่างที่มีการขนส่ง ทำให้ต้องมีการจัดเส้นทางการขนส่งใหม่ 2 เส้นทาง ซึ่งเส้นทางที่ 1 แสดงดังรูปที่ 2.21 และเส้นทางที่ 2 แสดงดังรูปที่ 2.24 โดยลูกค้ารายที่ 4 ถูกกำหนดให้รับบริการจากรถขนส่งคันใดก็ได้ แต่ลูกค้ารายที่ 5 ถูกกำหนดให้รับบริการจากรถคันที่ 2 เท่านั้น



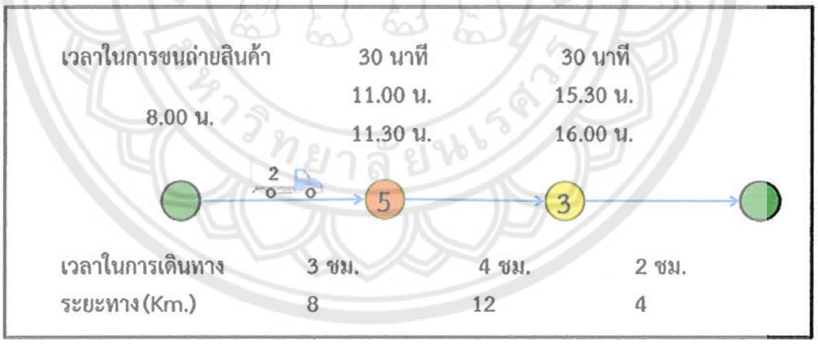
รูปที่ 2.21 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.21 แสดงเส้นทางการขนส่งของรถคันที่ 1 มีระยะทางในการขนส่งสินค้า และเวลาในการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.22 และรถคันที่ 2 มีระยะทางในการขนส่งสินค้า และเวลาในการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.23



รูปที่ 2.22 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 1 ของปัญหา DVRP

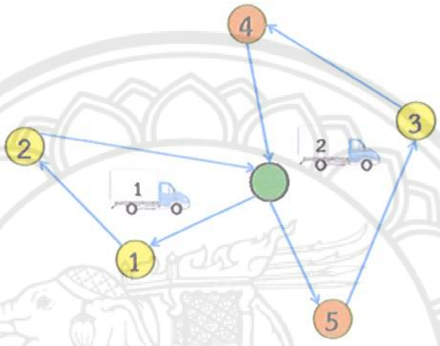
จากรูปที่ 2.22 อธิบายได้ว่า รถออกจากคลังสินค้าเวลา 8.00 น. ไปถึงลูกค้ารายที่ 1 เวลา 8.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 2 เวลา 9.00 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 2 เวลา 9.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 4 เวลา 10.30 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 4 เวลา 12.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 45 นาที เริ่มออกเดินทางกลับคลังสินค้าเวลา 13.15 น. ถึงคลังสินค้า เวลา 14.15 น. มีระยะทาง 5+6+9+5 รวมเป็น 25 กิโลเมตร และไม่เสียค่าปรับ เนื่องจากสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกรอบเวลาที่กำหนด ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (25x100)+200 รวม 2,700 บาท



รูปที่ 2.23 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 1 ของรถคันที่ 2 ของปัญหา DVRP

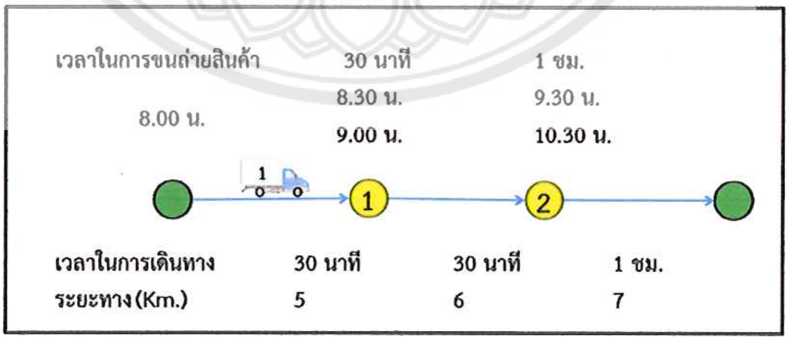
จากรูปที่ 2.23 รถออกจากคลังสินค้าเวลา 8.00 น. ไปถึงลูกค้ารายที่ 5 เวลา 11.00 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 5 เวลา 11.30 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 3 เวลา 15.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางกลับคลังสินค้าเวลา 16.00 น. ถึงคลังสินค้า เวลา 18.00 น. มีระยะทาง 8+12+4 รวมเป็น 24 กิโลเมตร และไม่เสียค่าปรับเนื่องจากสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกรอบเวลาที่กำหนด ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (24x100)+200 รวม 2,600 บาท

จะเห็นได้ว่าจากเส้นทางการขนส่งแบบที่ 1 ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งสิ้น 2,700+2,600 รวม 5,300 บาท



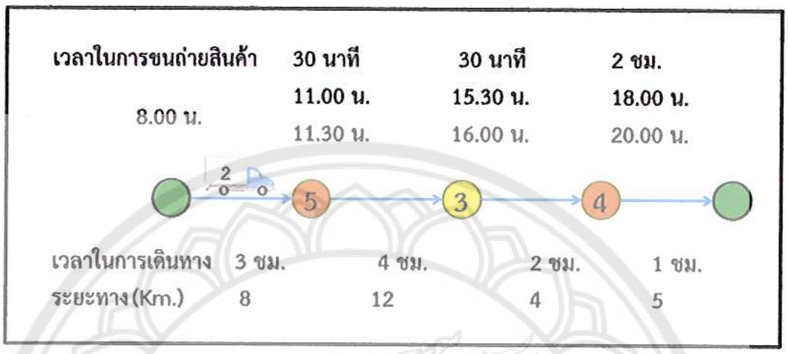
รูปที่ 2.24 ตัวอย่างเส้นทางการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.24 แสดงเส้นทางการขนส่งของรถคันที่ 1 มีระยะทางในการขนส่งสินค้า และเวลาในการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.25 และรถคันที่ 2 มีระยะทางในการขนส่งสินค้า และเวลาในการเดินทาง แสดงดังรูปที่ 2.26



รูปที่ 2.25 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 1 ของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.25 อธิบายได้ว่า รถออกจากคลังสินค้าเวลา 8.00 น. ไปถึงลูกค้ารายที่ 1 เวลา 8.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 1 เวลา 9.00 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 2 เวลา 9.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 1 ชั่วโมง เริ่มออกเดินทางกลับคลังสินค้า เวลา 10.30 น. ถึงคลังสินค้า เวลา 11.30 น. มีระยะทาง 5+6+7 รวมเป็น 18 กิโลเมตร และไม่เสียค่าปรับ เนื่องจากสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันตามกรอบเวลาที่กำหนด ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 1 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (18x100)+200 รวม 2,000 บาท



รูปที่ 2.26 ตัวอย่างการขนส่งสินค้าเส้นทางที่ 2 ของรถคันที่ 2 ของปัญหา DVRP

จากรูปที่ 2.26 รถออกจากคลังสินค้าเวลา 8.00 น. ไปถึงลูกค้ารายที่ 5 เวลา 11.00 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 5 เวลา 11.30 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 3 เวลา 15.30 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 30 นาที เริ่มออกเดินทางไปยังลูกค้ารายที่ 3 เวลา 16.00 น. เดินทางถึงลูกค้ารายที่ 4 เวลา 18.00 น. ใช้เวลาขนถ่ายสินค้า 2 ชั่วโมง ซึ่งรถขนส่งสินค้าไม่สามารถส่งสินค้าได้ตามกรอบเวลาที่ลูกค้ารายที่ 4 กำหนด ทำให้ต้องเสียปรับเพิ่มเติมเป็นเงิน 2,000 บาท และเริ่มออกเดินทางกลับคลังสินค้าเวลา 20.00 น. ถึงคลังสินค้า เวลา 21.00 น. มีระยะทาง 8+12+4+5 รวมเป็น 29 กิโลเมตร ดังนั้น รถขนส่งคันที่ 2 มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าทั้งสิ้น (29x100)+200+2,000 รวม 5,100 บาท

จะเห็นได้ว่าจากเส้นทางการขนส่งแบบที่ 2 ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งทั้งสิ้น 2,000+5,100 รวม 7,100 บาท

สรุปได้ว่า เส้นทางการขนส่งแบบที่ 2 จะเสียค่าใช้จ่ายในการขนส่งมากกว่า เส้นทางการขนส่งแบบที่ 1 ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าแตกต่างกันทั้งสิ้น 7,100-5,300 เท่ากับ 1,800 บาท เนื่องจากเส้นทางการขนส่งแบบที่ 2 ไม่สามารถขนส่งสินค้าได้ทันตามกำหนดเวลาที่ลูกค้าต้องการ ทำให้ต้องเสียค่าปรับเพิ่มเติมเป็นเงิน 2,000 บาท ดังนั้น จึงทำให้เส้นทางการขนส่งแบบที่ 1 มีความเหมาะสมมากกว่า เส้นทางการขนส่งแบบที่ 2 ในด้านของการลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

2.3 วิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic)

วิธีเมตาฮิวริกติก เป็นวิธีการประมาณค่าคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ และพิจารณาถึงทางเลือกที่เหมาะสมให้กับปัญหาที่ต้องมีตัวแปรตัดสินใจที่มีจำนวนมาก เหมาะสำหรับใช้แก้ปัญหาการวางแผนการผลิต และจัดการโลจิสติกส์ โดยปัญหาจะมีความเกี่ยวข้องกับข้อจำกัดทางด้านเวลาและค่าใช้จ่าย หรือบางครั้งอาจจะเป็นไปได้ยากในการนำไปปฏิบัติจริง เนื่องจากการนำไปปฏิบัติจริงอาจจะต้องใช้เวลาหรือค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมาก และอาจจะได้คำตอบที่ไม่แม่นยำเสมอไป วิธีการเมตาฮิวริสติกส่วนมากมักจะพบว่าถูกใช้กับการแก้ปัญหาของโรงงานอุตสาหกรรม เพื่อแก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิต และโลจิสติกส์ที่มีความหลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาการจัดลำดับการผลิต และปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ เป็นต้น

2.3.1 ความหมายของวิธีการเมตาฮิวริสติก

ความหมายของวิธีการเมตาฮิวริสติก คือ วิธีการที่ออกแบบมา เพื่อหาคำตอบที่ดีสำหรับปัญหาที่ต้องการหาค่าที่ดีที่สุด ที่มีความยุ่งยากซับซ้อนในการแก้ไขปัญหา วิธีการเมตาฮิวริสติกมักจะถูกใช้ในการหาคำตอบ ภายใต้การหาคำตอบที่ขึ้นอยู่กับเลขสุ่ม เพื่อให้เกิดการค้นหาพื้นที่ของคำตอบที่เป็นไปได้ (Feasible Solution) ให้กว้างที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ คำตอบที่ได้มาจากวิธีการเมตาฮิวริสติกนั้น ไม่สามารถบอกได้ว่าเป็นคำตอบที่ดีที่สุดหรือไม่ ต่างจากคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาที่มาจากวิธีแม่นตรง (Exact Method) ซึ่งวิธีแม่นตรง เป็นวิธีการที่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดได้ เช่น วิธีการซิมเพล็ก (Simplex Method) วิธีการบรานช์แอนด์บาว (Branch and Bound) และวิธีการคอลัมเจนเนอร์เรชั่น (Column Generation) เป็นต้น วิธีการเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีการที่ถูกพัฒนามาจากวิธีการฮิวริสติก เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาที่มีความยากในการหาคำตอบ และมีความซับซ้อน ซึ่งไม่สามารถแก้ปัญหาด้วยวิธีการแม่นตรงได้ หรือถ้าแก้ปัญหาได้ก็อาจจะต้องใช้เวลาในการแก้ปัญหานานมาก ดังนั้น วิธีการเมตาฮิวริสติกจึงได้ถูกพัฒนาขึ้นมา เพื่อลดระยะเวลาในการคำนวณหาคำตอบลง แต่อย่างไรก็ตามจุดประสงค์ของการพัฒนาวิธีการเมตาฮิวริสติก คือ การหาคำตอบที่ดีที่สุดหรือคำตอบที่ใกล้เคียงคำตอบที่ดีที่สุด ภายในระยะเวลาที่เหมาะสมไม่ใช่เพียงแค่ลดระยะเวลาในการคำนวณเท่านั้น ในการเปรียบเทียบวิธีการเมตาฮิวริสติกที่ได้ถูกพัฒนามาเพื่อแก้ปัญหาเดียวกันนั้น การที่จะบอกได้ว่าวิธีการใดมีประสิทธิภาพมากกว่าอีกวิธีการหนึ่งนั้น มักจะเปรียบเทียบกันที่คุณภาพของคำตอบเมื่อทำการประมวลผล หรือดำเนินการวิธีการในเวลาเท่ากันในปัจจุบันมีผู้คิดค้นวิธีการเมตาฮิวริสติกอยู่ต่างๆ มากมายหลายวิธีการด้วยกัน ซึ่งแต่ละวิธีก็จะมีความเหมาะกับการแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไป โดยการแบ่งวิธีการเมตาฮิวริสติกมีมากหลายวิธีด้วยกันซึ่ง Blum and Roli ได้เสนอวิธีการแบ่งไว้ ดังนี้

2.3.1.1 แบบที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ หรือแบบไม่ได้เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติวิธีที่เกิดจากแรงบันดาลใจจากธรรมชาติ เช่น วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Ant Colony Optimization) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) วิธีการลอกแบบ (Memetic Algorithm) และวิธีการเลียนแบบการอบอ่อน (Simulated Annealing) เป็นต้น ส่วนวิธีการที่ไม่ได้เลียนแบบธรรมชาติ เช่น วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ (Iterated Local Search) และวิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข (Variable Neighborhood Search) เป็นต้น

2.3.1.2 แบบใช้ประชากร หรือแบบไม่ใช้ประชากร (Population or Non Population Based Heuristic) แบบใช้ประชากร คือ ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบมากกว่าหนึ่งคำตอบให้เลือก ส่วนแบบไม่มีประชากร ในหนึ่งรอบของการคำนวณจะมีคำตอบเพียงคำตอบเดียว วิธีแบบใช้ประชากร เช่น วิธีอาณานิคมมด วิธีการเชิงพันธุกรรม และวิธีการลอกแบบ เป็นต้น วิธีแบบไม่ใช่ประชากร เช่น วิธีการเลียนแบบการอบอ่อน และวิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข บางครั้งเราเรียกกรณีที่ไม่ใช้ประชากรว่า วิธีการแบบทราเจกทอรี (Trajectory Method)

2.3.1.3 แบบสมการเป้าหมายคงที่ หรือไม่คงที่ (Dynamic or Static Objective Function) ในหนึ่งรอบของการคำนวณอาจจะมีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เพื่อให้ได้คำตอบใหม่ๆ เกิดขึ้น หรือไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย ในกรณีที่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น การค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบมีการชี้นำ (Guided Local Search) กรณีที่ไม่มีการเปลี่ยนสมการเป้าหมาย เช่น วิธีอาณานิคมมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นคว้าหาคำตอบต้องห้าม วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ และวิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เป็นต้น

2.3.1.4 แบบเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคำตอบปัจจุบัน (Neighborhood) คงที่และไม่คงที่ กรณีที่วิธีการหาคำตอบใกล้เคียงคงที่ เช่น วิธีอาณานิคมมด วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการลอกแบบ วิธีเลียนแบบการอบอ่อน วิธีการค้นหาต้องห้าม และวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ เป็นต้น ส่วนกรณีที่มีการเปลี่ยนวิธีการหาคำตอบที่ใกล้เคียง เช่น วิธีการค้นหาจากคำตอบใกล้เคียงแบบมีเงื่อนไข เป็นต้น

2.3.1.5 แบบมีและไม่มีหน่วยความจำ ถ้ามีการใช้หน่วยความจำ จะจำว่ามีคำตอบใดบ้างที่ผ่านมาแล้ว เพื่อเป็นข้อมูลในการหาคำตอบถัดไป ซึ่งกรณีที่ใช้หน่วยความจำที่ปรากฏชัด ได้แก่ วิธีระบบมด และวิธีการค้นหาต้องห้าม เป็นต้น ส่วนวิธีที่ไม่ใช้หน่วยความจำ เช่น วิธีการค้นคว้าหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนรอบซ้ำ

i.6874921

2.4 การแก้ปัญหาด้วยวิธีการเมตาฮิวริสติก

วิธีเมตาฮิวริสติก (Metheuristic) คือ ชุดของลำดับขั้นตอนการแก้ปัญหาแบบฮิวริสติกชนิดหนึ่งที่สามารถนำหลักการเดียวกันกับฮิวริสติกไปใช้สำหรับแก้ปัญหาได้หลากหลายปัญหาด้วยกัน เช่น ปัญหาของการวางแผนการผลิต ปัญหาการจัดวางตารางงาน และปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ จะเริ่มต้นจากการสร้างตัวแทนปัญหาขึ้นมา จากนั้นจะนำมาผ่านกระบวนการที่จะช่วยให้ตัวแทนปัญหานั้นมีคุณภาพที่ดีขึ้น โดยผลลัพธ์ที่ได้จากแนวทางนี้มักจะมีคุณภาพสูงแต่ก็มักจะใช้ทรัพยากรในการประมวลผลที่สูงด้วย ในปัจจุบันวิธีเมตาฮิวริสติกถูกพัฒนาขึ้นมาใช้กันอย่างแพร่หลายด้วยกัน โดยแต่ละวิธีก็จะมีความเหมาะสมในการแก้ไขปัญหาที่แตกต่างกันออกไปดังนี้

2.4.1 การใช้วิธีวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithms : GA)

การใช้วิธีวิธีการเชิงพันธุกรรมนั้นได้มีผู้วิจัยนำวิธี GA ไปใช้ในการแก้ปัญหาประเภทปัญหาการตัดสินใจเลือกสถานที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า และการคัดเลือกสินค้าให้กับศูนย์กระจายสินค้าแบบสมดุลความต้องการสินค้า พบว่าฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นมา สามารถค้นหาผลลัพธ์จากปัญหาได้ในระดับที่น่าพอใจ ถ้าเป็นปัญหาขนาดของลูกค้าไม่เกิน 20 ราย จะพบผลลัพธ์เป็นคำตอบที่ดีที่สุด แต่ถ้าปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นค่าร้อยละความผิดพลาดจะมากขึ้นตามลำดับ ระดับพารามิเตอร์ตัวดำเนินการจะเปลี่ยนแปลงไปตามขนาดของปัญหา และมีผลโดยตรงกับระดับเวลาที่ใช้ประมวลผลเพิ่มมากขึ้น (สุพรรณ พ.ศ. 2549)

2.4.2 การใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Ant Colony Optimization : ACO)

การใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม เช่น การศึกษาระบบการขนส่งของ บริษัท ซีว่า โรจิสติกส์ (ประเทศไทย) จำกัด คู่สัญญาบริษัท ไอบีเอ็ม และได้ทำการสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยได้นำการประยุกต์ใช้ทฤษฎีวิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Ant Colony Optimization : ACO) มาสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยโปรแกรมดังกล่าว ใช้วิธีการหาคำตอบเชิงพันธุกรรม (Ant Colony Optimization : ACO) ในการคำนวณหาคำตอบ และทำการทดสอบการทำงานของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยการตรวจสอบความถูกต้องของคำตอบที่คำนวณจากโปรแกรมคอมพิวเตอร์ และจากการดำเนินงานสามารถสร้างโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่สามารถทำงานได้ตามขอบเขตข้อจำกัดในการศึกษา และคำตอบที่คำนวณด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์เป็นคำตอบที่ดี และเป็นที่ยอมรับของบริษัท (ชัยวิวัฒน์ พ.ศ.2553)

2. 5 วิธีการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization : PSO)

วิธีการหาค่าเหมาะสมที่ดีที่สุดแบบกลุ่มอนุภาค คือ การคำนวณเชิงวิวัฒนาการการค้นหากลุ่มคำตอบเบื้องต้น ซึ่งใช้วิธีการเลียนแบบพฤติกรรมของสัตว์สังคม นำมาใช้ในการปรับปรุงคำตอบให้ดียิ่งขึ้นไปเรื่อยๆ จนกว่าจะพบคำตอบที่ดีที่สุด ซึ่งการหาคำตอบแบบ PSO นี้ ถูกจัดว่า เป็นวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุด PSO ถูกนำเสนอ โดย (Kennedy และ Eberhart ค.ศ.1995) เมื่อปี 1995 ซึ่งเป็นวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบจัดอยู่ในหมวดหมู่ของวิธีการค้นหาแบบสุ่ม โดยอาศัยความสัมพันธ์ของคำตอบเริ่มต้นหลายคำตอบ (Population Based Stochastic Search Algorithm) PSO เป็นแขนงหนึ่งของความฉลาดแบบกลุ่ม (Swarm Intelligence) โดยจะอาศัยการเลียนแบบพฤติกรรมของสัตว์สังคม เช่น Particle Swarm กับ Ant Colony Optimization เป็นต้น การหาเส้นทางของอนุภาคแต่ละตัวจะหาได้จากการแบ่งปันข้อมูลของแต่ละตัวที่มีข้อมูลใกล้เคียงกัน เพื่อนำมาใช้แก้ไขปัญหาที่ต้องการหาคำตอบ โดยจุดเด่นของปัญหาแบบ PSO นี้ ก็คือ อนุภาคที่มีข้อมูลใกล้เคียงกันสามารถนำมาใช้หาคำตอบได้อย่างมีประสิทธิภาพในการหาคำตอบระยะเวลาอันสั้น และมีการแบ่งปันข้อมูลกลุ่มอนุภาคเพื่อค้นหาผลลัพธ์และสามารถแก้ไขปัญหาได้อย่างรวดเร็ว ซึ่งเป็นวิธีการพัฒนาการเรียนรู้แตกต่างจากวิธีการ Genetic Algorithm, Shuffle Frog และ Memetic เป็นต้น ที่ใช้ในการคัดเลือกสายพันธุ์ที่ดี หรือแย่ออกมาทำให้ปัญหาแบบ PSO เป็นปัญหาที่น่าสนใจ เพราะเหมาะสมกับการนำมาแก้ไขปัญหาที่มีความซับซ้อน ด้วยสาเหตุนี้ การแก้ปัญหาแบบ PSO จึงเป็นที่นิยมนำมาใช้แก้ไขปัญหาทางวิศวกรรม

2.5.1 หลักการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค

หลักการทำงานของกลุ่มอนุภาค จำลองมาจากวิธีการเลียนแบบพฤติกรรมของสัตว์สังคม เช่น ฝูงนก (Swarm) โดยนกแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่ม เรียกว่า ตัวพาร์ทิเคิล (Particle) ในกระบวนการ PSO แท้จริงแล้ว คือ กลุ่มของพาร์ทิเคิลในพื้นที่หลายมิติ โดยแต่ละพาร์ทิเคิลจะต้องเก็บข้อมูลเวคเตอร์สองเวคเตอร์ คือ เวคเตอร์ระบุตำแหน่ง และเวคเตอร์ระบุความเร็วในการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งต่างๆ สมมุติให้ฝูงพาร์ทิเคิลเคลื่อนที่ภายในพื้นที่ค้นหาหลายมิติ ตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวในฝูงจะจำตำแหน่งที่ดีที่สุดของตัวมันเอง และตำแหน่งที่ดีที่สุดของเพื่อนร่วมฝูงอีกด้วย ความหมายของคำว่าตำแหน่งที่ดีที่สุดในที่นี้ หมายถึง ตำแหน่งที่มีค่าคำตอบที่ดีที่สุดนั่นเอง ซึ่งสมาชิกในฝูงจะทำการสื่อสารข้อมูลที่มีคำตอบให้กับสมาชิกตัวอื่น และทำการเปลี่ยนความเร็ว และเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ที่มีคำตอบที่ดีกว่าเดิม หรือเลือกคำตอบที่ดีที่สุดแทนคำตอบเดิม เพื่อให้เข้าใกล้ตำแหน่งที่ดีที่สุดมากยิ่งขึ้น โดยทั่วไปแล้วการสื่อสารเกิดขึ้นได้โดยผ่านทาง 2 วิธีการ ดังนี้

2.5.1.1 ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global Best Position) คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ฝูงทั้งฝูงค้นพบแสดงให้เห็นแบบของโครงสร้างสากล (Global Topology) หรือ Gbest Model

2.5.1.2 ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal Best Position) คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ของตัวมันเอง ซึ่งจะเลือกค่าที่ดีที่สุดจากตำแหน่งเดิมทั้งหมด และตำแหน่งปัจจุบัน

2.5.2 สัญลักษณ์และคำจำกัดความที่ใช้ในวิธีกลุ่มอนุภาค

เพื่ออธิบายวิธีการหาคำตอบที่ดีที่สุดแบบ PSO เพราะฉะนั้นจำเป็นต้องรู้สัญลักษณ์ และคำจำกัดความของตัวแปรในวิธี PSO ดังนี้

2.5.2.1 ตัวพาร์ทิเคิล (Particle) คือ เป็นสมาชิกตัวหนึ่งในกลุ่มประชากร (Population) โดยตัวพาร์ทิเคิลหนึ่งตัวจะประกอบไปด้วย ตำแหน่ง (Position) และความเร็ว (Velocity) ตัวพาร์ทิเคิลจะรู้ตำแหน่งปัจจุบันของมันเอง และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้นๆ ซึ่งตัวพาร์ทิเคิลที่รู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดจะเรียกว่า Personal Best Position โดยจะรู้ตำแหน่งที่ดีที่สุดเฉพาะกลุ่ม และรู้ค่าคำตอบของตำแหน่งนั้นๆ

2.5.2.2 ฝูง (Swarm) คือ เซตของกลุ่มตัวพาร์ทิเคิล K ตัว ตั้งแต่ตัวที่ 1 ถึงตัวที่ K

2.5.2.3 ตำแหน่งของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่วนซ้ำครั้งที่ t ถูกเขียนแทนด้วย $X_i(t)$ โดยตำแหน่งดังกล่าวประกอบด้วยมิติ D มิติ คือ $X_i(t) = (x_{i1}(t), \dots, x_{id}(t), \dots, x_{iD}(t))$ โดยที่ $X_{id}(t)$ คือ ค่าของตำแหน่งของมิติที่ d ของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i แต่ละตำแหน่ง $X_i(t)$ สามารถแปลงเป็นคำตอบของปัญหาทางคณิตศาสตร์ โดยค่านอกตำแหน่งถูกจำกัดในขอบเขต $[X_{min} - X_{max}]$

2.5.2.4 ค่าความเหมาะสม (Fitness Value : $f(x_i(t))$) คือ ค่าของคำตอบที่แปลงมาจากตำแหน่ง $X_i(t)$ โดยจะถูกเรียกว่า ค่าความเหมาะสมของตำแหน่ง $X_i(t)$

2.5.2.5 ความเร็ว (Velocity : $V_i(t)$) แทนค่าความเร็วของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i โดยมีการวนซ้ำครั้งที่ t คือ แทนด้วยค่าเวคเตอร์ที่มีมิติ D มิติ คือ $V_i(t) = (v_{i1}(t), \dots, v_{id}(t), \dots, v_{iD}(t))$ โดย $V_{id}(t)$ คือ ค่าของความเร็วที่มิติที่ d ของตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่การวนซ้ำครั้งที่ t และ $V_i(t+1)$ คือ อัตราเร็วที่ตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i จะเคลื่อนที่จากตำแหน่ง $X_i(t)$ ไปตำแหน่ง $X_i(t+1)$

2.5.2.6 ค่าความเร็วในการเคลื่อนที่ (Velocity : V) คือ ความเร็วในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลจะประกอบด้วยเวกเตอร์ตามขนาดของมิติของปัญหา $V_D = \{v_1, v_2, \dots, v_D\}$

2.5.2.7 ความเร็วสูงสุด (Maximum Velocity : V_{max}) คือ ขีดจำกัดของความเร็ว โดยแต่ละ $V_{id}(t)$ ไม่สามารถมีค่าออกนอกช่วง $[-V_{max}, V_{min}]$

2.5.2.8 น้ำหนักแรงเฉื่อย (Inertia Weight : $W(t)$) คือ พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมผลกระทบของความเร็วที่มีการวนซ้ำก่อนหน้าที่จะมีผลต่อความเร็วในการวนซ้ำปัจจุบันของตัวพาร์ทิเคิลทั้ง K ตัว

2.5.2.9 ค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลนั้น (Fitness Value) คือ สามารถคำนวณได้จากฟังก์ชันเป้าหมายซึ่งได้จาก Fitness value = objective function (X)

2.5.2.10 ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal Best Position : P_i) คือ ตำแหน่งที่ถูกพบโดยตัวพาร์ทิเคิลตัวที่ i ที่มีค่าความเหมาะสมที่ดีที่สุด โดยเขียนแทนด้วย $P_i = (p_{i1}, \dots, p_{id}, \dots, p_{iD})$

2.5.2.11 ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global Best Position : P_g) คือ ตำแหน่งที่ดีที่สุดที่ถูกพอโดยฝูง แทนด้วยเวคเตอร์ของมิติ D มิติ คือ $P_g = (p_{g1}, \dots, p_{gd}, \dots, p_{gD})$

2.5.2.12 ค่าคงที่อัตราเร่ง (Acceleration Constant) แต่ละประเภทของตำแหน่งที่ดีที่สุด ได้แก่ ตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Personal Best Position : P_i), ตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Global Best Position : P_g), โดยค่าคงที่อัตราเร่ง คือ พารามิเตอร์ที่มีผลกระทบต่อค่าความเร็ว โดย c_p คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว, c_g คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล

2.5.2.13 ค่าการวนซ้ำสูงสุด (Maximum Iteration : T) ใช้เขียนแทนค่าการวนซ้ำสูงสุด โดยวิธี PSO จะหยุดการวนซ้ำเมื่อจำนวนการวนซ้ำเท่ากับค่าการวนซ้ำสูงสุดต่อจากนี้

2.5.3 วิธีกลุ่มอนุภาคแบบมาตรฐาน

วิธีกลุ่มอนุภาคแบบมาตรฐานถูกคิดค้นขึ้นโดย (Kennedy และ Eberhart ค.ศ.1995) โดยมีการปรับปรุงเพิ่มเติมภายหลังโดย (Shi และ Eberhart ค.ศ.1998) ด้วยการเพิ่มเติมตัวพารามิเตอร์น้ำหนักแรงเฉื่อย ω ลงในสมการ วิธี PSO แบบมาตรฐานนี้ใช้การเปรียบเทียบตำแหน่งของตัวพาร์ทิเคิลแต่ละตัวกับตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลเท่านั้น ในการเชื่อมต่อความสัมพันธ์ระหว่างตัวพาร์ทิเคิลในฝูง วิธี PSO แบบมาตรฐานนี้ใช้สมการที่ 2.1 และ 2.2 ในการเปลี่ยนค่าความเร็วและตำแหน่ง

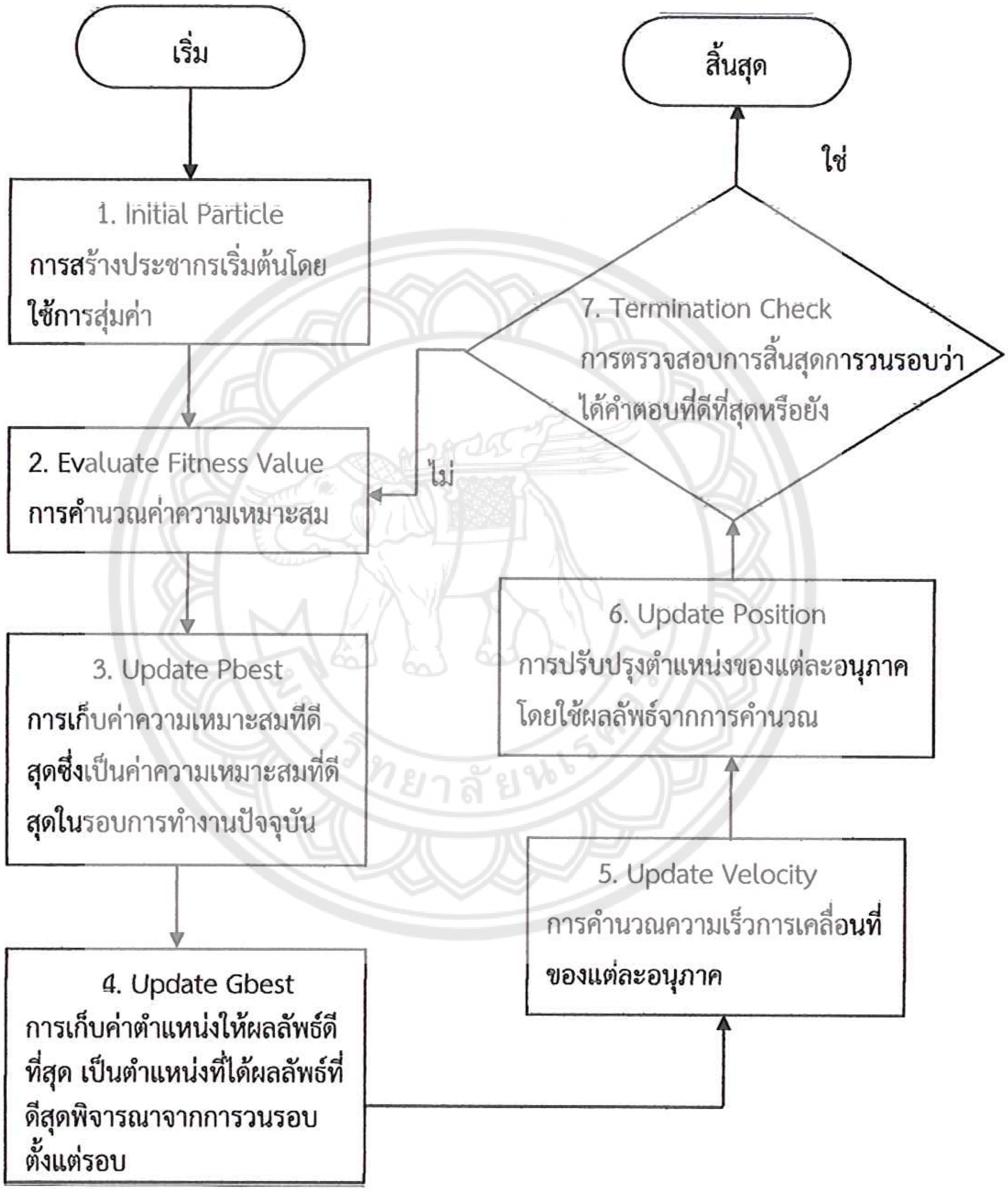
$$\left.\begin{aligned} v_{id}(t+1) &= w(t)v_{id}(t) + c_p u\left(p_{id} - x_{id}(t)\right) + c_g u\left(p_{gd} - x_{id}(t)\right) \\ v_{id}(t+1) &= \begin{cases} -V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \le -V_{max} \\ V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \ge V_{max} \end{cases} \end{aligned}\right\} \quad (2.1)$$

หรือ

$$x_{id}(t+1) = x_{id}(t) + v_{id}(t+1) \quad (2.2)$$

2.5.4 ขั้นตอนการทำงานของวิธีกลุ่มอนุภาค

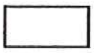
เพื่อให้การศึกษาขั้นตอนการทำงานของ PSO เข้าใจได้ง่ายขึ้น สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของ PSO ซึ่งประกอบด้วย กระบวนการทำงานทั้งหมด 7 ขั้นตอน เป็นผังงาน (Flow Chart) ในการทำงานของ PSO แสดงดังรูปที่ 2.27



รูปที่ 2.27 ขั้นตอนการทำงานของกลุ่มอนุภาค

<u>หมายเหตุ</u>

หมายถึง จุดเริ่มต้น

 หมายถึง การประมวลผลข้อมูล

หมายถึง กำหนดเงื่อนไข ทางเลือกเพื่อการตัดสินใจ

2.5.4.1 Initial Particle การสร้างประชากรเริ่มต้นโดยใช้การสุ่มค่าให้ X และค่าความเร็วการเคลื่อนที่ให้ V ของพาร์ทิเคิลแต่ละตัว ดังสมการที่ 2.3 และ 2.4 สุ่มค่าพารามิเตอร์ให้ตัวแปรภายในของ X และ V ตามจำนวนของมิติของปัญหาลักษณะนี้คล้ายกับการสุ่มค่าให้กับประชากรเริ่มต้นในวิธีการ GA แต่ PSO จะมีการเก็บค่า V ซึ่งเป็นพารามิเตอร์ในคำนวณความเร็วการเคลื่อนที่

$$X_D = \text{objective random value}\ (\,) \tag{2.3}$$

$$V_D = \text{objective random value}\ (\,) \tag{2.4}$$

2.5.4.2 Evaluate Fitness Value การคำนวณค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลฟังก์ชันความเหมาะสม คำนวณโดยส่งค่า X ให้แก่ฟังก์ชันเป้าหมายการคำนวณค่าความเหมาะสมนี้มีลักษณะคล้ายกับการคำนวณในวิธีของ GA

$$\text{fitness value} = \text{objective function}(X_D) \tag{2.5}$$

2.5.4.3 Update Pbest การเก็บค่าความเหมาะสมที่ดีสุด ซึ่งเป็นค่าความเหมาะสมที่ดีสุดในค่าปัจจุบัน มีเงื่อนไขการปรับปรุงตามสมการ 2.6 ถ้าค่าความเหมาะสมของพาร์ทิเคิลปัจจุบันมีค่าดีกว่า Pbest จะทำการปรับปรุงค่า Pbest หรือทำการเปรียบเทียบคำตอบกับตัวพาร์ทิเคิลในรอบเดียวกันแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้ เรียกวิธีนี้ว่า การคัดสรรเฉพาะพื้นที่

$$\begin{gathered}\text{IF fitness value} > \text{Pbest THEN}\\ \text{Pbest} = \text{fitness value ENDIF}\end{gathered} \tag{2.6}$$

2.5.4.4 Update Gbest การเก็บค่าตำแหน่งที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด โดยเป็นตำแหน่งที่ได้ผลลัพธ์ที่ดีสุดพิจารณาจากการวนรอบตั้งแต่รอบแรกถึงปัจจุบัน ซึ่งจะแตกต่างจาก Pbest ที่พิจารณาการเก็บค่าที่ดีสุดเฉพาะรอบปัจจุบัน Gbest มีเงื่อนไขการปรับปรุงตามสมการ 2.7 จึงเหมือนการเก็บค่าความเหมาะสมที่ดีสุดเงื่อนไขการปรับปรุง

หรือทำการเปรียบเทียบคำตอบกับตัวพาร์ทิเคิลในรอบเดียวกันแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้ เรียกวิธีนี้ว่า คัดสรรเฉพาะพื้นที่

$$\text{IF fitness value} > \text{Gbest THEN} \quad \text{Gbest}_D = X_D\text{ENDIF} \tag{2.7}$$

2.5.4.5 Update Velocity การหาความเร็วการเคลื่อนที่ของแต่ละพาร์ทิเคิล โดยใช้ผลลัพธ์จากการหาในสมการที่ 2.8 ทำให้ได้ความเร็วใหม่ที่พาร์ทิเคิลจะใช้ในการเคลื่อนที่

$$V(t+1) = \text{weight}(t) \times V(t) + C_p \times \text{random}() \times (\text{Pbest} - X(t)) + C_g \times \text{random}() \times (\text{Gbest} - X(t)) \tag{2.8}$$

โดยที่

$V(t+1)$ คือ ค่าความเร็วที่หาได้จากพาร์ทิเคิลรุ่นปัจจุบัน

$V(t)$ คือ ค่าความเร็วที่หาได้จากพาร์ทิเคิลรุ่นก่อน

Weight คือ ค่าการถ่วงน้ำหนัก

C_p คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว

C_g คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล

2.5.4.6 Update Position การปรับปรุงตำแหน่งของแต่ละพาร์ทิเคิล โดยใช้ผลลัพธ์จากการหาในสมการที่ 2.9 ทำให้ได้ตำแหน่งใหม่ที่พาร์ทิเคิลจะเคลื่อนที่ไป และนำผลลัพธ์มาปรับปรุง ซึ่งนำมาปรับปรุงด้วยการบวกค่าเพิ่มนั้นจำเป็นต้องตรวจสอบขอบเขตของปัญหาเพื่อไม่ให้ตำแหน่งเกินค่าขอบเขตของปัญหา

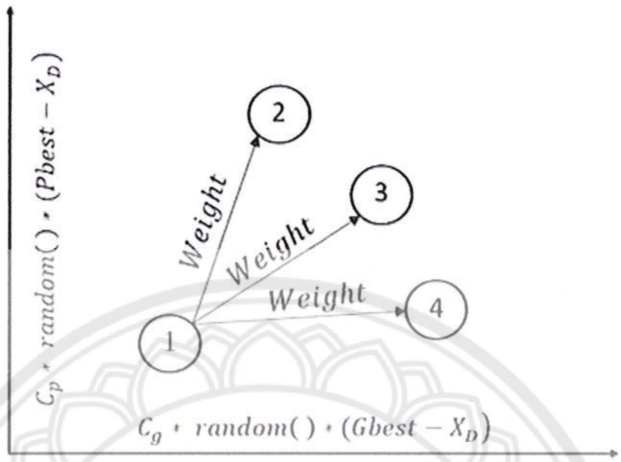
$$X(t+1) = X(t) + V(t+1) \tag{2.9}$$

โดยที่

$X(t+1)$ คือ ค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิลรุ่นปัจจุบัน

$X(t)$ คือ ค่าตำแหน่งของพาร์ทิเคิลรุ่นก่อน

2.5.4.7 Termination Check คือ การตรวจสอบการสิ้นสุดการวนรอบเงื่อนไขที่ตรวจสอบแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ เมื่อผลลัพธ์ที่ได้มีค่าที่สูง หรือดีกว่าคำตอบที่ต้องการให้หยุดการทำงาน หรือการค้นหาใช้ระยะเวลานานมีจำนวนรอบถึงค่าที่กำหนดไว้จึงหยุดการทำงานหากยังไม่สิ้นสุดให้วนกลับไปทำงานในลำดับที่ 2



รูปที่ 2.28 การคำนวณการเคลื่อนที่ของแต่ละอนุภาค

การเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตามการหาคำตอบที่ดีที่สุดในขั้นตอนที่ 5 จากสมการที่ 2.8 เมื่อนำมาพิจารณาเขียนเป็นกราฟแสดงการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิล แสดงดังรูปที่ 2.28 พิจารณาการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลในลักษณะหนึ่งมิติ จากสมการค่าการถ่วงน้ำหนักใช้กำหนดระยะทางในการเคลื่อนที่ ช่วงสมการส่วนที่มี Pbest ประกอบอยู่ใช้หาทิศทางตามแนวแกน y และช่วงสมการส่วนที่มี Gbest ประกอบอยู่ใช้หาทิศทางตามแนวแกน x เมื่อสมการสามส่วนนี้มารวมกันเราจะสมมุติให้พาร์ทิเคิลอยู่ในตำแหน่งที่ 1 หากส่วนของ Pbest มีค่าที่ได้จากการสุ่มมาก และเป็นทิศทางที่ได้ผลลัพธ์ดี จะทำให้พาร์ทิเคิลเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปตำแหน่งที่ 2 ถ้าเราสมมุติให้ส่วนของ Pbest ได้ผลลัพธ์ที่แย่กว่าเดิม สมการในส่วนของ Gbest จะดึงให้พาร์ทิเคิลเคลื่อนที่จากตำแหน่งที่ 1 ไปยังตำแหน่งที่ 4 จากปัญหาที่สมมตินี้เปรียบเทียบได้กับการที่พาร์ทิเคิลหนึ่งตัวจากฝูงพาร์ทิเคิลทั้งหมดเคลื่อนที่จาก 1 ไป 2 แสดงให้เห็นว่า พาร์ทิเคิลตัวนี้พบค่าคำตอบที่ดีกว่าค่าเดิมมากขึ้นในตำแหน่งที่ 2 และค่าคำตอบมีมากกว่าที่พาร์ทิเคิลในฝูงรู้กัน แต่หากพาร์ทิเคิลตัวนี้ เคลื่อนที่จาก 1 ไป 4 แสดงให้เห็นว่าค่าคำตอบเดิมยังไม่ใช่ค่าคำตอบที่ดีที่สุด เพราะฉะนั้นพาร์ทิเคิลตัวนี้จึงเคลื่อนที่ไปหาค่าคำตอบที่ดีกว่าเดิม

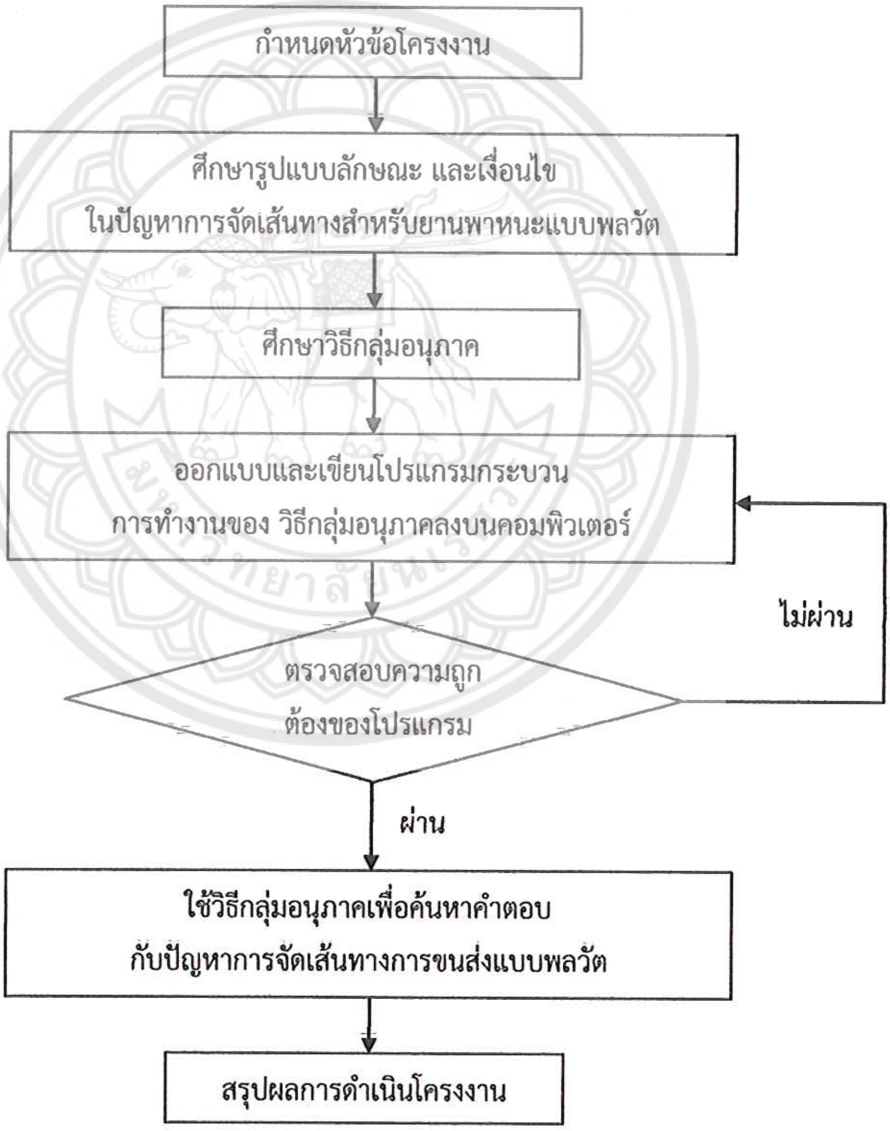
2.6 ภาษา Visual Basic for Applications บน Microsoft Excel

Visual Basic for Applications (VBA) เป็นเครื่องมือที่มีอยู่ในระบบการทำงานของ Microsoft Excel โดยผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมควบคุมการทำงานของ Microsoft Office ได้ตามต้องการ นอกจากนั้นผู้ใช้ยังสามารถสร้างโปรแกรมต่างๆ เพิ่มเติมลงบน Microsoft Excel, Microsoft Word และ Power Point โดยจุดเด่นของ Microsoft Excel มีมากมาย ได้แก่ ด้านการวิเคราะห์ข้อมูลการคำนวณที่ซับซ้อนทำให้สามารถการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications ได้ สามารถดึงเครื่องมือสำเร็จรูปต่างๆ ที่มีอยู่บน Microsoft Excel มาใช้งานได้เลย เช่น Financial Functions, Statistical Functions และ Mathematical Functions เป็นต้น ทำให้สามารถสร้าง หรือพัฒนาโปรแกรม Microsoft Excel ได้โดยง่าย และรวดเร็ว ซึ่งการเขียนโปรแกรมก็สามารถทำได้ง่ายเช่นเดียวกัน

ในโครงงานนี้ ได้นำเอา Visual Basic for Applications มาใช้ในการสร้าง Applications บน Microsoft Excel เพื่อใช้ในการคำนวณหาระยะเส้นการเดินรถ เพื่อประหยัดเวลาในการขนส่งให้ได้มากที่สุด และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

บทที่ 3
วิธีการดำเนินโครงงาน

หลังจากที่ได้ทำการศึกษาค้นคว้าข้อมูลและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต ดังที่กล่าวไว้ในบทที่ 1 และบทที่ 2 แล้ว เพื่อให้การศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต โดยการใช้วิธีกลุ่มอนุภาคแก้ไขปัญหาสามารถเข้าใจได้ง่ายขึ้น แสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงงานของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 ผังงานแสดงขั้นตอนการดำเนินงานโครงงานของปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

3.1 ศึกษาและค้นคว้าทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง

3.1.1 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะ

3.1.2 ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต

3.1.3 ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้น

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตนี้ เพื่อลดค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการขนส่งนี้มีเป้าหมาย เพื่อพยายามลดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุดซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้น ประกอบไปด้วย

3.1.3.1 ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะจัดเป็นค่าใช้จ่ายคงที่ (Fixed Cost) คือ ค่าใช้จ่ายอันเนื่องมาจากการเลือกใช้ยานพาหนะที่มีขนาดบรรจุต่างกัน โดยแต่ละขนาดจะมีค่าใช้จ่ายไม่เท่ากัน

3.1.3.2 ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทางจัดเป็นค่าใช้จ่ายผันแปร (Variable Cost) คือ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากระยะทางของการขนส่งสินค้าโดยค่าใช้จ่ายจะแปรผันตามระยะทางของการขนส่งสินค้า

3.1.3.3 ค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลาจัดเป็นค่าปรับ (Penalty) คือ ค่าใช้จ่ายเมื่อส่งสินค้าเกินกรอบเวลาที่ลูกค้ากำหนดจะมีการเสียค่าปรับเท่ากันทุกช่วงเวลาของการขนส่ง ซึ่งขอบเขตในการดำเนินโครงงานต่างๆ ได้อธิบายไว้แล้วในบทที่ 1 ในหัวข้อ 1.5

3.2 ศึกษาวิธีการเมตาฮิวริสติก (Metaheuristic Method)

วิธีการเมตาฮิวริสติก เป็นวิธีการแก้ไขปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดการการผลิต และโลจิสติกซึ่งเป็นวิธีการที่ใช้กันอย่างแพร่หลายเป็นวิธีการหาคำตอบที่มีความน่าเชื่อถือ โดยเมตาฮิวริสติกมีวิธีการแก้ไขปัญหาที่หลากหลาย เช่น ปัญหาการหาขนาดการผลิตที่เหมาะสม ปัญหาการจัดลำดับการผลิต และปัญหาการหาเส้นทางการเดินทางของพนักงานขาย เป็นต้น เนื้อหาที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการศึกษาจะประกอบด้วย ความรู้พื้นฐานของเมตาฮิวริสติก วิธีการเมตาฮิวริสติกที่พัฒนามาจากการค้นหาคำตอบเฉพาะที่พื้นฐาน (Basic Local Search) วิธีการเชิงพันธุกรรม (Genatic Algorithm) การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย วิธีการค้นหาต้องห้าม (Tabu Search) วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่แบบวนซ้ำ (Iterated Local Search) วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing) วิธีกลุ่มอนุภาค (Particle Swarm Optimization) ซึ่งวิธีการแต่ละวิธีจะมีที่มาและวิธีการที่แตกต่างกัน แต่จะใช้แก้ปัญหาที่คล้ายคลึงกัน ซึ่งวิธีที่ผู้ดำเนินโครงงานได้ศึกษา และใช้ในการแก้ไขปัญหา คือ วิธีกลุ่มอนุภาค

3.3 ศึกษาวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีการแบบกลุ่มอนุภาค

3.3.1 ศึกษาทฤษฎี และวิธีการหาคำตอบโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค

3.3.2 ศึกษาตัวพารามิเตอร์ที่ในการหาค่าคำตอบ

3.3.3 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินงานเพื่อหาคำตอบ

3.3.4 ศึกษาขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบในวิธีกลุ่มอนุภาค

3.4 ศึกษาข้อมูลการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel

3.4.1 ศึกษาวิธีการทำงานของโปรแกรม Visual Basic for Applications

3.4.2 ศึกษาฟังก์ชันการทำงาน และการกำหนดตัวแปรที่ต้องใช้บน Microsoft Excel

3.5 ออกแบบกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยใช้โปรแกรม Visual Basic for Applications (VBA) บน Microsoft Excel

ในขั้นตอนนี้จะทำการออกแบบกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยเริ่มจากการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต กำหนดข้อจำกัดขอบเขตในการสร้างโปรแกรม และกำหนดแนวทางที่จะทำการแก้ปัญหาแล้วจึงทำการกำหนดตัวแปรที่ใช้แทนค่าในโปรแกรม Visual Basic for Application บน Microsoft Excel

3.6 เขียนแบบจำลองบนคอมพิวเตอร์

ในขั้นตอนนี้จะนำวิธีการออกแบบกระบวนการหาคำตอบด้วยวิธีกลุ่มอนุภาคมาเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรม VBA บน Microsoft Excel และตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรม

3.7 ตรวจสอบความถูกต้องของโปรแกรมการแก้ปัญหาโดยวิธีกลุ่มอนุภาค

ตรวจสอบความครบถ้วนของตัวแปร และข้อจำกัดในการสร้างแบบจำลองการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต ให้เป็นไปตามข้อกำหนดของการออกแบบ โดยมีเป้าหมายเพื่อหาค่าใช้จ่ายในการขนส่งให้น้อยที่สุด

3.8 สรุปผลการดำเนินโครงงาน

บทที่ 4
ผลการดำเนินโครงงาน

ในบทนี้จะกล่าวถึงกระบวนการในการใช้วิธีกลุ่มอนุภาค และผลการทดสอบโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค รวมทั้งทดสอบผลประสิทธิภาพในการหาคำตอบที่ทำการออกแบบ นอกจากนี้ยังเป็นการเปรียบเทียบและวิเคราะห์ผลที่ได้

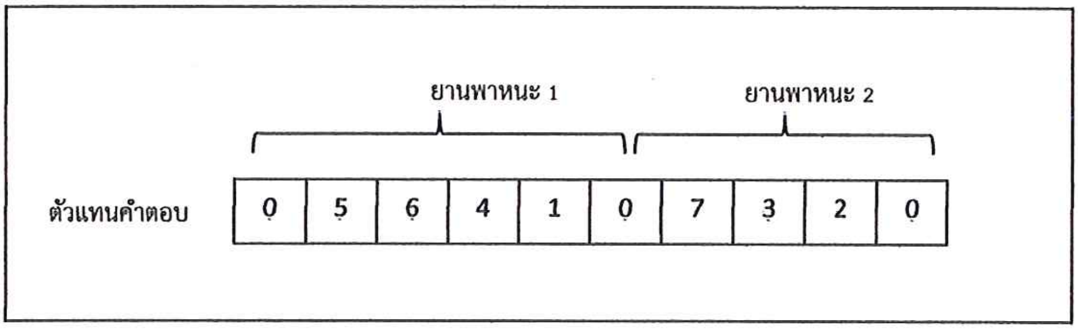
4.1 การสร้างตัวแทนคำตอบและการหาค่าคำตอบ

4.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบ (Representation)

วิธีการกลุ่มอนุภาคจำเป็นต้องสร้างตัวแทนคำตอบ โดยตัวแทนคำตอบที่สร้างขึ้นในโครงงานเล่มนี้จะถูกเรียกว่า “พาร์ทิเคิล” โดยใช้การสุ่มค่าให้ตำแหน่ง และค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลแต่ละตัว เป็นสุ่มค่าพารามิเตอร์ให้ตัวแปรภายในของตำแหน่ง และค่าความเร็วตามจำนวนของมิติของปัญหา และจะมีตำแหน่งของค่าคำตอบที่แสดงผลรวมของค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่มีค่าต่ำที่สุดอยู่ด้านซ้ายมือ ของตัวแทนคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.1

รูปที่ 4.1 แสดงตัวแทนคำตอบ

สำหรับตัวแทนคำตอบนั้น จะใช้เลขจำนวนเต็มแทนหมายเลขของลูกค้า และศูนย์กระจายสินค้าจะแทนด้วยหมายเลขศูนย์ แสดงดังรูปที่ 4.2 ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแทนคำตอบนี้ประกอบไปด้วยยานพาหนะจำนวน 2 คัน คันแรกจะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าแล้วไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 5, 6, 4 และ 1 ตามลำดับ จากนั้นก็เดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะคันที่ 2 เดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 7, 3 และ 2 แล้วกลับไปยังคลังสินค้า



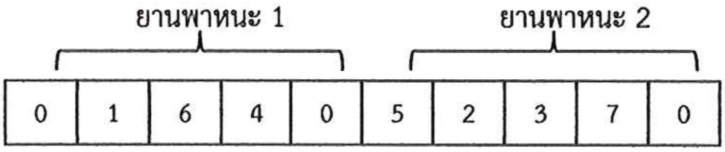
รูปที่ 4.2 การแบ่งยานพาหนะของตัวแทนคำตอบ

4.1.1.1 การสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้น

วิธีการสร้างตัวแทนคำตอบเริ่มต้นได้มาจากการเก็บข้อมูลจำนวนลูกค้า และจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้ามาทำการสุ่มตัวเลขลำดับขึ้น สำหรับค่าคำตอบเริ่มต้นนั้น จะใช้เลขจำนวนเต็มแทนหมายเลขของลูกค้า และศูนย์กระจายสินค้าจะแทนด้วยหมายเลขศูนย์ แสดงดังรูปที่ 4.3 ขั้นแรกให้มีการกำหนดเลขศูนย์ไว้ที่ช่องแรก และช่องสุดท้ายไว้ก่อนเพื่อเป็นการบอกว่ายานพาหนะจะออกจากคลังสินค้า และกลับไปยังคลังสินค้าเสมอ ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าคำตอบนี้ ประกอบไปด้วยยานพาหนะจำนวน 2 คัน คันแรกจะเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าแล้วไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 6 และ 4 ตามลำดับ จากนั้นก็เดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า ยานพาหนะคันที่ 2 เดินทางไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 5, 2, 3 และ 7 จากนั้นก็เดินทางกลับศูนย์กระจายสินค้า (ยุทธพงษ์ 2558)

<u>ตัวอย่าง</u> กำหนดให้มีลูกค้าที่ต้องการสินค้าจำนวน 7 ราย และมีรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้าจำนวน 2 คัน

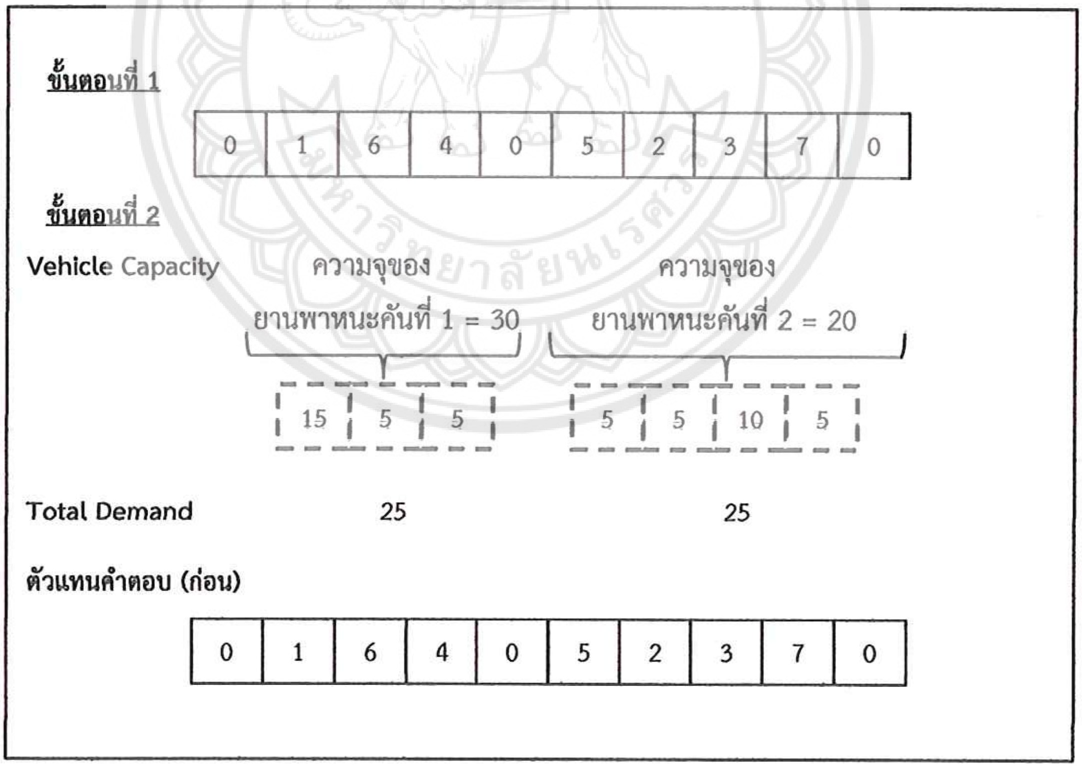
เมื่อได้จำนวนลูกค้าที่ต้องการสินค้า และจำนวนรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้ามาแล้วจะนำตัวเลขทั้งหมดนี้มาทำการสุ่มวางตำแหน่งลงไปในช่องได้ ดังนี้



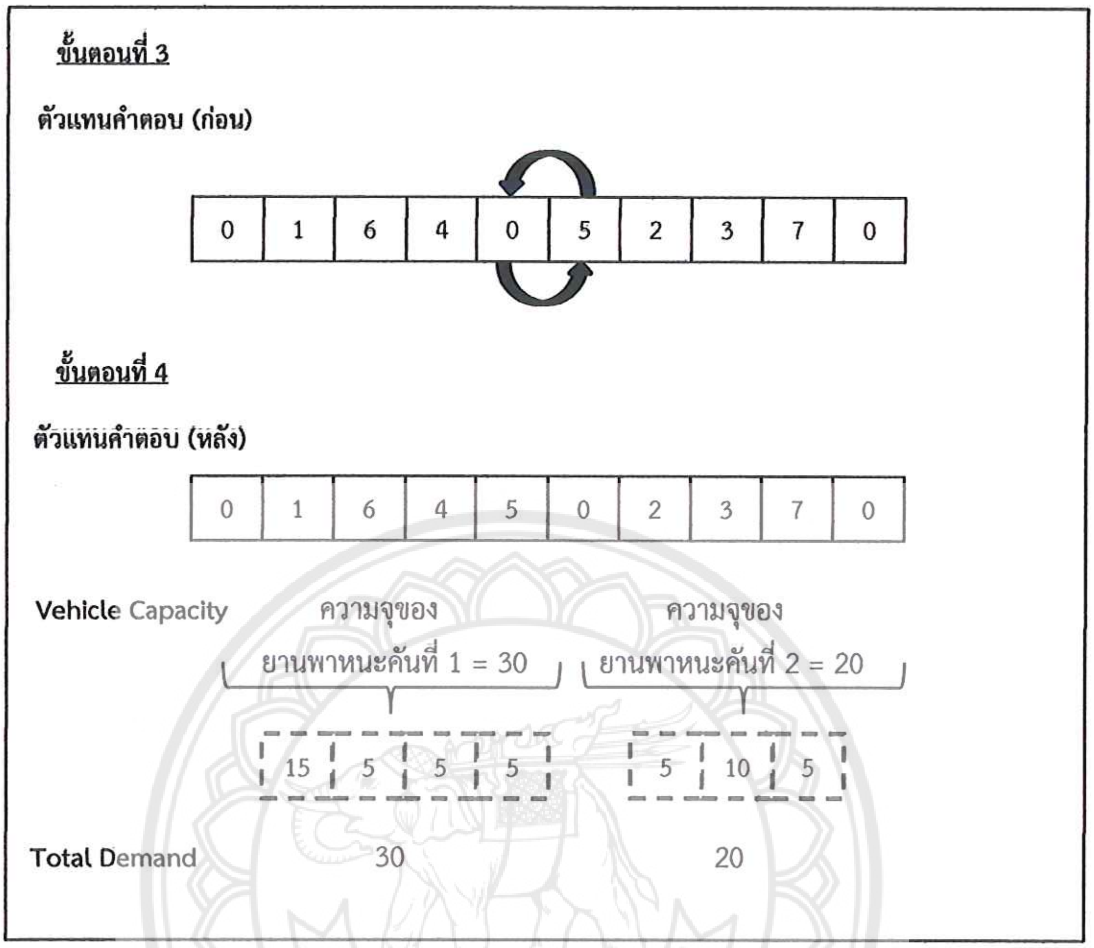
รูปที่ 4.3 การแบ่งยานพาหนะของตัวแทนคำตอบเริ่มต้น

4.1.1.2 การซ่อมแซมคำตอบ

การซ่อมแซมคำตอบ สำหรับส่วนของขั้นตอนการตรวจสอบเงื่อนไขและการซ่อมแซมคำตอบหลังจากสร้างคำตอบเริ่มต้นแบบสุ่ม ในกระบวนการนี้จะมีจุดประสงค์ เพื่อปรับปรุงให้คำตอบเริ่มต้นนั้นเป็นคำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ จะเริ่มต้นจากการตรวจสอบความจุของยานพาหนะทุกคันตามตัวแทนคำตอบถ้าหากมียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความจุ ก็จะทำการซ่อมแซมคำตอบนั้น แสดงดังรูปที่ 4.4 เป็นตัวอย่างวิธีการซ่อมแซมคำตอบไม่ให้ละเมิดเงื่อนไขด้านความจุ มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ ขั้นที่ 1 ได้ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่มาจากการสุ่ม ขั้นที่ 2 ตรวจสอบความจุของยานพาหนะแต่ละคันตามตัวแทนคำตอบ โดยการบวกปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่อยู่ในเส้นทางเดียวกัน ถ้าหากพบว่า มียานพาหนะคันใดบรรทุกเกินความสามารถ (Infeasible Solution) ให้นำหมายเลขลูกค้ารายที่เกินรายแรกที่พบไปสลับกับหมายเลขศูนย์ตัวถัดไปในตัวแทนคำตอบ ขั้นที่ 3 ตรวจสอบความจุจนครบจำนวนยานพาหนะทุกคันถ้าหากมีการละเมิดความจุที่ยานพาหนะคันสุดท้ายให้เก็บจำนวนลูกค้ารายที่เกินความจุทั้งหมดแล้วนำมาแทรกไว้ที่ยานพาหนะคันแรกขั้นที่ 4 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกว่ายานพาหนะทุกคันไม่บรรทุกสินค้าเกิน (Feasible Solution)



รูปที่ 4.4 วิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบ

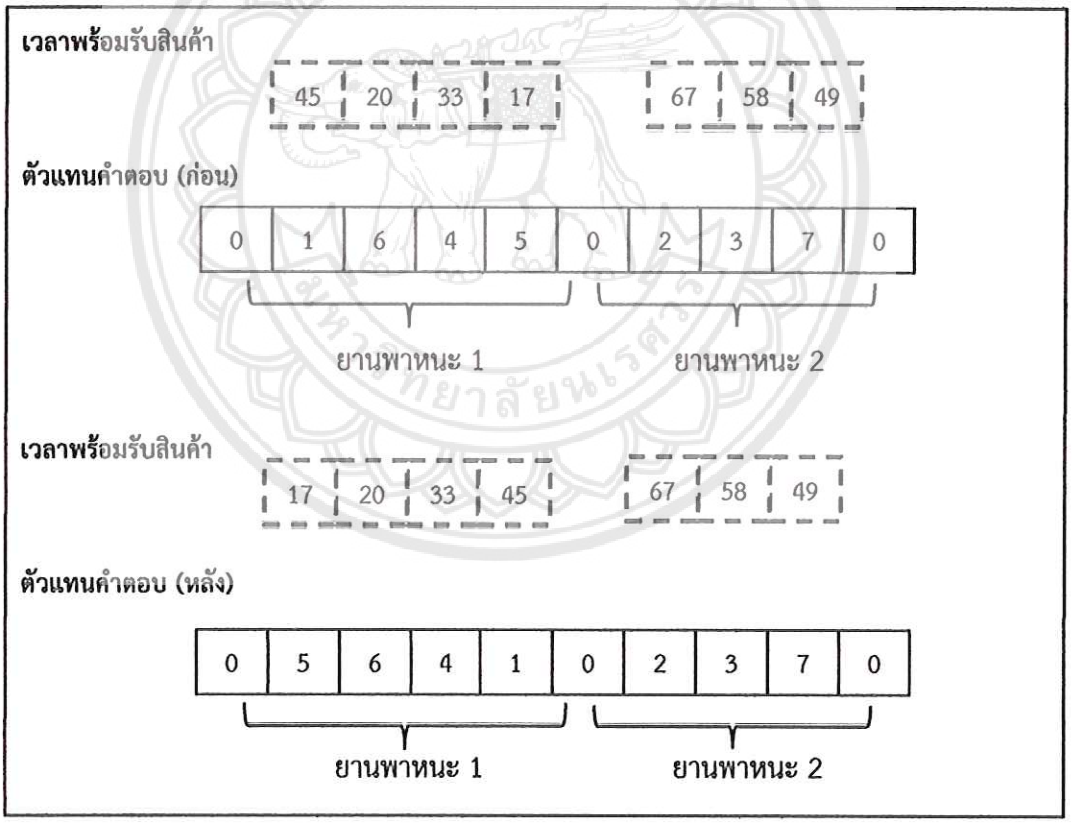


รูปที่ 4.4 (ต่อ) วิธีการซ่อมตัวแทนคำตอบให้เป็นคำตอบ

จากรูปที่ 4.4 จากตัวแทนคำตอบเริ่มต้นจะพบว่ายานพาหนะคันที่ 2 มีการบรรทุกสินค้าเกินความสามารถของยานพาหนะจึงต้องมีการนำ ลูกค้ารายที่เกิน (ลูกค้าหมายเลข 5) ไปฝากไว้กับยานพาหนะคันที่ 1 ซึ่งจะได้เป็นคำตอบใหม่ขึ้นมาแล้วทำการตรวจสอบความจุตามตัวแทนคำตอบใหม่นี้อีกครั้งหนึ่งทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่ไม่ละเมิดเงื่อนไขความจุ

4.1.1.3 การปรับปรุงกรอบเวลา

การปรับปรุงกรอบเวลาเมื่อซ่อมแซมคำตอบเรียบร้อยแล้วก็จะนำคำตอบนั้นมาปรับปรุงเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในการรับสินค้ากระบวนการนี้มีจุดประสงค์ เพื่อลดจำนวนลูกค้าที่ได้รับสินค้าไม่ตรงกรอบเวลามีวิธีการปรับปรุงคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.5 จากตัวอย่างในตัวแทนคำตอบมียานพาหนะที่ใช้งานจำนวน 2 คันพิจารณายานพาหนะคันที่ 1 ในตัวแทนคำตอบก่อนการปรับปรุงยานพาหนะจะเดินทางออกจากคลังสินค้าไปส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 6, 4 และ 5 จากนั้นก็จะเดินทางกลับไปยังศูนย์กระจายสินค้า ในการปรับปรุงกรอบเวลานี้จะพิจารณาโดยการเรียงลำดับเวลาพร้อมรับสินค้าของลูกค้าในเส้นทางใดๆ จากน้อยไปหามาก ซึ่งหมายความว่า ลูกค้าที่ต้องการสินค้าเร่งด่วนก็จะได้รับสินค้าก่อนนั่นเองจะเห็นว่าลูกค้ารายที่ 5 มีเวลาพร้อมรับสินค้าน้อยที่สุด คือ 17 ก็จะถูกเรียงไว้ลำดับแรก จากนั้นก็ตามมาด้วยลูกค้าที่มีเวลาพร้อมรับสินค้ามากขึ้นลำดับถัดไป หลังจากการปรับปรุงคำตอบ เส้นทางของยานพาหนะคันที่ 1 จะเปลี่ยนเป็นการส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายที่ 5 ก่อนตามมาด้วยลูกค้ารายที่ 6, 4, 1 และกลับสู่ศูนย์กระจายสินค้า ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 การปรับปรุงกรอบเวลาของตัวแทนคำตอบ

4.1.1.4 การนำตัวแทนคำตอบเริ่มต้นมาประยุกต์ใช้กับวิธีกลุ่มอนุภาค

การนำตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการปรับปรุงกรอบเวลามาประยุกต์ใช้กับวิธีกลุ่มอนุภาค โดยจะให้นำตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่ได้นั้นเป็นพาร์ทิเคิลตัวแรก จากนั้นเมื่อมีการระบุจำนวนพาร์ทิเคิลที่ต้องการ ก็จะมีการนำพาร์ทิเคิลตัวแรกมาทำการสลับตำแหน่งกันภายใน ซึ่งจะมีการสลับเลขศูนย์ด้านหน้า และด้านหลัง จะได้เป็นพาร์ทิเคิลตัวที่ 2 ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนได้จำนวนพาร์ทิเคิลตามที่ต้องการ แสดงดังรูปที่ 4.6

กำหนดให้วิธีกลุ่มอนุภาคใช้พาร์ทิเคิลจำนวน 3 ตัวในการหาตัวแทนคำตอบเริ่มต้น

ตัวแทนคำตอบเริ่มต้นที่ได้จากการปรับปรุงกรอบเวลาเรียบร้อยแล้ว

0	5	6	4	1	0	2	3	7	0

ใช้พาร์ทิเคิลจำนวน 3 ตัวในการหาค่าคำตอบจะได้

พาร์ทิเคิลตัวที่ 1

0	5	6	4	1	0	2	3	7	0

พาร์ทิเคิลตัวที่ 2

0	1	2	5	0	6	7	4	3	0

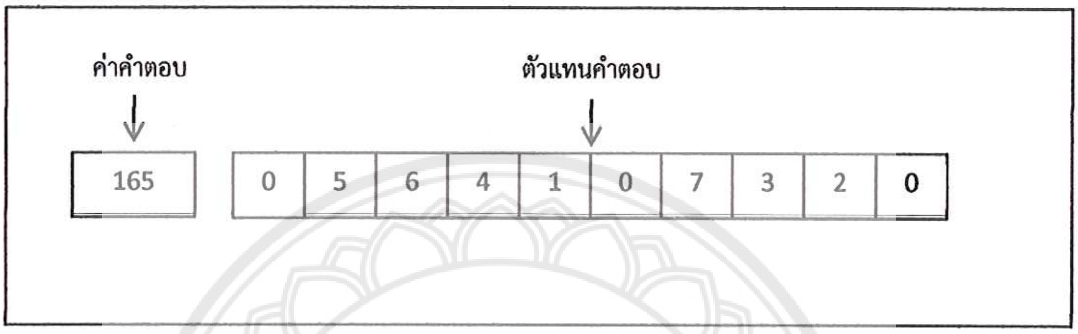
พาร์ทิเคิลตัวที่ 3

0	6	3	1	4	0	7	2	5	0

รูปที่ 4.6 การนำค่าคำตอบเริ่มต้นมาประยุกต์ใช้กับวิธีกลุ่มอนุภาค

4.1.2 ค่าคำตอบ (Evaluate Fitness)

เมื่อได้ตัวแทนคำตอบแล้วจากนั้นทำการหาค่าคำตอบ โดยการคำนวณจากโปรแกรมค่าคำตอบที่ได้จะเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุด แสดงดังรูปที่ 4.7 ค่าคำตอบที่ได้ คือ ค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งน้อยที่สุด ซึ่งค่าใช้จ่ายรวมนั้นประกอบไปด้วย ค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะ หาได้จาก จำนวนรถที่ใช้ในการขนส่ง x ค่าใช้จ่ายคงที่ ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง หาได้จาก ระยะทาง x ค่าใช้จ่ายผันแปร และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา



รูปที่ 4.7 การหาค่าคำตอบ

4.2 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต (Dynamic Vehicle Routing Problem : DVRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการขนส่ง โดยลักษณะปัญหานั้นจะเป็นการหาเส้นทางในการเดินทางไปพบลูกค้ายังสถานที่ต่างๆ ตามคำขอของลูกค้า โดยทำให้มีระยะทาง หรือค่าใช้จ่ายในการเดินทางทั้งหมดต่ำที่สุดปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะนี้พัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย และได้ถูกศึกษาอย่างแพร่หลายในสาขาของการวิจัยการดำเนินงานปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะถูกนำมาวิจัยครั้งแรก โดย Dantzig และ Ramser ศึกษาการจัดเส้นทางของยานพาหนะสำหรับบรรทุกเชื้อเพลิงจากสถานีกลางไปยังสถานีย่อยต่างๆ โดยใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นตรงหลังจากนั้นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะก็ได้รับการวิจัยอย่างมากโดยที่มีการเพิ่มเติมเงื่อนไขต่างๆ เข้าไปให้สมจริงมากขึ้น เช่น การที่ลูกค้าแต่ละรายมีความต้องการปริมาณสินค้าที่ไม่เท่ากัน มีเงื่อนไขเรื่องกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้ายานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีความจุไม่เท่ากัน และมีการเสียค่าปรับเนื่องจากการส่งสินค้าไม่ทันกรอบเวลา เป็นต้น

ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีการสื่อสารในปัจจุบันอุปกรณ์การสื่อสารถูกนำมาประยุกต์ใช้ เพื่อช่วยในการขนส่งมากขึ้นผู้ให้บริการสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่เข้ามาระหว่างการขนส่งได้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบเดิมจึงกลายมาเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัต ซึ่ง Pillac และคณะได้แบ่งปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัยไว้ 4 รูปแบบ แสดงดังตารางที่ 4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย

ตารางที่ 4.1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่พบในงานวิจัย

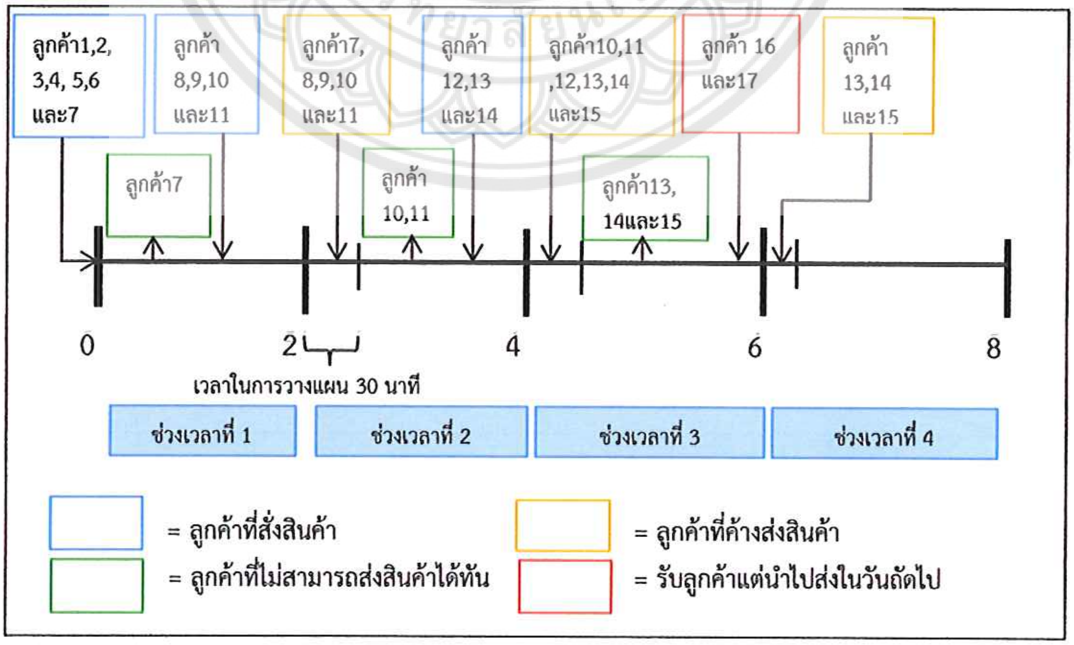
1. Static and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าอย่างแน่นอนจำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาเส้นทางยานพาหนะจะไม่ถูกเปลี่ยนแปลงในช่วงการขนส่ง
2. Static and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าล่วงหน้าแน่นอนจำนวนลูกค้าไม่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาแต่ข้อมูลของลูกค้ามีความไม่แน่นอนเข้ามาเกี่ยวข้อง ซึ่งข้อมูลดังกล่าวมี 3 กรณี คือ ความไม่แน่นอนของลูกค้าที่จะรับบริการเวลารับสินค้าไม่แน่นอน และปริมาณความต้องการสินค้าไม่แน่นอนเส้นทางของยานพาหนะอาจมีการปรับเปลี่ยนเล็กน้อยในระหว่างการทำงาน
3. Dynamic and Deterministic Problem	ทราบจำนวนลูกค้าและข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางรายคำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามาเมื่อกำลังดำเนินการขนส่งเส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงานและจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารช่วยในการขนส่ง
4. Dynamic and Stochastic Problem	ทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าล่วงหน้าเพียงบางรายข้อมูลของลูกค้าอาจมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อเวลาผ่านไปอีกทั้งคำขอของลูกค้ารายใหม่ๆ จะทยอยเข้ามาในช่วงกำลังขนส่งเส้นทางของยานพาหนะจะถูกปรับเปลี่ยนตลอดเวลาการทำงานและจำเป็นต้องใช้เทคโนโลยีการสื่อสารในการสนับสนุนการขนส่ง

ในส่วนของงานวิจัยที่เป็นปัญหาแบบพลวัตเงื่อนไขต่างๆ ที่นำมาพิจารณานั้นก็จะมีรูปแบบเหมือนกันกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบคงที่ทั้งเงื่อนไขด้านความจุของยานพาหนะที่จำกัด เงื่อนไขทางด้านกรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า เงื่อนไขการมีคลังสินค้าหลายแห่ง เงื่อนไขยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งมีหลายประเภท และเงื่อนไขเฉพาะอื่นๆ อีกมากมาย

นอกจากนี้ Pillac และคณะก็ยังได้เสนอแนวทางการแก้ปัญหาที่เป็นแบบ Dynamic and Deterministic ไว้ 2 แนวทาง คือ การหาค่าที่เหมาะสมซ้ำตามช่วงเวลา (Periodic reoptimization) และการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำแบบต่อเนื่อง (Continuous reoptimization) สำหรับการจัดการกับปัญหาตามแนวทางการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำตามช่วงเวลานั้น จะทำการการแบ่งช่วงเวลาวันทำงานให้เป็นช่วงเวลาย่อยเท่าๆ กัน และจะหาค่าที่เหมาะสมเมื่อสิ้นสุดเวลาย่อยนั้นๆ จากนั้นก็จะวางแผนการเดินทางใหม่ในช่วงต้นของเวลาย่อยช่วงต่อไปส่วนการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำแบบต่อเนื่อง จะทำการหาค่าที่เหมาะสมซ้ำทันทีที่มีลูกค้ารายใหม่เข้ามา

4.2.1 ลักษณะปัญหาในโครงงาน

รูปแบบของปัญหาในโครงงานนี้จัดเป็นปัญหาแบบ Dynamic and Deterministic กล่าวคือ ก่อนเริ่มการขนส่งสินค้าผู้ให้บริการจะทราบจำนวนลูกค้า และข้อมูลของลูกค้าเพียงบางราย และหลังจากได้เริ่มการขนส่งไปแล้วก็จะมีลูกค้ารายใหม่ๆ ร้องขอสินค้าเข้ามา ซึ่งรายละเอียดของลูกค้าแต่ละรายหรือข้อมูลนำเข้านั้นจะทราบค่าแน่นอนและจะไม่มีการเปลี่ยนแปลงอีก โดยที่ข้อมูลนำเข้านั้น จะประกอบไปด้วย ตำแหน่งรับสินค้าของลูกค้าปริมาณความต้องการเวลาเริ่มรับสินค้าและเวลาสุดท้ายที่จะสามารถรับสินค้าได้ช่วงก่อนเริ่มต้น การส่งสินค้าคลังสินค้าจะทราบจำนวนลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าให้แน่นอนจากการร้องขอของลูกค้าที่ทราบล่วงหน้า จากนั้นก็จะทำการวางแผนจัดเส้นทางยานพาหนะ เพื่อขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าแล้วมอบหมายเส้นทางการขนส่งเริ่มต้นให้กับยานพาหนะแต่ละคันยานพาหนะก็จะออกเดินทางจากคลังสินค้า เพื่อไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามลำดับที่ได้จัดไว้ระหว่างที่ยานพาหนะกำลังเดินทางเพื่อส่งสินค้าอยู่นั้นลูกค้ารายใหม่ๆ จะติดต่อเข้ามากับคลังสินค้าเพื่อร้องขอสินค้า ดังนั้น คลังสินค้าจะต้องจัดการวางแผนเส้นทางการขนส่งสินค้าใหม่แล้วมอบหมายเส้นทางใหม่นั้นให้กับยานพาหนะผ่านทางเทคโนโลยีที่ช่วยในการสื่อสารสุดท้ายเมื่อยานพาหนะขนส่งสินค้าเสร็จสิ้นเรียบร้อยแล้วก็จะกลับมายังคลังสินค้าจะเห็นว่าจำนวนลูกค้าใหม่และปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายที่ปรากฏขึ้นมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลานับว่าเป็นเรื่องที่สำคัญยิ่งที่คลังสินค้าจะต้องวางแผนเส้นทาง และตัดสินใจมอบหมายงานให้กับยานพาหนะการขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic โดยมีข้อกำหนดว่า เมื่อมีลูกค้าเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 จะไม่ทำการจัดส่งสินค้าในช่วงเวลาที่ 4 ทันทีแต่จะนำไปส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไป แสดงดังรูปที่ 4.8



รูปที่ 4.8 การขนส่งสินค้าแบบปัญหา Dynamic and Deterministic

จากรูปที่ 4.8 อธิบายได้ว่ามีเวลา 8 ชั่วโมงในการส่งสินค้าให้ลูกค้า โดยจะทำการแบ่งเวลาเป็นช่วงเวลาย่อยๆ ช่วงละ 2 ชั่วโมง จะได้ช่วงเวลาออกมา 4 ช่วงเวลา

ช่วงเวลาที่ 1 ยานพาหนะออกจากศูนย์กระจายสินค้าโดยมีข้อมูลที่ทราบแน่นอนแล้ว คือ มีลูกค้าที่รู้ล่วงหน้าจำนวน 7 ราย คือลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 5, 6 และ 7 รายเมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 1, 2, 3, 4, 5 และ 6 จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่ง 1 จำนวน 1 ราย คือลูกค้ารายที่ 7

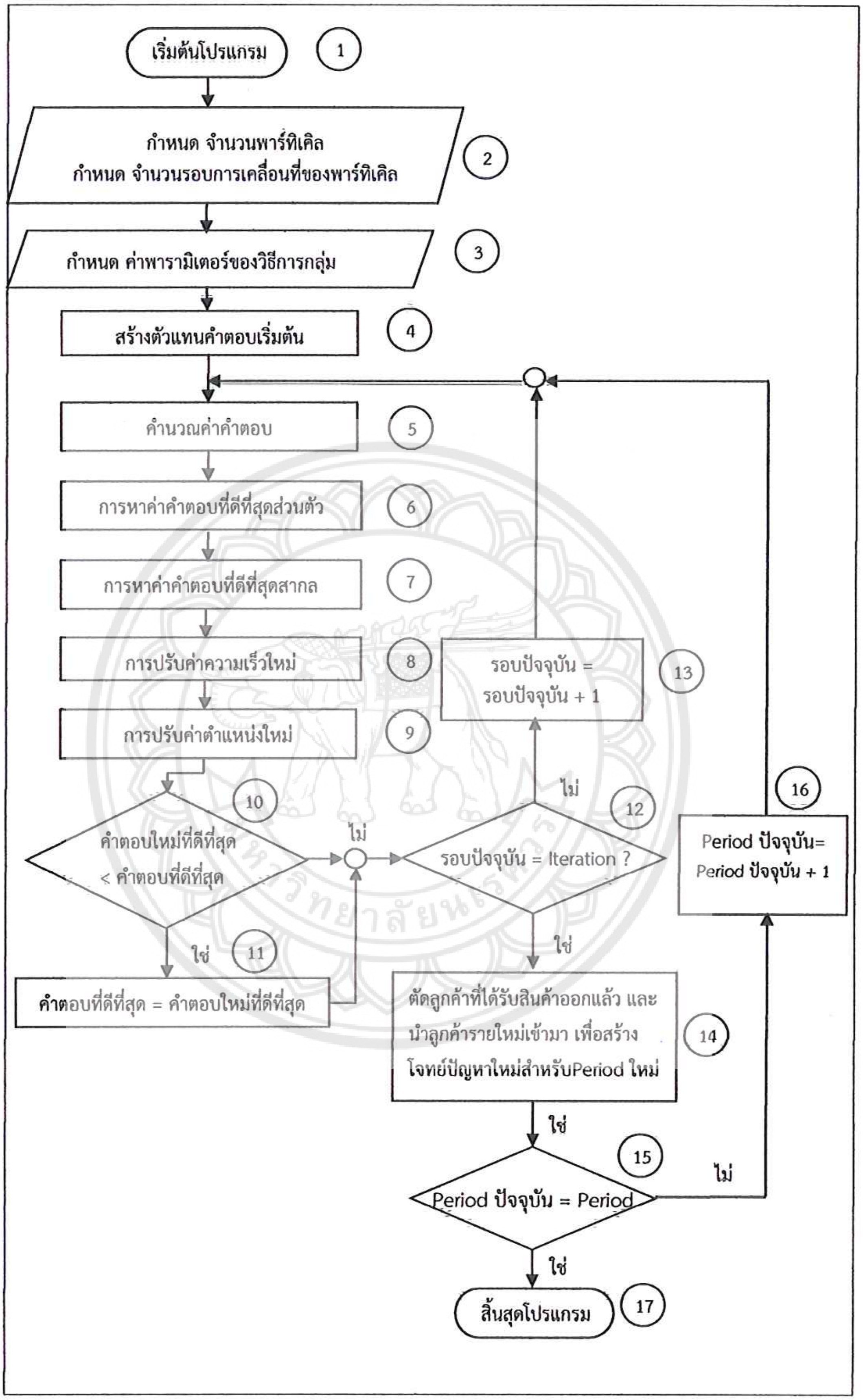
ช่วงเวลาที่ 2 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 1 จำนวน 1 ราย คือลูกค้ารายที่ 7 และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 1 จำนวน 4 ราย คือลูกค้ารายที่ 8, 9, 10 และ 11 เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 2 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 5 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 7, 8 และ 9 จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งจำนวน 2 ราย คือลูกค้ารายที่ 7, 8 และ 9

ช่วงเวลาที่ 3 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 2 ราย คือลูกค้ารายที่ 10 และ11 และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 2 จำนวน 3 รายราย คือลูกค้ารายที่ 12, 13 และ 14 เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 3 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 5 ราย เมื่อเวลาผ่านไปจนครบ 2 ชั่วโมง ได้ส่งสินค้าให้ลูกค้ารายที่ 10, 11 และ 12 จะเหลือลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งจำนวน 3 ราย คือลูกค้ารายที่ 13, 14 และ 15

ช่วงเวลาที่ 4 มีจำนวนลูกค้าที่ยังไม่ได้ส่งสินค้าจากช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 3 ราย คือลูกค้ารายที่ 13, 14 และ 15 และมีลูกค้าเพิ่มเข้ามาระหว่างที่กำลังทำการส่งสินค้าให้ลูกค้าในช่วงเวลาที่ 3 จำนวน 2 ราย คือลูกค้ารายที่ 16 และ 17 แต่ลูกค้าที่เพิ่มเข้ามาในช่วงเวลาที่ 3 ในช่วงเวลานี้ลูกค้าที่เพิ่มเข้าจะไม่ทำการจัดไม่ทำการจัดส่งในช่วงเวลาที่ 4 แต่จะไปจัดส่งในช่วงเวลาที่ 1 ของวันถัดไป ตามข้อกำหนด เพราะฉะนั้นในช่วงเวลาที่ 4 จึงมีลูกค้าที่ต้องทำการจัดส่งสินค้าจำนวน 3 ราย คือลูกค้ารายที่ 13, 14 และ 15 เมื่อทำการส่งสินค้าเรียบร้อยแล้วยานพาหนะก็จะกลับไปที่ศูนย์กระจายสินค้า

4.3 การพัฒนาและประยุกต์ใช้วิธีการกลุ่มอนุภาค

วิธีการทำงานของวิธีการกลุ่มอนุภาคในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตโดยการหาค่าคำตอบเริ่มต้น จากนั้นเก็บค่าที่ดีที่สุดไว้เพื่อทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบในรอบต่อไป ซึ่งจะมีการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว และการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล แสดงดังรูปที่ 4.9



รูปที่ 4.9 แสดงขั้นตอนการทำงานของวิธีการกลุ่มอนุภาค

จากรูปที่ 4.9 สามารถอธิบายขั้นตอนการทำงานของวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคได้ตามขั้นตอน ดังนี้

4.3.1 ขั้นตอนที่ 1 การเริ่มต้นโปรแกรมจากหน้าต่างของโปรแกรมที่แสดงเมื่อเปิดโปรแกรมขึ้นมา

4.3.2 ขั้นตอนที่ 2 เป็นการกำหนดค่าของจำนวนพาร์ทิเคิล และกำหนดจำนวนรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิล

4.3.3 ขั้นตอนที่ 3 เป็นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ของวิธีการกลุ่มอนุภาค ได้แก่ จำนวนพาร์ทิเคิล (จำนวนรอบในการวนหาคำตอบ) ค่าการถ่วงน้ำหนัก (Weight) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และการจำกัดค่าความเร็วหรือไม่จำกัดค่าความเร็ว

4.3.4 ขั้นตอนที่ 4 เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้น เพื่อนำไปคำนวณในขั้นตอนต่อไป

4.3.5 ขั้นตอนที่ 5 เป็นการคำนวณหาค่าคำตอบ

4.3.6 ขั้นตอนที่ 6 เป็นการเปรียบเทียบค่าคำตอบกับตัวพาร์ทิเคิลในรอบเดียวกันแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้ เรียกวิธีนี้ว่า การคัดสรรเฉพาะพื้นที่

4.3.7 ขั้นตอนที่ 7 เป็นการเปรียบเทียบค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัวแล้วเลือกตัวที่ดีที่สุดเก็บไว้

4.3.8 ขั้นตอนที่ 8 เป็นการหาค่าความเร็วการเคลื่อนที่ของแต่ละพาร์ทิเคิล ทำให้ได้ค่าความเร็วใหม่ที่พาร์ทิเคิลจะใช้ในการเคลื่อนที่

4.3.9 ขั้นตอนที่ 9 เป็นการปรับปรุงตำแหน่งของแต่ละพาร์ทิเคิล ทำให้ได้ตำแหน่งใหม่ที่พาร์ทิเคิลจะเคลื่อนที่ไป

4.3.10 ขั้นตอนที่ 10 เป็นการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดกับคำตอบปัจจุบัน ว่าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดมีค่าดีกว่าคำตอบปัจจุบันหรือไม่ ถ้าค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดมีค่าน้อยกว่าค่าคำตอบปัจจุบันให้ไปทำในขั้นตอนที่ 11 แต่ถ้าค่าคำตอบที่ดีที่สุดมีค่ามากกว่าค่าคำตอบปัจจุบันให้ไปทำในขั้นตอนที่ 12

4.3.11 ขั้นตอนที่ 11 ถ้าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดน้อยกว่าค่าคำตอบที่ดีที่สุด ให้ค่าคำตอบใหม่ที่ดีที่สุดเป็นค่าคำตอบที่ดีที่สุดทันที

4.3.12 ขั้นตอนที่ 12 เป็นการเปรียบเทียบว่าจำนวนรอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำในขั้นตอนที่ 13 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 14

4.3.13 ขั้นตอนที่ 13 เป็นการให้จำนวนรอบปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบปัจจุบันบวกหนึ่งแล้วจึงไปทำในขั้นตอนที่ 5

4.3.14 ขั้นตอนที่ 14 เป็นการตัดลูกค้าที่ได้รับสินค้าออกแล้ว และนำลูกค้ารายใหม่เข้ามาเพื่อสร้างโจทย์ปัญหาใหม่สำหรับ Period ใหม่ แล้วจึงไปทำในขั้นตอนที่ 15

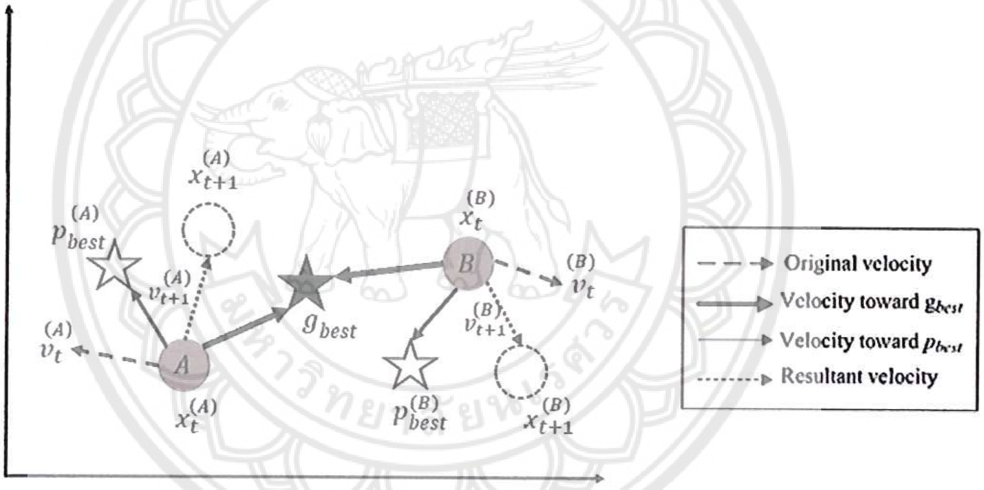
4.3.15 ขั้นตอนที่ 15 เป็นการเปรียบเทียบว่า Period ปัจจุบันเท่ากับจำนวนรอบที่กำหนดหรือไม่ ถ้ายังไม่เท่าให้ไปทำในขั้นตอนที่ 16 แต่ถ้าเท่ากันแล้วให้ทำขั้นตอนที่ 17

4.3.16 ขั้นตอนที่ 16 เป็นการให้ Period ปัจจุบันเท่ากับ Period ปัจจุบันบวกหนึ่ง แล้วจึงไปทำในขั้นตอนที่ 5

4.3.17 ขั้นตอนที่ 17 สิ้นสุดในการรันโปรแกรม

4.4 วิธีการกลุ่มอนุภาค

วิธีการกลุ่มอนุภาค มีแนวคิดมาจากการศึกษาพฤติกรรมทางสังคมของสิ่งมีชีวิต เช่น ลักษณะการเคลื่อนที่ของฝูงนก โดยนกแต่ละตัวที่อยู่ในกลุ่ม เรียกว่า ตัวพาร์ทิเคิล (Particle) การบินของนกหากมองเป็นพารามิเตอร์จะประกอบไปด้วย ตำแหน่งที่นกบินอยู่ (Position) และความเร็วของการเคลื่อนที่ (Velocity)

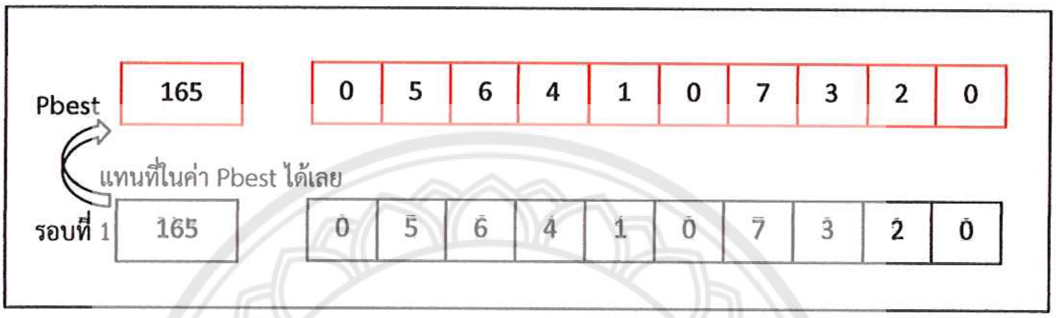


รูปที่ 4.10 แสดงการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลในแต่ละรอบ

จากรูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นถึงการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิล 2 ตัว คือ A และ B ที่จะทำการเคลื่อนที่ในรอบใหม่ ซึ่งการที่พาร์ทิเคิลในตำแหน่งปัจจุบัน (X_t) จะเคลื่อนที่ไปตำแหน่งใหม่ (X_{t+1}) ได้นั้นพาร์ทิเคิลในตำแหน่งปัจจุบันจะได้รับแรงดึงจากค่าความเร็วในหลายทางด้วยกัน ทั้งแรงดึงจากความเร็วในตำแหน่งปัจจุบัน (V_t) แรงดึงจากความเร็วไปทางตำแหน่งของ Pbest และแรงดึงจากความเร็วไปทางตำแหน่งของ Gbest ส่งผลให้ได้ค่าความเร็วใหม่ (V_{t+1}) ที่ได้นำพาร์ทิเคิลไปสู่ตำแหน่งใหม่ (X_{t+1})

4.4.1 การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว (Update Pbest)

เป็นการหาค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในแต่ละรอบของการเคลื่อนที่ แล้วทำการเก็บค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบปัจจุบัน ทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าคำตอบปัจจุบัน กับค่า Pbest ถ้าค่าคำตอบปัจจุบันให้ค่าที่ดีกว่าค่า Pbest ก็จะแทนที่ค่า Pbest ด้วยค่าคำตอบปัจจุบัน แต่ถ้าค่าคำตอบปัจจุบันให้ค่าที่ไม่ดีกว่าค่า Pbest ก็จะไม่มีการแทนที่ค่า Pbest โดยจะทำวนรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวไปจนกระทั่งถึงรอบที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.11



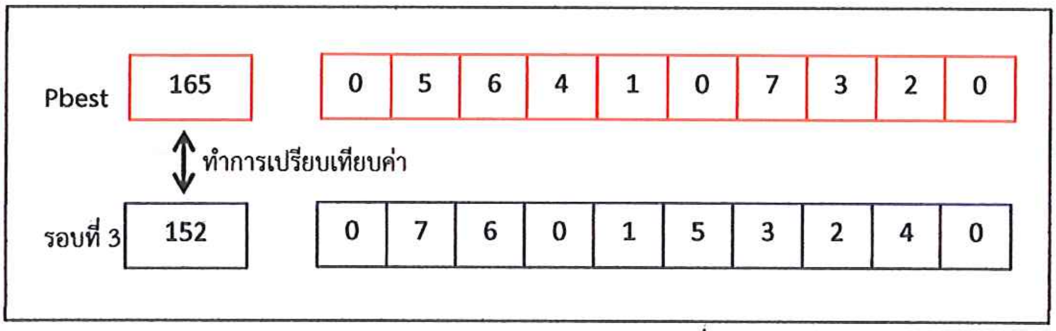
รูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 1

จากรูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 1 แสดงให้เห็นรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวที่ A ในรอบที่ 1 โดยในรอบแรกนั้น จะให้ค่าคำตอบในรอบปัจจุบัน (ค่าคำตอบในรอบที่ 1) เท่ากับค่า Pbest จากนั้นพาร์ทิเคิลตัวที่ A จะทำการเคลื่อนต่อไปในรอบที่ 2 และรอบที่ 3

รูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 2

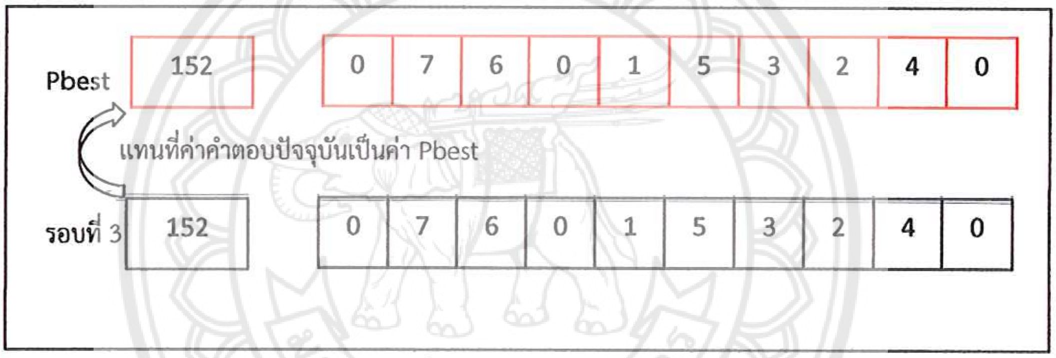
จากรูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 2 แสดงให้เห็นรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวที่ A ในรอบที่ 2 โดยในรอบนี้นั้น จะทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบระหว่างค่าคำตอบปัจจุบัน (ค่าคำตอบในรอบที่ 2) กับค่า Pbest เนื่องจากค่าคำตอบปัจจุบันให้ค่าไม่ดีกว่าค่า Pbest ดังนั้นค่า Pbest ก็ยังจะเป็นค่าเดิม

รูปที่ 4.11 แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว



รูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 3

จากรูปค่าคำตอบของพาร์ทิเคิลในรอบที่ 3 แสดงให้เห็นรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวที่ A ในรอบที่ 3 โดยในรอบนี้นั้น จะทำการเปรียบเทียบค่าคำตอบระหว่างค่าคำตอบปัจจุบัน (ค่าคำตอบในรอบที่ 3) กับค่า Pbest เนื่องจากค่าคำตอบปัจจุบันให้ค่าดีกว่าค่า Pbest ดังนั้นค่าคำตอบปัจจุบัน จะแทนที่ในค่า Pbest แสดงดังรูปการแทนที่ค่าคำตอบปัจจุบันเป็นค่า Pbest

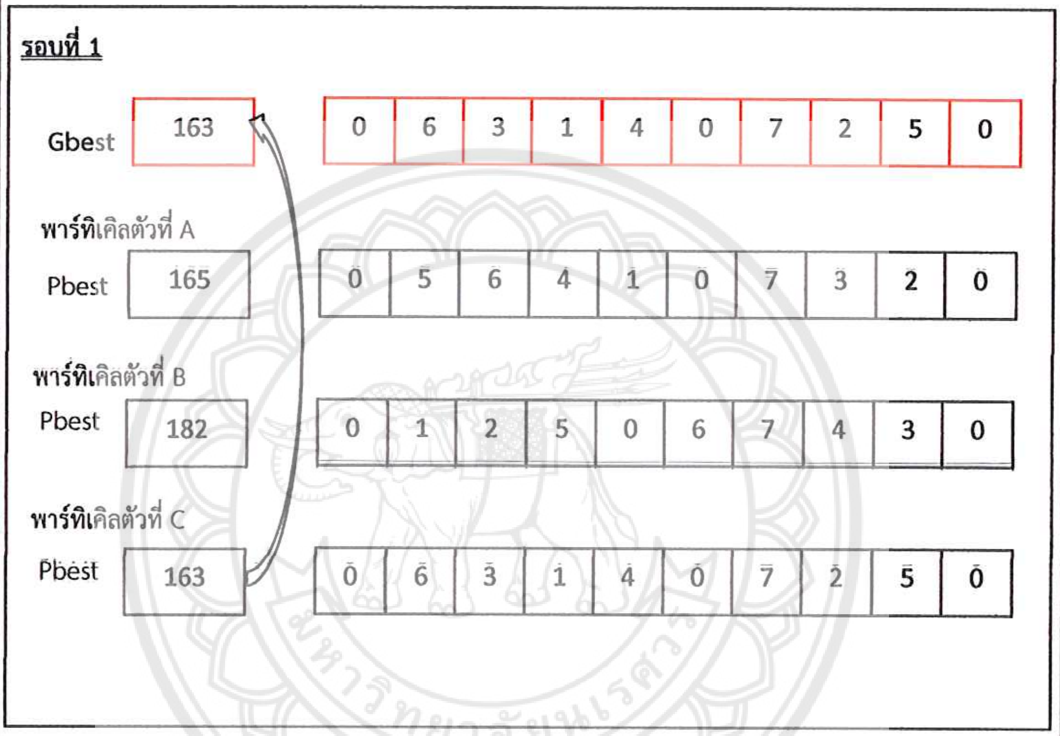


รูปการแทนที่ค่าคำตอบปัจจุบันเป็นค่า Pbest

รูปที่ 4.11 (ต่อ) แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดส่วนตัว

4.4.2 การหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล (Update Gbest)

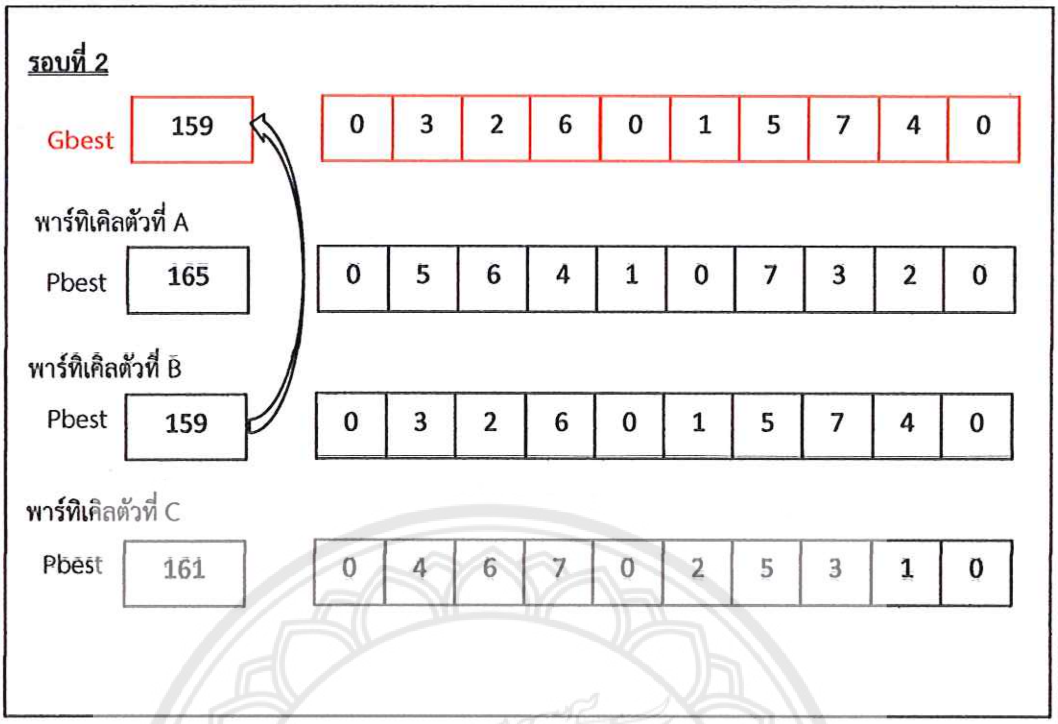
เป็นการเก็บค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลในรอบปัจจุบันทุกตัว แล้วทำการคัดเลือกค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลทุกตัว ว่าพาร์ทิเคิลตัวไหนให้ค่าดีที่สุดในรอบการเคลื่อนที่นั้นๆ ก็จะให้ค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลตัวนั้น แทนที่เป็นค่า Gbest ในรอบการเคลื่อนที่นั้น จะทำการคัดเลือกค่า Gbest ในทุกๆ รอบของการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิล โดยจะทำวนรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลทุกตัว ไปจนกระทั่งถึงรอบที่กำหนด แสดงดังรูปที่ 4.12



รูปค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลทุกตัวในรอบที่ 1

จากรูปค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลทุกตัวในรอบที่ 1 แสดงให้เห็นรอบการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลตัวที่ A, B และ C ในรอบที่ 1 โดยค่า Pbest ในรอบปัจจุบัน (ค่า Pbest ในรอบที่ 1) ของพาร์ทิเคิลทุกตัวนั้นจะถูกนำมาคัดเลือก เพื่อหาค่า Pbest ที่ดีที่สุด จากนั้นแทนที่เป็นค่า Pbest ที่ดีที่สุดในรอบที่ 1 เป็นค่า Gbest ในรอบ 1

รูปที่ 4.12 แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล



รูปค่า Pbest ของพาร์ทิเคิลทุกตัวในรอบที่ 2

ตัวที่ A, B และ C ในรอบที่ 2 โดยค่า Pbest ในรอบปัจจุบัน (ค่า Pbest ในรอบที่ 2) ของพาร์ทิเคิลทุกตัวนั้นจะถูกนำมาคัดเลือกใหม่ เพื่อหาค่า Pbest ที่ดีที่สุด จากนั้นแทนที่เป็นค่า Pbest ที่ดีที่สุดในรอบที่ 2 เป็นค่า Gbest ในรอบ 2

รูปที่ 4.12 (ต่อ) แสดงการหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดสากล

4.4.3 การปรับค่าความเร็วใหม่ (Update Velocity)

การปรับค่าความเร็วใหม่ เป็นการปรับเปลี่ยนค่าของความเร็วเดิมที่ใช้ในแต่ละพาร์ทิเคิล เพื่อให้พาร์ทิเคิล แต่ละตัวนั้นสามารถที่จะเคลื่อนที่ไปหาค่าคำตอบในพื้นที่ใหม่ๆ ได้ การเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลไปยังพื้นที่ใหม่นั้น เป็นการค้นหาค่าคำตอบในพื้นที่ที่มีความหลากหลายมากขึ้น และสามารถค้นหาค่าคำตอบที่ดีขึ้นได้ การปรับค่าความเร็วใหม่จะประกอบไปด้วย 2 ส่วนด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 4.13 ในส่วนที่ 1 จะเป็นการปรับค่าความเร็วใหม่ที่ได้จากการใช้สมการที่ 2.1 ในบทที่ 2 โดยในรอบแรกนั้นจะกำหนดให้ค่าความเร็วปัจจุบันมีค่าเท่ากับศูนย์ก่อน แต่ในรอบใหม่ที่จะเกิดขึ้นถัดไปจะมีการนำค่าความเร็วปัจจุบันของรอบนั้น และค่าพารามิเตอร์ของวิธีกลุ่มอนุภาคมาแทนค่าลงในสมการที่ 2.1 ในบทที่ 2 จะได้ค่าความเร็วใหม่ เพื่อให้พาร์ทิเคิลเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งใหม่ ในส่วนที่ 2 จะเป็นการจำกัดค่าความเร็วใหม่ ซึ่งการจำกัดค่าความเร็วนั้นจะเป็นการนำเอาค่าความเร็วใหม่ที่

สามารถหาได้จากสมการในส่วนที่ 1 มาทำการจำกัดขอบเขตของค่า โดยจะต้องมีการกำหนดช่วงของความเร็วให้มีค่าสูงสุด และค่าต่ำสุด ทำให้ค่าความเร็วใหม่ที่ได้จะมีค่าไม่เกินช่วงของขอบเขตที่กำหนด

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเร็วใหม่ในส่วนที่ 1

กำหนดให้มีค่าความเร็วปัจจุบันของรอบที่ 1 (V_{id}) เท่ากับ 30.84 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) เท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (C_p) เท่ากับ 2,

ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (C_g) เท่ากับ 2, ค่าที่สุ่ม (U) เท่ากับ 0.1,

ค่าตำแหน่งปัจจุบัน (X_{id}) มีค่าเท่ากับ 5, ค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (P_{id}) เท่ากับ 5

และค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (P_{gd}) เท่ากับ 6

จากสมการที่ 2.8 (a) $V_{id}(t+1) = W(t)V_{id}(t)+C_pU(P_{id} - X_{id}(t)) + C_g u\left(P_{gd} - X_{id}(t)\right)$

จะได้

$$V_{id}(t+1) = ((0.4) \times (30.84)) + \left((2 \times (0.1)) \times (5-5)\right) + \left((2 * (0.1)) \times (6-5)\right)$$

$$V_{id}(t+1) = 12.54$$

ตัวอย่างการคำนวณค่าความเร็วใหม่ในส่วนที่ 2

ถ้ามีการจำกัดค่าความเร็วให้มีค่าสูงสุดเท่ากับ 10 และมีค่าต่ำสุดเท่ากับ -10 ดังนั้นค่าความเร็วใหม่ที่ได้จะอยู่ในช่วง [10, -10] เท่านั้น

จากสมการที่ 2.8 (b)

$$V_{id}(t+1) = \begin{cases} -V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \le -V_{max} \\ V_{max} \text{ if } v_{id}(t+1) \ge V_{max} \end{cases}$$

จะได้

$$V_{id}(t+1) = \begin{cases} -10 \text{ if } 12.54 \le -10 \\ 10 \text{ if } 12.54 \ge 10 \end{cases}$$

$$V_{id}(t+1) = 10$$

รูปที่ 4.13 แสดงการปรับค่าความเร็วใหม่

4.4.4 การปรับค่าตำแหน่งใหม่

การปรับค่าตำแหน่งใหม่ เป็นการเปลี่ยนพื้นที่ในการหาค่าคำตอบของแต่ละพาร์ทิเคิล เพื่อให้พาร์ทิเคิลแต่ละตัวสามารถที่จะหาค่าคำตอบใหม่ในพื้นที่ใหม่ได้ โดยการหาค่าคำตอบใหม่นี้ จะไม่ยึดติดอยู่แต่พื้นที่เดิมๆ ในการหาค่าคำตอบตลอด เพราะจะทำให้ค่าคำตอบที่ออกมานั้นมีการเปลี่ยนแปลงค่าน้อย หรือไม่มีการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบเลย ดังนั้น การปรับค่าตำแหน่งใหม่จะทำให้แต่ละพาร์ทิเคิลมีโอกาสที่จะค้นพบค่าคำตอบในพื้นที่ใหม่ๆ เพื่อที่จะให้ค่าคำตอบที่ได้ออกมานั้นมีค่าที่ดีขึ้นไปเรื่อยๆ จะใช้สมการที่ 2.2 ในบทที่ 2 มาใช้ในการปรับค่าตำแหน่งใหม่ แสดงดังรูปที่ 4.14

ตัวอย่างการคำนวณค่าตำแหน่งใหม่ ของพาร์ทิเคิล 1 ตัว

จากสมการที่ 2.2

$$X_{id}(t+1) = X_{id}(t) + V_{id}(t+1)$$

จะได้

ค่าความเร็วใหม่		10	0.65	1	-4	0.28	7	2.88	-4.11	
		+	+	+	+	+	+	+	+	
ค่าตำแหน่งปัจจุบัน	0	17.70	32.80	5.97	62.40	1.34	2.99	7.68	56.20	0
					↓					
ค่าตำแหน่งใหม่	0	27.70	33.45	6.97	58.40	1.62	9.99	10.56	52.09	0

รูปที่ 4.14 แสดงการปรับค่าตำแหน่งใหม่

4.4.4.1 การปรับค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็ม

การปรับค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็ม เป็นการแปลงค่าทศนิยมที่ได้จากการหาค่าตำแหน่งใหม่แล้วเป็นเลขจำนวนเต็มที่เป็นตัวแทนของลูกค้าแต่ละราย และตัวแทนของศูนย์กระจายสินค้า ในการปรับค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มนั้นจะมีอยู่ 3 ขั้นตอนด้วยกัน แสดงดังรูปที่ 4.15

ขั้นตอนที่ 1 นำค่าตำแหน่งใหม่ของแต่ละพาร์ทิเคิลมาทำการจัดเรียงใหม่ โดยทำการเรียงลำดับจากค่าที่น้อยไปยังค่าที่มาก โดยที่จะไม่นำเลขศูนย์ที่อยู่ด้านหน้า และด้านหลังมาเรียง แสดงดังรูปค่าตำแหน่งใหม่ที่ทำการจัดเรียงใหม่

ค่าตำแหน่งใหม่	0	27.70	33.45	6.97	58.40	1.62	9.99	10.56	52.09	0
ค่าตำแหน่งใหม่ที่ทำการจัดเรียงใหม่	0	1.62	6.97	9.99	10.56	27.70	33.45	52.09	58.40	0

รูปค่าตำแหน่งใหม่ที่ทำการจัดเรียงใหม่

ขั้นตอนที่ 2 นำค่าตัวแทนคำตอบที่มีเลขจำนวนเต็มที่เป็นตัวแทนของลูกค้า ทำการเรียงลำดับจากค่าที่น้อยไปยังค่าที่มาก โดยที่จะไม่นำเลขศูนย์ที่อยู่ด้านหน้า และด้านหลังมาเรียง แสดงดังรูปตัวแทนคำตอบที่ทำการจัดเรียงใหม่

ตัวแทนคำตอบ	0	5	6	4	1	0	7	3	2	0
ตัวแทนคำตอบที่ทำการจัดเรียงใหม่	0	0	1	2	3	4	5	6	7	0

รูปตัวแทนคำตอบที่ทำการจัดเรียงใหม่

รูปที่ 4.15 แสดงขั้นตอนการปรับค่าทศนิยมเป็นจำนวนเต็ม

ขั้นตอนที่ 3 ทำการแทนที่เลขจำนวนเต็มที่เป็นตัวแทนของลูกค้าแต่ละราย ไปยังตำแหน่งเดิมของค่าตำแหน่งใหม่

แทนที่ด้วยเลขจำนวนเต็ม	0	4	5	1	7	0	2	3	6	0
ค่าตำแหน่งใหม่	0	27.70	33.45	6.97	58.40	1.62	9.99	10.56	52.09	0

ตัวแทนคำตอบที่ทำการจัดเรียงใหม่	0	0	1	2	3	4	5	6	7	0
ค่าตำแหน่งใหม่ที่ทำการจัดเรียงใหม่	0	1.62	6.97	9.99	10.56	27.70	33.45	52.09	58.40	0

รูปแสดงการแทนที่ค่าตำแหน่งใหม่ด้วยเลขจำนวนเต็ม

จากรูปแสดงการแทนที่ค่าตำแหน่งใหม่ด้วยเลขจำนวนเต็ม จะเห็นว่าค่าตำแหน่งใหม่ที่ทำการจัดเรียงใหม่ (ค่า 1.62) จะตรงกับตำแหน่งค่าตัวแทนคำตอบที่ทำการจัดเรียงใหม่ (ค่า 0) ซึ่งเห็นได้จากในกรอบสีแดง จากนั้นทำการแทนที่ค่าตำแหน่งใหม่ (ค่า 1.62) ด้วย (ค่า 0) ซึ่งเห็นได้จากในกรอบสีน้ำเงิน ดังนั้นจะได้ค่าตำแหน่งใหม่ที่เป็นเลขจำนวนเต็มแล้ว ซึ่งก็คือ ตัวแทนคำตอบใหม่ แสดงดังรูปแสดงค่าตัวแทนคำตอบใหม่

ตัวแทนคำตอบใหม่	0	4	5	1	7	0	2	3	6	0

รูปแสดงค่าตัวแทนคำตอบใหม่

รูปที่ 4.15 (ต่อ) แสดงขั้นตอนการปรับค่าทศนิยมเป็นจำนวนเต็ม

4.4.5 ค่าพารามิเตอร์

ค่าพารามิเตอร์ เป็นค่าที่ส่งผลกระทบต่อกระบวนการ และมีความเกี่ยวเนื่องกับวิธีกลุ่มอนุภาค เพราะการกำหนดค่าพารามิเตอร์นั้น จะสามารถบอกได้ว่าวิธีการนั้นกำลังให้ความสำคัญกับตัวแปรไหนอยู่ ดังนั้น การกำหนดค่าของพารามิเตอร์จึงมีส่วนช่วยให้ผู้ดำเนินโครงงานสามารถที่จะวิเคราะห์ถึงความสำคัญของตัวแปรที่กำลังให้ความสำคัญอยู่ในขณะนั้น เพื่อที่จะสามารถวิเคราะห์ถึงตัวแปรที่ใช้หาค่าคำตอบ และปัญหาจากโจทย์ปัญหาให้ได้รับการแก้ไขได้ง่ายขึ้น ดังนั้นการกำหนดค่าพารามิเตอร์ จึงถือได้ว่ามีส่วนอย่างมากในตัวกำหนดค่าผลลัพธ์ โดยรายละเอียดของค่าพารามิเตอร์สามารถอธิบายได้ ดังนี้

4.4.5.1 จำนวนพาร์ทิเคิล คือ จำนวนของอนุภาคทั้งหมดที่กำหนดขึ้นมาเพื่อใช้หาค่าคำตอบในโจทย์ปัญหาโดยพาร์ทิเคิลแต่ละตัวจะมีการเคลื่อนที่ที่แตกต่างกันออกไป และจะมีการจดจำค่าคำตอบของตัวเองไว้ด้วยเสมอ จำนวนพาร์ทิเคิลที่นิยมใช้ทั่วไปแล้วจะกำหนดให้มีค่าเท่ากับ 10 และ 20 ตัว ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับจำนวนรอบการเคลื่อนที่ด้วยเช่นกัน

4.4.5.2 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ คือ จำนวนรอบในการเคลื่อนที่ของพาร์ทิเคิลแต่ละตัวที่เคลื่อนไปหาค่าคำตอบในพื้นที่ต่างๆ เพื่อหาค่าคำตอบที่มีความหลากหลายยิ่งขึ้น จำนวนของรอบการเคลื่อนที่ที่มากขึ้นจะทำให้ตัวพาร์ทิเคิลสามารถที่จะหาค่าตอบได้มากขึ้น และค่าคำตอบที่ได้นั้นอาจจะมีค่าคำตอบที่ดีขึ้นด้วย ในการกำหนดจำนวนรอบการเคลื่อนที่นั้น จะนิยมกำหนดให้มีค่าอยู่ระหว่าง 100 - 200 รอบ ทั้งนี้ต้องขึ้นอยู่กับจำนวนพาร์ทิเคิลที่ด้วยเช่นกัน

4.4.5.3 Weight หรือค่าการถ่วงน้ำหนัก เป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับค่าของความเร็วในรอบปัจจุบัน และการกำหนดค่าการถ่วงน้ำหนักนี้ สามารถบอกได้ว่ากระบวนการกำลังให้ความสำคัญกับค่าความเร็วในรอบปัจจุบันมากน้อยเพียงใด ค่าการถ่วงน้ำหนักที่นิยมใช้ทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าอยู่ช่วง 0.4 ถึง 0.9 ที่ใช้ในการตั้งค่า

4.4.5.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว และการกำหนดค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัวนั้นสามารถบอกได้ว่ากระบวนการกำลังให้ความสำคัญกับค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัวมากน้อยเพียงใด ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัวที่นิยมใช้ทั่วไป จะกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 4 และนิยมที่จำใช้ค่า Cp เท่ากับค่า Cg

4.4.5.5 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) เป็นค่าพารามิเตอร์ที่มีผลกระทบกับค่าของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล และการกำหนดค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลนั้นสามารถบอกได้ว่ากระบวนการกำลังให้ความสำคัญกับค่าตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลมากน้อยเพียงใด ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากลที่นิยมใช้ทั่วไปจะกำหนดให้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 4 และนิยมที่จำใช้ค่า Cp เท่ากับค่า Cg

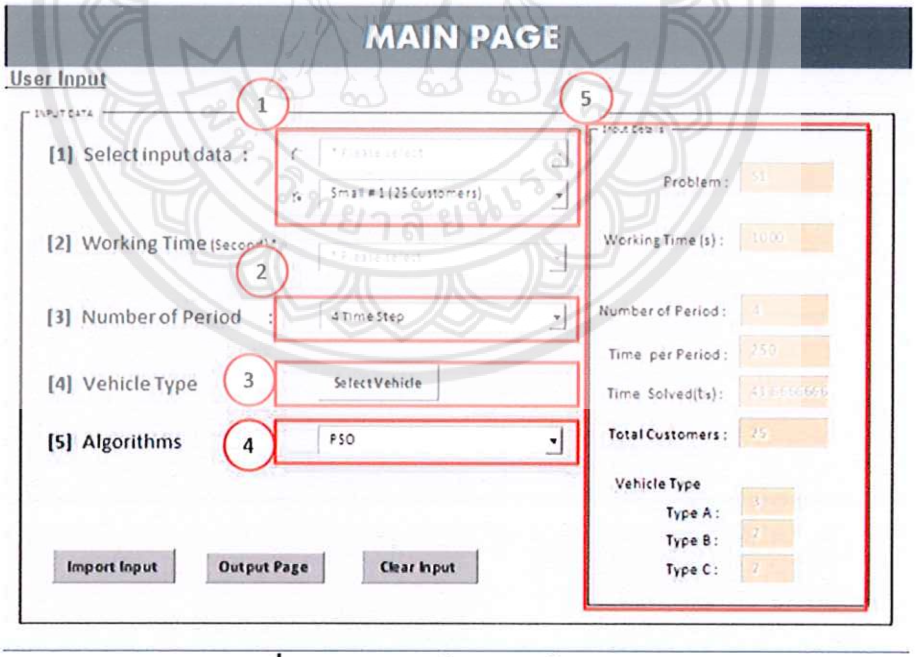
4.4.5.6 ค่าความเร็ว เป็นค่าพารามิเตอร์ที่ผลกระทบกับค่าตำแหน่ง ค่าความเร็วที่นิยมใช้ทั่วไปจะประกอบไปด้วยการไม่จำกัดค่าความเร็ว และการจำกัดค่าความเร็ว การไม่จำกัดค่าความเร็ว คือ การที่ไม่มีการกำหนดขอบเขตของความเร็วนั้นเลย ส่วนการจำกัดค่าความเร็ว คือ การที่มีการจำกัดขอบเขตของค่าความเร็วให้มีค่าไม่เกินช่วงของค่าความเร็วที่กำหนด ซึ่งช่วงของความเร็วที่นิยมกำหนดในการจำกัดค่าความเร็วจะมีความสูงสุดเท่ากับ 10 และมีความต่ำสุดเท่ากับ -10

4.5 โปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค

ในส่วนของโปรแกรมแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาค ผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการออกแบบโปรแกรมให้มีการทำงาน 2 ส่วนหลักๆ คือ ส่วนรับข้อมูล และส่วนประมวลผล

4.5.1 เริ่มต้นเข้าสู่โปรแกรม

เริ่มต้นด้วยการเข้าไปที่หน้าโปรแกรมหลักเพื่อเลือกโจทย์และใส่ข้อมูลที่เราต้องการรันโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 4.16

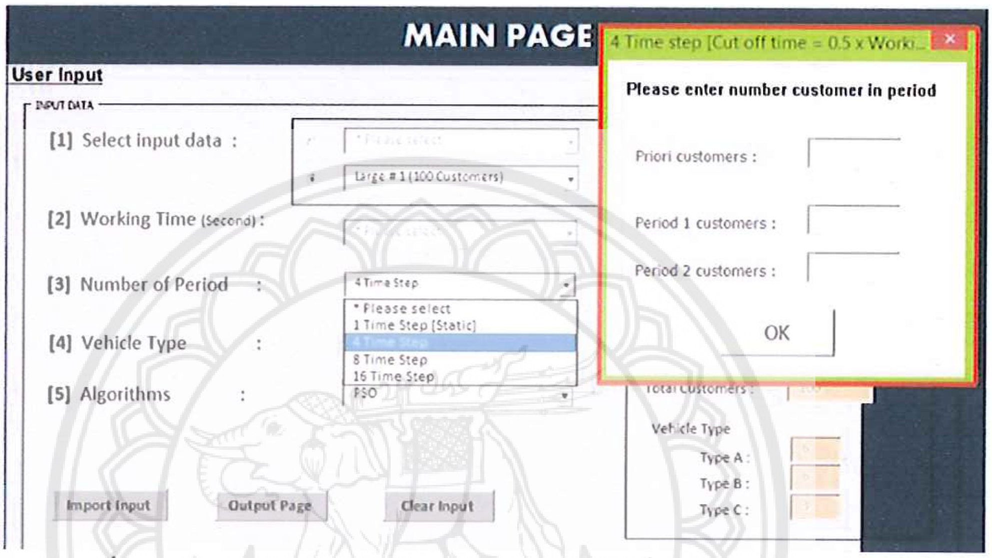


รูปที่ 4.16 แสดงหน้าแรกของโปรแกรม

จากรูปที่ 4.16 ในการกรอกข้อมูลลงในหน้า User Input นั้นแบ่งออกเป็น 5 ส่วน คือ

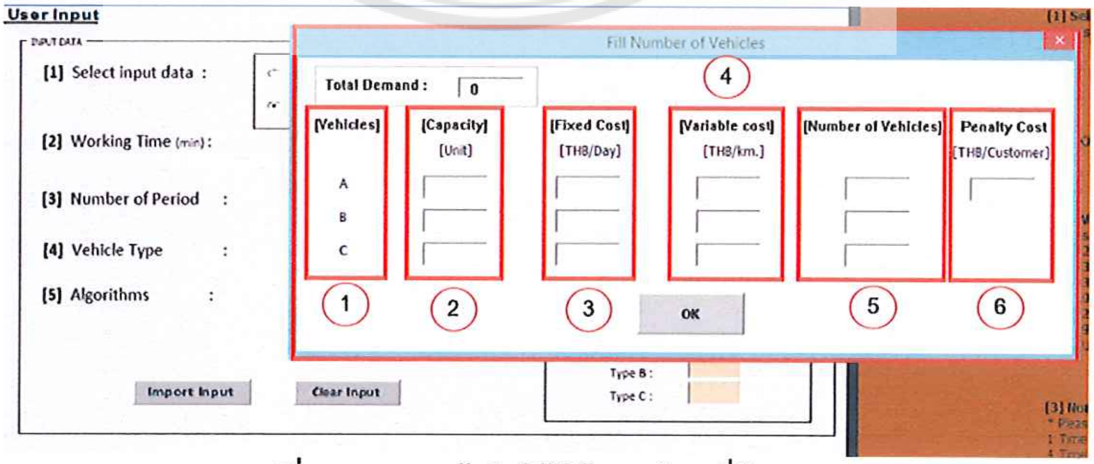
4.5.1.1 หมายเลขที่ 1 ให้ผู้ใช้เลือก Select input data เพื่อเลือกโจทย์ที่ผู้ใช้ต้องการรันโปรแกรมในหน้าต่างของ Main page แสดงดังรูปที่ 4.16

4.5.1.2 หมายเลขที่ 2 ให้ผู้ใช้เลือก Number of period แสดงดังรูปที่ 4.16 ซึ่งจะมีหน้าต่างปรากฏขึ้นให้เพื่อให้ผู้ใช้กรอกจำนวนลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง เมื่อกรอกครบแล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.17



รูปที่ 4.17 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลของลูกค้าที่เข้ามาในแต่ละช่วง

4.5.1.3 หมายเลขที่ 3 ให้ผู้ใช้กดเลือกจำนวนรถของแต่ละประเภท แสดงดังรูปที่ 4.16 เมื่อกดปุ่ม Select vehicle แล้วจะปรากฏหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกจำนวนรถของแต่ละประเภท แล้วกดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.18



รูปที่ 4.18 แสดงหน้าต่างให้ผู้ใช้กรอกข้อมูลที่ต้องการ

จากรูปที่ 4.18 ในการกรอกข้อมูลลงในหน้า Fill Number of Vehicle นั้นแบ่งออกเป็น 6 ส่วน คือ

ก. หมายเลขที่ 1 เป็นข้อมูลของประเภทของยานพาหนะที่สามารถให้ผู้ใช้เลือกใช้ได้ตามต้องการ ซึ่งจะมียานพาหนะอยู่สามประเภท คือ A B และ C แสดงดังรูปที่ 4.18

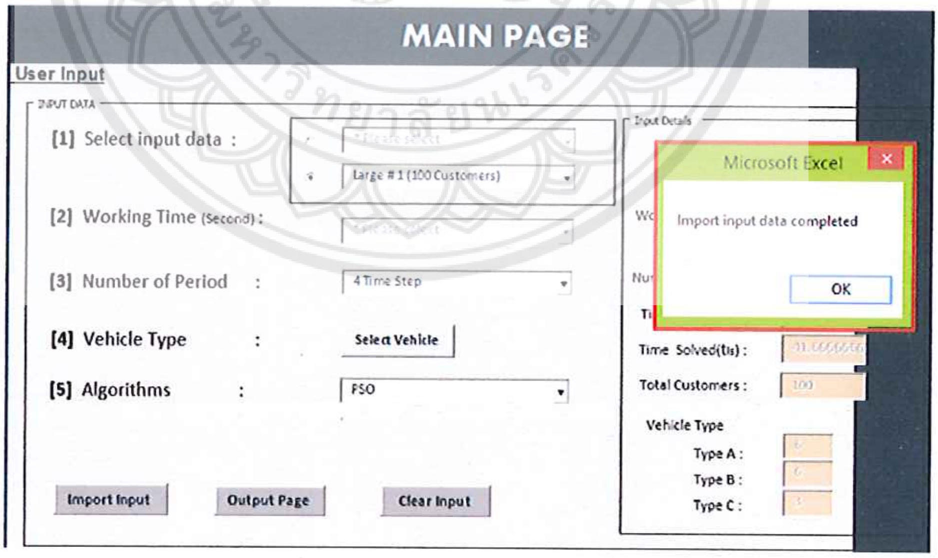
ข. หมายเลขที่ 2 เป็นช่องจำนวนความจุของยานพาหนะแต่ล่ะประเภทซึ่งสามารถให้ผู้ใช้เลือกกรอกจำนวนความจุที่ต้องการลงไปได้ในช่อง Capacity แสดงดังรูปที่ 4.18

ค. หมายเลขที่ 3 เป็นช่องค่าใช้จ่ายคงที่ของยานพาหนะแต่ล่ะประเภทซึ่งสามารถให้ผู้ใช้เลือกกรอกจำนวนค่าใช้จ่ายคงที่ที่ต้องการลงไปได้ในช่อง Fixed Cost โดยจะมีหน่วยเป็นบาทต่อวัน แสดงดังรูปที่ 4.18

ง. หมายเลขที่ 4 เป็นช่องอัตราน้ำมันรถของยานพาหนะแต่ล่ะประเภทซึ่งสามารถให้ผู้ใช้เลือกกรอกอัตราน้ำมันรถที่ต้องการลงไปได้ในช่อง Variable Cost โดยจะมีหน่วยเป็นบาทต่อลิตร แสดงดังรูปที่ 4.18

จ. หมายเลขที่ 5 เป็นช่องของจำนวนยานพาหนะแต่ล่ะประเภทซึ่งสามารถให้ผู้ใช้เลือกกรอกจำนวนยานพาหนะที่ต้องการลงไปได้ในช่อง Number of Vehicle แสดงดังรูปที่ 4.18

ฉ. หมายเลขที่ 6 เป็นช่องค่าปรับของยานพาหนะที่ส่งสินค้าให้กับลูกค้าไม่ทันเวลาที่ลูกค้ากำหนดซึ่งสามารถให้ผู้ใช้เลือกกรอกค่าปรับลงไปได้ในช่อง Penalty Cost โดยจะมีหน่วยเป็นบาท แสดงดังรูปที่ 4.18

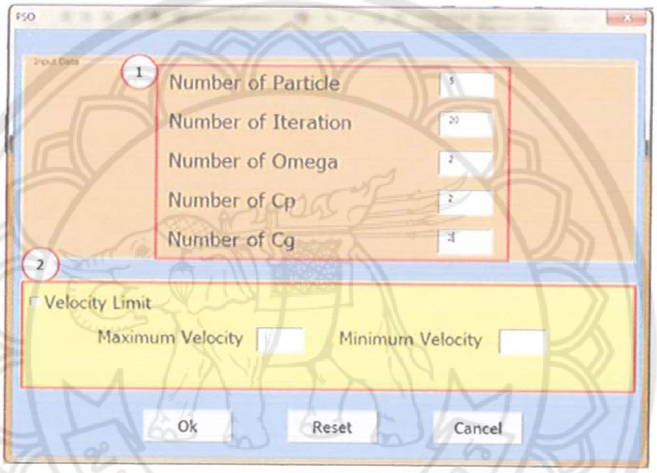


รูปที่ 4.19 แสดงหน้าต่างยืนยันการกรอกข้อมูล

4.5.1.4 หมายเลขที่ 4 ให้ผู้ใช้เลือก Algorithms โดยเลือกวิธี PSO แสดงดังรูปที่ 4.16 แล้วกด Import input จะมีหน้าต่างขึ้นมาว่านำเข้าข้อมูลเสร็จสมบูรณ์ กดปุ่ม OK แสดงดังรูปที่ 4.19 แล้วจะเข้าโปรแกรมใน Worksheet PSO

4.5.1.5 หมายเลขที่ 5 ให้ผู้ใช้ตรวจสอบข้อมูลความถูกต้องของช่อง Input Details ที่ผู้ใช้ได้กรอกข้อมูลลงไป เพื่อดูรายละเอียดทั้งหมดของข้อมูลในโจทย์ที่ผู้ใช้จะใช้รันโปรแกรม แสดงดังรูปที่ 4.20

4.5.2 ส่วนรับข้อมูลในหน้า Worksheet PSO



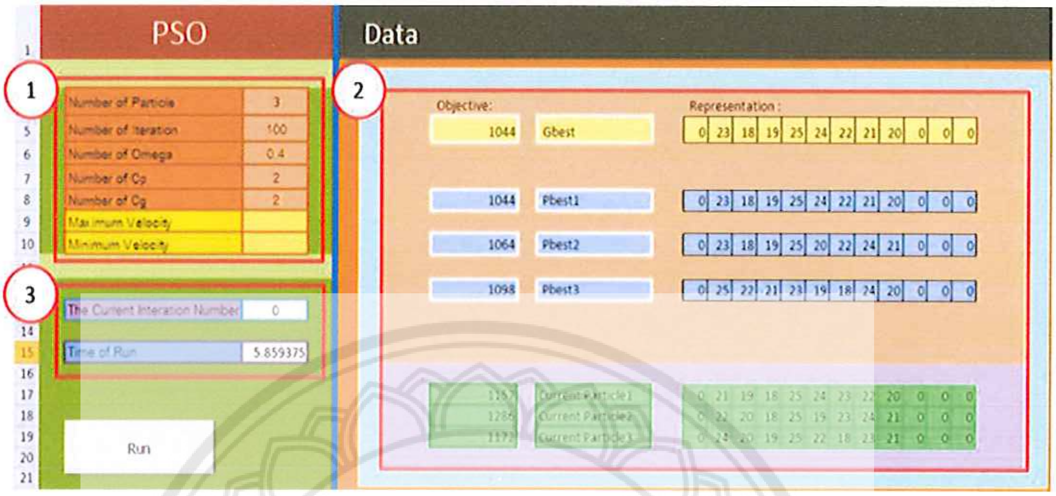
รูปที่ 4.20 ระบุค่าที่ใช้ในวิธีกลุ่มอนุภาค

4.5.2.1 ขั้นตอนที่ 1 ระบุค่าที่ใช้วิธีกลุ่มอนุภาคแบ่งออกเป็น 2 ส่วน

ก. หมายเลขที่ 1 เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้ใช้งานระบุข้อมูลทั้งหมด ได้แก่ จำนวนของตัวอนุภาค จำนวนรอบ ค่าถ่วงน้ำหนักจำเพาะ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว ค่าคงที่อัตราของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล ความเร็วสูงสุด และต่ำสุดที่ใช้ในการกำหนดค่าคำตอบ แสดงดังรูปที่ 4.21 เมื่อระบุค่าทั้งหมดแล้วกดปุ่ม Ok เพื่อไปยังส่วนต่อไป ปุ่ม Reset จะทำการล้างข้อมูลทั้งหมดที่ระบุไว้ และปุ่ม Cancel จะทำการปิดหน้าต่าง Input Data ลง แสดงดังรูปที่ 4.20

ข. หมายเลขที่ 2 เป็นขั้นตอนที่ให้ผู้ใช้งานระบุว่าจะเลือกที่จะจำกัดความเร็วหรือไม่จำกัดความเร็ว ถ้าต้องการที่จะจำกัดความเร็วให้กดเครื่องหมายถูกตรงช่องบริเวณ คำว่า Velocity Limit และควรระบุในช่อง Maximum Velocity เท่ากับ 10 และ Minimum Velocity เท่ากับ -10 เพื่อให้สอดคล้องเข้ากับเงื่อนไขของการศึกษาวิธีกลุ่มอนุภาค แต่ผู้ใช้งานไม่ต้องการจำกัดความเร็วไม่ต้องกดเครื่องหมายถูกและไม่ต้องกรอกค่าจำกัดความเร็ว และหลังจากผู้ใช้งานกรอกข้อมูลครบการต้องการแล้วสามารถกดปุ่ม Ok ได้เลย แสดงดังรูปที่ 4.20

4.5.3 ส่วนรับข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล



รูปที่ 4.21 ส่วนรับข้อมูลและการประมวลผลข้อมูล

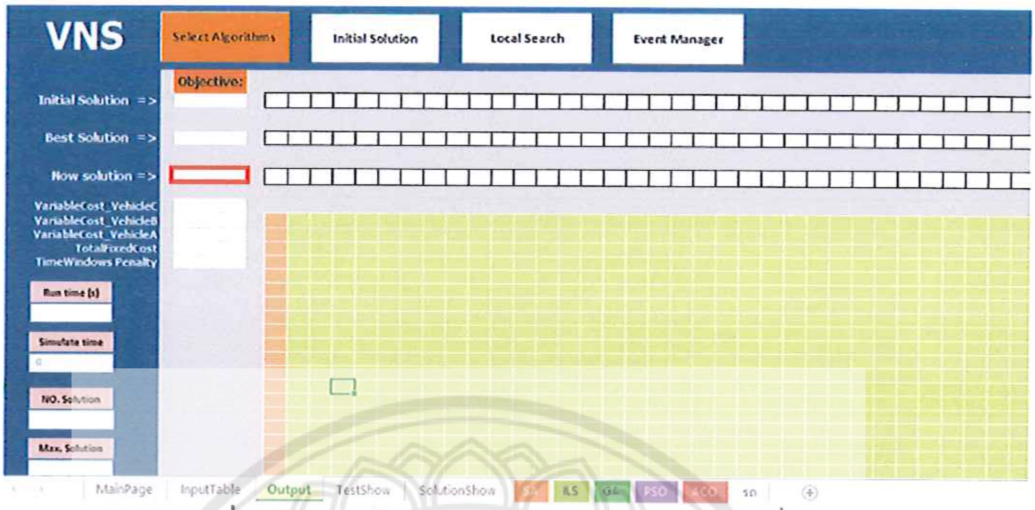
4.5.3.1 ขั้นตอนที่ 2 แสดงค่าพารามิเตอร์และการปรับปรุงค่าคำตอบแบ่งออกเป็น 3 ส่วน

ก. หมายเลขที่ 1 ในส่วนนี้ จะเป็นการแสดงค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการระบุค่าต่างๆ ของขั้นตอนที่ 1 จำนวนรอบในการทำงานปัจจุบัน เวลาที่ใช้ในการหาค่าคำตอบ ถ้าเราจำกัดความเร็วด้วยในช่องของ Maximum Velocity และ Minimum Velocity จะมีค่าแสดงขึ้นมาแล้ว หลังจากตรวจสอบข้อมูลว่าครบแล้วพร้อมที่จะรันโปรแกรม ผู้ใช้งานก็สามารถกดปุ่ม Run เพื่อทำการคำนวณหาค่าคำตอบจากวิธีกลุ่มอนุภาค แสดงดังรูปที่ 4.21

ข. หมายเลขที่ 2 ในส่วนนี้ จะเป็นการแสดงผลลัพธ์จากการคำนวณของวิธีกลุ่มอนุภาค ที่จะนำข้อมูลมาจากส่วนรับข้อมูลมาทำการประมวลผล และนำค่าคำตอบที่ได้มาแสดงไว้ในส่วนนี้ ซึ่งประกอบไปด้วยค่าคำตอบปัจจุบัน (Current Particle) ค่าคำตอบที่ดีที่สุดในรอบการทำงานของอนุภาค (Pbest) ค่าตำแหน่งให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดของการวนรอบตั้งแต่รอบแรกถึงรอบปัจจุบัน (Gbest) แสดงดังรูปที่ 4.21

ค. หมายเลขที่ 3 ในส่วนนี้เป็นจะช่องที่แสดงจำนวนรอบในการรันโปรแกรมว่ามีการรันผ่านไปแล้วกี่รอบ และแสดงเวลาในการรันโปรแกรมว่ารันโปรแกรมหนึ่งครั้งใช้เวลาผ่านไปแล้วกี่วินาที แสดงดังรูปที่ 4.21

4.5.4 การประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด



รูปที่ 4.22 แสดงข้อมูลประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด

จากรูปที่ 4.22 หน้าต่างการประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด ในส่วนนี้ จะเป็นการแสดงค่าข้อมูลประมวลผลของการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด โดยผู้ใช้งานจะนำข้อมูลของ Now solution มาใช้วิเคราะห์ค่าใช้จ่ายสรุปผล เพื่อนำมาเปรียบเทียบค่าคำตอบกับโจทย์ปัญหาที่มี ขนาดจำนวนรถ จำนวนรอบที่แตกต่างกันไป

4.6 การวิเคราะห์ผลการทดลอง

หลังจากได้ทำการทดสอบโปรแกรมเบื้องต้นแล้ว เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการทดสอบโปรแกรมในปริมาณคำตอบที่เท่ากันกับโปรแกรมที่ใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ และวิธีอาณานิคมมด ผลการทดลองได้ค่าคำตอบที่มีคุณภาพค่าคำตอบที่ดีกว่าหรือด้อยกว่า ในปัญหาทั้งหมด ต่อไปจะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบ ประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหา ซึ่งจะมีลักษณะของปัญหาอยู่ 3 ลักษณะ คือ ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่

โดยคอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยใช้วิธีกลุ่มอนุภาคคือ Windows 7 Intel(R) Core (TM) i5-2450M CPU @ 2.50 GHz 2.50 GHz RAM 8.00 GB

การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองประสิทธิภาพของโปรแกรมการแก้ไขการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัต โดยวิธีการกลุ่มอนุภาคนั้น จะมีการกำหนดให้ค่าของพารามิเตอร์มีการทดสอบ 2 ค่าด้วยกัน และผู้ดำเนินโครงงานได้แบ่งการทดลองออกเป็น 2 กรณีหลักๆ คือ กรณีที่ 1 มีการกำหนดให้ค่าของ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าคงที่อัตราเร่ง

ของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) มีค่าที่เท่ากัน ซึ่งเป็นที่นิยมใช้ในการทดลองส่วนมาก กรณีที่ 2 มีการกำหนดให้ ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ไม่เท่ากัน ผู้ดำเนินโครงงานได้ตัดสินใจเลือกแค่ค่าพารามิเตอร์มา 2 ระดับปัจจัย คือ ค่าต่ำสุดและค่าสูงสุดของปัจจัยนั้นๆ เหตุผลที่ทางผู้ดำเนินโครงงานเลือกระดับปัจจัยให้กับพารามิเตอร์ตัวต่างๆ เพียงแค่ 2 ระดับ เนื่องจากโครงงานนี้ เป็นการทดลองแบบเบื้องต้น เพื่อดูว่าปัจจัยใดส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบมากที่สุด และปัจจัยใดไม่ส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบ โดยผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมที่ผู้ดำเนินโครงงานเขียนขึ้นมานั้น จะได้จากทดลองซ้ำจำนวน 5 ครั้ง และมีการตั้งค่าของพารามิเตอร์ แสดงดังตารางที่ 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.2 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ 1

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ParticlexIteration	Omega	Cp	Cg	Velocity
1	10×200	0.40	2.00	2.00	จำกัด Velocity
2	10×200	0.40	2.00	2.00	ไม่จำกัด Velocity
3	10×200	0.40	2.50	2.50	จำกัด Velocity
4	10×200	0.40	2.50	2.50	ไม่จำกัด Velocity
5	10×200	0.90	2.00	2.00	จำกัด Velocity
6	10×200	0.90	2.00	2.00	ไม่จำกัด Velocity
7	10×200	0.90	2.50	2.50	จำกัด Velocity
8	10×200	0.90	2.50	2.50	ไม่จำกัด Velocity
9	20×100	0.40	2.00	2.00	จำกัด Velocity
10	20×100	0.40	2.00	2.00	ไม่จำกัด Velocity
11	20×100	0.40	2.50	2.50	จำกัด Velocity
12	20×100	0.40	2.50	2.50	ไม่จำกัด Velocity
13	20×100	0.90	2.00	2.00	จำกัด Velocity
14	20×100	0.90	2.00	2.00	ไม่จำกัด Velocity
15	20×100	0.90	2.50	2.50	จำกัด Velocity
16	20×100	0.90	2.50	2.50	ไม่จำกัด Velocity

จากตารางที่ 4.2 จะพบว่ามีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ (Particle × Iteration) จะตั้งค่าอยู่ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบ 200 และจำนวนพาร์ทิเคิล 20 จำนวนรอบ 100

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Omega : W) จะตั้งค่าอยู่ที่ 0.4 และ 0.9

ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) จะตั้งค่าให้มีค่าเท่ากันที่ 2 และ 2.5

ค่าความเร็ว (Velocity) ตั้งค่าอยู่ที่ การจำกัดค่าความเร็ว และไม่จำกัดค่าความเร็ว

ตารางที่ 4.3 แสดงการตั้งค่าพารามิเตอร์ในกรณีที่ 2

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ParticlexIteration	Omega	Cp	Cg	Velocity
1	10×200	0.40	2.00	2.50	จำกัด Velocity
2	10×200	0.40	2.00	2.50	ไม่จำกัด Velocity
3	10×200	0.40	2.50	2.00	จำกัด Velocity
4	10×200	0.40	2.50	2.00	ไม่จำกัด Velocity
5	10×200	0.90	2.00	2.50	จำกัด Velocity
6	10×200	0.90	2.00	2.50	ไม่จำกัด Velocity
7	10×200	0.90	2.50	2.00	จำกัด Velocity
8	10×200	0.90	2.50	2.00	ไม่จำกัด Velocity
9	20×100	0.40	2.00	2.50	จำกัด Velocity
10	20×100	0.40	2.00	2.50	ไม่จำกัด Velocity
11	20×100	0.40	2.50	2.00	จำกัด Velocity
12	20×100	0.40	2.50	2.00	ไม่จำกัด Velocity
13	20×100	0.90	2.00	2.50	จำกัด Velocity
14	20×100	0.90	2.00	2.50	ไม่จำกัด Velocity
15	20×100	0.90	2.50	2.00	จำกัด Velocity
16	20×100	0.90	2.50	2.00	ไม่จำกัด Velocity

จากตารางที่ 4.3 จะพบว่ามีการตั้งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ดังนี้

จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ (Particle × Iteration) จะตั้งค่าอยู่ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบ 200 และจำนวนพาร์ทิเคิล 20 จำนวนรอบ 100

ค่าความถ่วงจำเพาะ (Omega : W) จะตั้งค่าอยู่ที่ 0.4 และ 0.9

ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) จะตั้งค่าให้มีค่าที่แตกต่างกันที่ 2 และ 2.5

ค่าความเร็ว (Velocity) ตั้งค่าอยู่ที่ การจำกัดค่าความเร็ว และไม่จำกัดค่าความเร็ว

4.6.1 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดเล็ก

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ในหัวข้อนี้ จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดเล็กทั้ง 2 ปัญหา แสดงดังตารางที่ 4.4, 4.5, 4.6 และ 4.7

ตารางที่ 4.4 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	1,787.50	1,718.13	1,835.31	31.77
2	1,827.63	1,681.81	1,979.75	33.24
3	1,682.56	1,588.06	1,799.06	32.01
4	1,742.89	1,671.13	1,821.69	31.90
5	1,874.08	1,753.56	2,002.75	33.47
6	1,848.10	1,716.06	1,991.94	34.62
7	1,746.81	1,620.94	1,878.19	33.35
8	1,812.51	1,757.88	1,912.56	33.40
9	1,719.74	1,642.50	1,851.31	32.06
10	1,788.44	1,683.81	1,835.25	31.97
11	1,728.08	1,641.94	1,793.25	32.26
12	1,709.19	1,624.25	1,783.50	32.02
13	1,820.48	1,688.00	1,887.63	32.10
14	1,861.31	1745.75	1,948.50	33.57
15	1,786.31	1,644.56	1,856.75	32.66
16	1,860.69	1,789.81	1,965.63	31.99

จากตารางที่ 4.4 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 3 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,682.56 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,588.06

ตารางที่ 4.5 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	1,803.91	1,720.06	1,884.50	31.86
2	1,802.99	1,705.81	1,912.00	32.31
3	1,765.24	1,600.19	1,920.50	32.08
4	1,895.00	1,725.00	2,270.88	31.36
5	1,843.06	1,718.19	2,012.81	31.92
6	1,803.16	1,720.44	1,912.81	33.40
7	1,840.23	1,682.56	2,012.81	31.98
8	1,942.41	1,759.69	2,170.00	31.16
9	1,771.08	1,707.31	1,886.81	32.16
10	1,805.56	1,721.81	1,849.19	32.13
11	1,767.30	1,695.13	1,868.25	33.53
12	1,765.10	1,665.19	1,885.19	32.11
13	1,773.65	1,697.56	1,849.38	32.11
14	1,847.94	1,669.25	2,160.38	32.77
15	1,756.65	1,687.31	1,872.31	32.15
16	1,810.76	1,740.56	1,888.56	32.14

จากตารางที่ 4.5 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 15 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,756.65 และปัญหาขนาดเล็ก 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 3 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,600.19

ตารางที่ 4.6 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	1,120.78	1,042.75	1,194.63	32.12
2	1,136.73	1,051.44	1,240.06	31.96
3	1,196.08	1,081.50	1,271.56	32.00
4	1,131.85	1,083.44	1,198.50	32.08
5	1,182.11	1,095.19	1,368.13	31.96
6	1,160.43	1,106.19	1,242.31	31.93
7	1,235.13	1,150.88	1,333.19	32.06
8	1,223.79	1,119.00	1,277.56	32.11
9	1,158.24	1,094.94	1,271.69	32.12
10	1,158.08	1,090.06	1,253.13	32.25
11	1,123.85	1,078.81	1,182.06	32.27
12	1,131.65	1,057.19	1,193.13	32.51
13	1,217.46	1,133.94	1,332.56	32.33
14	1,212.46	1,142.38	1,280.63	32.59
15	1,197.29	1,166.81	1,244.63	32.73
16	1,142.14	1,091.81	1,205.69	32.57

จากตารางที่ 4.6 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,120.78 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,042.75

ตารางที่ 4.7 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	1,129.59	1,042.75	1,196.31	32.35
2	1,128.45	1,045.13	1,240.06	32.47
3	1,148.64	1,081.50	1,271.56	32.36
4	1,146.29	1,118.69	1,198.50	32.75
5	1,130.24	1,095.19	1,164.63	32.68
6	1,278.51	1,110.44	1,434.63	32.39
7	1,193.51	1,109.94	1,333.19	32.37
8	1,214.60	1,119.00	1,282.31	32.23
9	1,147.43	1,112.25	1,197.56	32.58
10	1,167.08	1,090.06	1,275.94	31.64
11	1,145.36	1,117.63	1,182.06	32.57
12	1,174.60	1,121.06	1,231.88	32.78
13	1,123.16	1,079.00	1,222.94	32.73
14	1,193.86	1,167.75	1,226.94	32.49
15	1,136.03	1,061.06	1,244.63	32.58
16	1,267.99	1,072.19	1,579.50	31.75

จากตารางที่ 4.7 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 13 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,123.16 และปัญหาขนาดเล็ก 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 1,042.75

4.6.2 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดกลาง

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ในหัวข้อนี้ จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดกลางทั้ง 2 ปัญหา แสดงดังตารางที่ 4.8, 4.9, 4.10 และ 4.11

ตารางที่ 4.8 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	4,017.71	3,768.44	4,241.88	71.85
2	4,079.50	3,976.75	4,214.56	74.39
3	4,024.21	3,727.56	4,293.13	68.60
4	3,934.58	3,706.25	4,255.56	68.24
5	4,064.56	3,718.31	4,262.94	64.28
6	4,189.24	3,992.13	4,286.31	68.82
7	4,068.54	3,900.13	4,262.94	67.82
8	4,169.05	4,063.63	4,470.13	74.52
9	4,174.85	4,057.69	4,272.94	71.69
10	4,016.04	3,794.88	4,155.81	68.05
11	4,083.91	3,943.56	4,280.69	64.86
12	4,090.38	3,842.75	4,170.75	74.81
13	4,064.34	3,895.50	4,313.13	70.82
14	4,038.28	3,793.88	4,204.63	73.14
15	3,949.43	3,683.88	4,109.94	70.33
16	3,922.28	3,795.19	4,106.25	71.96

จากตารางที่ 4.8 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน จะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 16 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,922.28 และปัญหาขนาดกลาง 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 15 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,683.88

ตารางที่ 4.9 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	3,907.88	3,706.25	4,060.06	69.75
2	3,966.94	3,827.75	4,240.13	63.27
3	3,947.80	3,769.63	4,180.94	70.00
4	4,020.74	3,919.75	4,154.88	67.01
5	4,156.41	4,047.00	4,244.25	66.41
6	4,140.53	3,942.25	4,322.63	74.31
7	3,998.95	3,880.56	4,099.75	66.65
8	4,116.80	3,823.31	4,336.50	72.18
9	4,148.03	3,759.56	4,309.06	70.47
10	4,087.93	3,880.94	4,214.13	70.32
11	4,040.66	3,938.56	4,148.00	70.12
12	4,012.04	3,811.63	4,119.88	67.21
13	4,115.93	3,958.88	4,219.06	66.85
14	4,161.34	3,988.69	4,407.50	69.86
15	4,033.61	3,854.19	4,166.69	70.01
16	4,081.88	3,963.25	4,279.75	73.84

จากตารางที่ 4.9 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน จะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,907.88 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,706.25

ตารางที่ 4.10 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	3,124.60	3,011.69	3,242.69	74.62
2	3,131.30	3,028.13	3,302.13	67.70
3	3,222.20	3,133.75	3,354.19	68.89
4	3,150.90	3,015.38	3,305.06	67.43
5	3,359.56	3,142.13	3,495.94	74.70
6	3,359.55	3,269.06	3,485.75	65.28
7	3,395.56	3,214.56	3,538.75	67.66
8	3,283.60	3,090.25	3,485.75	71.73
9	3,248.41	3,052.25	3,508.25	71.88
10	3,120.13	2,985.69	3,373.25	71.80
11	3,256.81	3,083.13	3,386.44	77.38
12	3,265.70	3,064.63	3,430.94	71.75
13	3,380.90	3,152.06	3,516.75	72.79
14	3,318.63	3,060.63	3,498.38	66.08
15	3,286.25	3,222.25	3,365.13	74.86
16	3,418.73	3,274.13	3,564.81	74.77

จากตารางที่ 4.10 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน จะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 10 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,120.13 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 2,985.69

ตารางที่ 4.11 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	3,137.39	3,011.69	3,242.69	75.42
2	3,126.46	3,015.38	3,302.13	67.46
3	3,249.51	3,139.50	3,354.19	74.47
4	3,206.64	3,097.13	3,351.50	71.49
5	3,291.71	3,098.31	3,485.75	71.95
6	3,383.98	3,269.06	3,522.75	73.32
7	3,368.10	3,214.56	3,485.75	72.08
8	3,352.85	3,268.63	3,485.75	79.91
9	3,310.60	3,052.25	3,528.50	80.38
10	3,212.16	2,985.69	3,610.88	82.82
11	3,259.35	3,099.56	3,386.44	75.34
12	3,249.68	3,064.63	3,366.50	77.74
13	3,323.34	3,147.69	3,498.69	84.10
14	3,224.89	3,060.63	3,437.94	69.20
15	3,371.46	3,246.38	3,608.13	79.37
16	3,265.45	3,020.50	3,506.25	75.63

จากตารางที่ 4.11 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน จะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 2 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 3,126.46 และปัญหาขนาดกลาง 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 10 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 2,985.69

4.6.3 ผลการทดสอบโปรแกรม และวิเคราะห์ผลการทดลองในปัญหาขนาดใหญ่

หลังจากทำการทดสอบโปรแกรมแล้ว ในหัวข้อนี้ จะเป็นการแสดงผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบประสิทธิภาพของโปรแกรมตามลักษณะของปัญหาขนาดใหญ่ทั้ง 2 ปัญหา แสดงดังตารางที่ 4.12, 4.13, 4.14 และ 4.15

ตารางที่ 4.12 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	7,830.21	7,499.06	8,014.38	150.10
2	8,044.79	7,761.06	8,312.81	150.98
3	7,933.69	7,846.00	8,001.06	156.08
4	7,633.99	7,468.25	7,776.38	152.77
5	7,782.53	7,671.88	7,942.44	144.64
6	7,984.11	7,646.06	8,493.94	151.00
7	7,892.85	7,761.63	8,124.31	151.01
8	7,877.46	7,648.69	8,002.75	150.53
9	7,896.03	7,807.13	8,111.50	155.34
10	8,034.89	7,864.25	8,178.19	149.13
11	8,026.41	7,670.94	8,172.94	155.73
12	7,782.89	7,587.69	7,994.88	150.50
13	7,996.16	7,825.69	8,360.19	145.14
14	7,956.36	7,746.31	8,157.44	151.34
15	8,092.36	7,733.56	8,551.63	150.42
16	8,109.28	7,808.94	8,453.75	156.86

จากตารางที่ 4.12 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 4 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,633.99 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,468.25

ตารางที่ 4.13 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	7,823.18	7,823.18	8,086.13	173.07
2	7,978.96	7,731.38	8,649.63	168.12
3	7,945.91	7,824.19	8,053.69	170.93
4	7,984.88	7,877.19	8,142.94	172.24
5	7,869.93	7,499.94	8,253.88	163.34
6	7,966.86	7,797.50	8,313.50	168.56
7	7,998.04	7,882.19	8,128.44	165.97
8	7,943.11	7,575.69	8,405.25	162.08
9	7,719.05	7,566.25	7,897.38	168.70
10	7,935.38	7,740.88	8,044.69	167.37
11	7,999.05	7,919.63	8,109.56	159.81
12	7,877.01	7,615.50	8,138.88	168.02
13	8,048.94	7,734.69	8,423.94	165.98
14	8,089.38	7,874.69	8,441.31	176.49
15	7,952.66	7,766.19	8,060.25	167.97
16	8,060.35	7,590.81	8,550.81	167.81

จากตารางที่ 4.13 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 9 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,719.05 และปัญหาขนาดกลาง 1 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 5 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,499.94

ตารางที่ 4.14 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	7,617.09	7,237.69	7,852.50	168.02
2	7,568.23	7,171.13	7,784.81	155.03
3	7,339.03	7,003.63	7,650.75	162.28
4	7,458.71	7,079.38	7,994.81	154.06
5	7,338.28	7,201.25	7,464.88	149.82
6	7,462.93	7,211.38	7,741.56	153.41
7	7,289.81	6,936.06	7,875.69	150.82
8	7,369.63	7,108.44	7,714.19	154.65
9	7,592.19	7,352.94	7,781.63	145.18
10	7,349.64	6,630.44	7,898.63	141.21
11	7,535.21	7,328.13	7,769.75	156.45
12	7,446.94	7,254.25	7,704.25	152.91
13	7,365.88	7,190.00	7,566.00	156.60
14	7,585.34	7,307.44	7,770.56	125.11
15	7,564.18	7,362.69	7,828.38	144.03
16	7,505.55	7,300.56	7,686.56	167.49

จากตารางที่ 4.14 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าเท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 10 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,289.81 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 6,630.44

ตารางที่ 4.15 แสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากัน

ค่าพารามิเตอร์ชุดที่	ค่าเฉลี่ย	ค่าต่ำสุด	ค่าสูงสุด	เวลาเฉลี่ย (วินาที)
1	7,617.09	7,237.69	7,852.50	171.31
2	7,413.29	7,171.13	7,730.81	166.69
3	7,327.00	7,003.63	7,650.75	164.40
4	7,470.51	7,079.38	7,994.81	161.41
5	7,315.11	7,201.25	7,379.63	170.80
6	7,385.40	7,211.38	7,569.81	172.35
7	7,237.98	6,936.06	7,466.88	138.14
8	7,301.74	7,108.44	7,540.19	156.08
9	7,559.53	7,251.31	7,781.63	165.43
10	7,503.38	7,289.75	7,968.50	163.21
11	7,503.38	7,167.06	7,769.75	161.49
12	7,655.54	7,421.00	8,047.06	149.92
13	7,422.23	6,993.13	7,833.81	163.84
14	7,595.96	7,307.44	7,999.25	153.08
15	7,458.24	7,405.50	7,520.81	165.27
16	7,602.61	7,300.56	7,987.06	168.31

จากตารางที่ 4.15 เป็นการแสดงผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 กรณีที่ค่า Cp และ Cg มีค่าไม่เท่ากันจะแสดงค่าเฉลี่ย ค่าต่ำสุด ค่าสูงสุด และเวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการประมวลผลของโปรแกรมในการหาค่าใช้จ่ายรวมทั้งหมด จากปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค เมื่อใช้ค่าพารามิเตอร์ทั้ง 16 ชุด จะเห็นได้ว่าผลลัพธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 เมื่อใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 7 โดยใช้หลักการหาค่าคำตอบของวิธีกลุ่มอนุภาค จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 7,237.98 และจะให้ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุดมีค่าเท่ากับ 6,936.06

4.6.4 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์

ตารางที่ 4.16 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ชุดที่	ขนาดเล็ก 1		ขนาดเล็ก 2		ขนาดกลาง 1	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	1,787.50	1,803.91	1,120.78	1,129.59	4,017.71	3,907.88
2	1,827.63	1,802.99	1,136.73	1,128.45	4,079.50	3,966.94
3	1,682.56	1,765.24	1,196.08	1,148.64	4,024.21	3,947.80
4	1,742.89	1,895.00	1,131.85	1,146.29	3,934.58	4,020.74
5	1,874.08	1,843.06	1,182.11	1,130.24	4,064.56	4,156.41
6	1,848.10	1,803.16	1,160.43	1,278.51	4,189.24	4,140.53
7	1,746.81	1,840.23	1,235.13	1,193.51	4,068.54	3,998.95
8	1,812.51	1,942.41	1,223.79	1,214.60	4,169.05	4,116.80
9	1,719.74	1,771.08	1,158.24	1,147.43	4,174.85	4,148.03
10	1,788.44	1,805.56	1,158.08	1,167.08	4,016.04	4,087.93
11	1,728.08	1,767.30	1,123.85	1,145.36	4,083.91	4,040.66
12	1,709.19	1,765.10	1,131.65	1,174.60	4,090.38	4,012.04
13	1,820.48	1,773.65	1,217.46	1,123.16	4,064.34	4,115.93
14	1,861.31	1,847.94	1,212.46	1,193.86	4,038.28	4,161.34
15	1,786.31	1,756.65	1,197.29	1,136.03	3,949.43	4,033.61
16	1,860.69	1,810.76	1,142.14	1,267.99	3,922.28	4,081.88

พารามิเตอร์ชุดที่	ขนาดกลาง 2		ขนาดใหญ่ 1		ขนาดใหญ่ 2	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	3,124.60	3,137.39	7,830.21	7,823.18	7,617.09	7,617.09
2	3,131.30	3,126.46	8,044.79	7,978.96	7,568.23	7,413.29
3	3,222.20	3,249.51	7,933.69	7,945.91	7,339.03	7,327.00
4	3,150.90	3,206.64	7,633.99	7,984.88	7,458.71	7,470.51
5	3,359.56	3,291.71	7,782.53	7,869.93	7,338.28	7,315.11
6	3,359.55	3,383.98	7,984.11	7,966.86	7,462.93	7,385.40
7	3,395.56	3,368.10	7,892.85	7,998.04	7,289.81	7,237.98
8	3,283.60	3,352.85	7,877.46	7,943.11	7,369.63	7,301.74
9	3,248.41	3,310.60	7,896.03	7,719.05	7,592.19	7,559.53
10	3,120.13	3,212.16	8,034.89	7,935.38	7,349.64	7,503.38
11	3,256.81	3,259.35	8,026.41	7,999.05	7,535.21	7,503.38
12	3,265.70	3,249.68	7,782.89	7,877.01	7,446.94	7,655.54
13	3,380.90	3,323.34	7,996.16	8,048.94	7,365.88	7,422.23
14	3,318.63	3,224.89	7,956.36	8,089.38	7,585.34	7,595.96
15	3,286.25	3,371.46	8,092.36	7,952.66	7,564.18	7,458.24
16	3,418.73	3,265.45	8,109.28	8,060.35	7,505.55	7,602.61

จากตารางที่ 4.16 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าเฉลี่ยที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด โดยแบ่งกรณีของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ออกเป็น 2 กรณี แสดงให้เห็นว่า จากการการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 1 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่า Cp และ Cg เท่ากัน คือ 2 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว ส่งผลให้ได้ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดถึง 2 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 และปัญหาขนาดกลาง 1 จะเห็นได้ว่าจากการใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1 และ 10 จะให้ค่าเฉลี่ยน้อยที่สุดถึง 3 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดกลาง 1 และปัญหาขนาดกลาง 2 ซึ่งมีการกำหนดค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว

ตารางที่ 4.17 แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าต่ำสุดที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ชุดที่	ขนาดเล็ก 1		ขนาดเล็ก 2		ขนาดกลาง 1	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	1,718.13	1,720.06	1,042.75	1,042.75	3,768.44	3,706.25
2	1,681.81	1,705.81	1,051.44	1,045.13	3,976.75	3,827.75
3	1,588.06	1,600.19	1,081.50	1,081.50	3,727.56	3,769.63
4	1,671.13	1,725.00	1,083.44	1,118.69	3,706.25	3,919.75
5	1,753.56	1,718.19	1,095.19	1,095.19	3,718.31	4,047.00
6	1,716.06	1,720.44	1,106.19	1,110.44	3,992.13	3,942.25
7	1,620.94	1,682.56	1,150.88	1,109.94	3,900.13	3,880.56
8	1,757.88	1,759.69	1,119.00	1,119.00	4,063.63	3,823.31
9	1,642.50	1,707.31	1,094.94	1,112.25	4,057.69	3,759.56
10	1,683.81	1,721.81	1,090.06	1,090.06	3,794.88	3,880.94
11	1,641.94	1,695.13	1,078.81	1,117.63	3,943.56	3,938.56
12	1,624.25	1,665.19	1,057.19	1,121.06	3,842.75	3,811.63
13	1,688.00	1,697.56	1,133.94	1,079.00	3,895.50	3,958.88
14	1745.75	1,669.25	1,142.38	1,167.75	3,793.88	3,988.69
15	1,644.56	1,687.31	1,166.81	1,061.06	3,683.88	3,854.19
16	1,789.81	1,740.56	1,091.81	1,072.19	3,795.19	3,963.25

ตารางที่ 4.17 (ต่อ) แสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าต่ำสุดที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์

พารามิเตอร์ชุดที่	ขนาดกลาง 2		ขนาดใหญ่ 1		ขนาดใหญ่ 2	
	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2	กรณีที่ 1	กรณีที่ 2
1	3,011.69	3,011.69	7,499.06	7,823.18	7,237.69	7,237.69
2	3,028.13	3,015.38	7,761.06	7,731.38	7,171.13	7,171.13
3	3,133.75	3,139.50	7,846.00	7,824.19	7,003.63	7,003.63
4	3,015.38	3,097.13	7,468.25	7,877.19	7,079.38	7,079.38
5	3,142.13	3,098.31	7,671.88	7,499.94	7,201.25	7,201.25
6	3,269.06	3,269.06	7,646.06	7,797.50	7,211.38	7,211.38
7	3,214.56	3,214.56	7,761.63	7,882.19	6,936.06	6,936.06
8	3,090.25	3,268.63	7,648.69	7,575.69	7,108.44	7,108.44
9	3,052.25	3,052.25	7,807.13	7,566.25	7,352.94	7,251.31
10	2,985.69	2,985.69	7,864.25	7,740.88	6,630.44	7,289.75
11	3,083.13	3,099.56	7,670.94	7,919.63	7,328.13	7,167.06
12	3,064.63	3,064.63	7,587.69	7,615.50	7,254.25	7,421.00
13	3,152.06	3,147.69	7,825.69	7,734.69	7,190.00	6,993.13
14	3,060.63	3,060.63	7,746.31	7,874.69	7,307.44	7,307.44
15	3,222.25	3,246.38	7,733.56	7,766.19	7,362.69	7,405.50
16	3,274.13	3,020.50	7,808.94	7,590.81	7,300.56	7,300.56

จากตารางที่ 4.17 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบผลลัพธ์ของค่าต่ำสุดที่ได้จากการตั้งค่าพารามิเตอร์แต่ละชุด โดยแบ่งกรณีของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ออกเป็น 2 กรณี แสดงให้เห็นว่า จากการการใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 10 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่า Cp และ Cg เท่ากัน คือ 2 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว ส่งผลให้ได้ค่าต่ำสุดถึง 2 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดกลาง 2 และปัญหาขนาดใหญ่ 1 จะเห็นได้ว่าจากการใช้พารามิเตอร์ชุดที่ 1, 3 และ 10 จะให้ค่าต่ำสุดถึง 3 โจทย์ปัญหา คือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 ปัญหาขนาดเล็ก 1 ปัญหาขนาดกลาง 2 และปัญหาขนาดใหญ่ 2 ซึ่งมีการกำหนดให้ค่า Cp และ Cg เท่ากัน ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว

4.7 วิเคราะห์ความสัมพันธ์

การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของการทดลองนี้ จะเป็นการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างจำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว โดยใช้วิธีการออกแบบการทดลอง แบบแฟกทอเรียลแบบสมบรูณ์ (Full Factorial Design : FFD) การประมวณผลโดยวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA) ในรูปแบบเชิงทั่วไป (General Linear Model) โปรแกรม Minitab 16 เพื่ออธิบายถึงผลกระทบจากปัจจัยหลัก (Main Effect) และผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัย (Interaction Factors) ค่า P-value สามารถบอกได้ว่าปัจจัยใดมีผลกระทบต่อการทดลอง เมื่อค่า P-value มีค่าน้อยกว่า 0.05 แสดงให้เห็นว่าปัจจัยนั้นมีผลต่อการทดลองที่นัยสำคัญทางสถิติ (Significance) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

ในผลการวิเคราะห์ ได้กำหนดตัวแปรโดย

Particle	คือ จำนวนพาร์ทิเคิล
Iteration	คือ จำนวนรอบการเคลื่อนที่
Omega	คือ ค่าความถ่วงจำเพาะ
Cp	คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว
Cg	คือ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล
ความเร็ว	คือ การจำกัด และไม่จำกัดช่วงของความเร็ว
R-Sq	คือ R Square (ค่าสัมประสิทธิ์การตัดสินใจ)

4.7.1 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Iteration	fixed	2	10*200, 20*100
Omega	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด Velocity, ไม่จำกัด Velocity

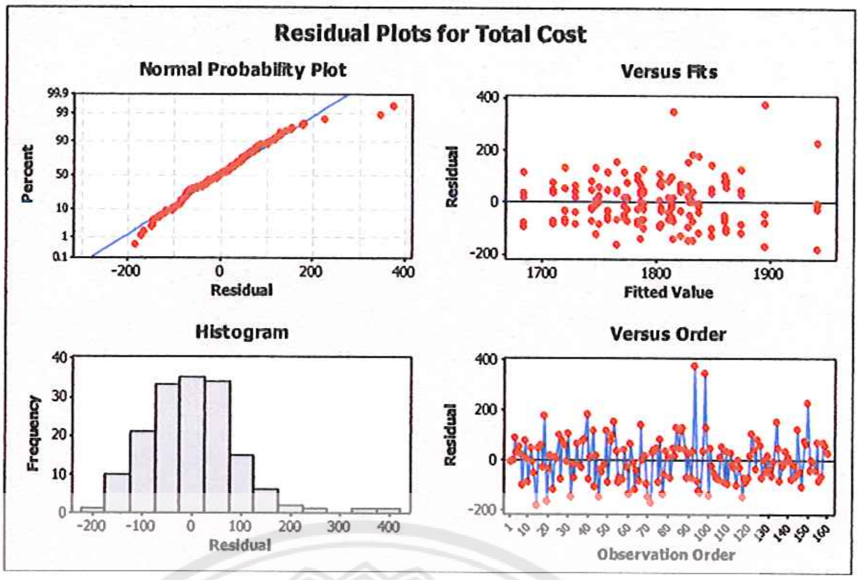
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Iteration	1	28194	28194	28194	2.85	0.094
Omega	1	94293	94293	94293	9.52	0.002
Cp	1	18454	18454	18454	1.86	0.175
Cg	1	51263	51263	51263	5.17	0.025
Velocity	1	59514	59514	59514	6.01	0.016
Particle*Iteration*Omega	1	187	187	187	0.02	0.891
Particle*Iteration*Cp	1	296	296	296	0.03	0.863
Particle*Iteration*Cg	1	45089	45089	45089	4.55	0.035
Particle*Iteration*Velocity	1	358	358	358	0.04	0.850
Omega*Cp	1	6656	6656	6656	0.67	0.414
Omega*Cg	1	1012	1012	1012	0.10	0.750
Omega*Velocity	1	11	11	11	0.00	0.973
Cp*Cg	1	19768	19768	19768	2.00	0.160
Cp*Velocity	1	11502	11502	11502	1.16	0.283
Cg*Velocity	1	3786	3786	3786	0.38	0.538
Particle*Iteration*Omega*Cp	1	236	236	236	0.02	0.878
Particle*Iteration*Omega*Cg	1	515	515	515	0.05	0.820
Particle*Iteration*Cp*Cg	1	16922	16922	16922	1.71	0.194
Particle*Iteration*Omega*Velocity	1	10606	10606	10606	1.07	0.303
Particle*Iteration*Cp*Velocity	1	44424	44424	44424	4.48	0.036
Particle*Iteration*Cg*Velocity	1	6335	6335	6335	0.64	0.425
Omega*Cp*Cg	1	34768	34768	34768	3.51	0.063
Omega*Cp*Velocity	1	16632	16632	16632	1.68	0.197
Omega*Cg*Velocity	1	543	543	543	0.05	0.815
Cp*Cg*Velocity	1	7	7	7	0.00	0.979
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg	1	9784	9784	9784	0.99	0.322
Particle*Iteration*Omega*Cp*Velocity	1	2453	2453	2453	0.25	0.620
Particle*Iteration*Omega*Cg*Velocity	1	106	106	106	0.01	0.918
Particle*Iteration*Cp*Cg*Velocity	1	1487	1487	1487	0.15	0.699
Omega*Cp*Cg*Velocity	1	0	0	0	0.00	0.997
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg* Velocity	1	11	11	11	0.00	0.974
Error	128	1268306	1268306	9909		
Total	159	1753518				

S = 99.5421   R-Sq = 27.67%   R-Sq(adj) = 10.15%

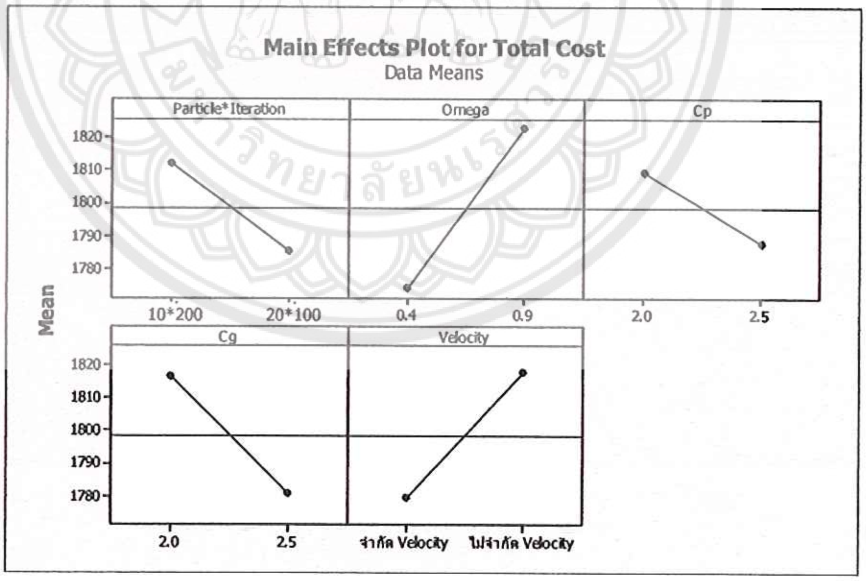
รูปที่ 4.23 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.23 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 27.67 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 27.67



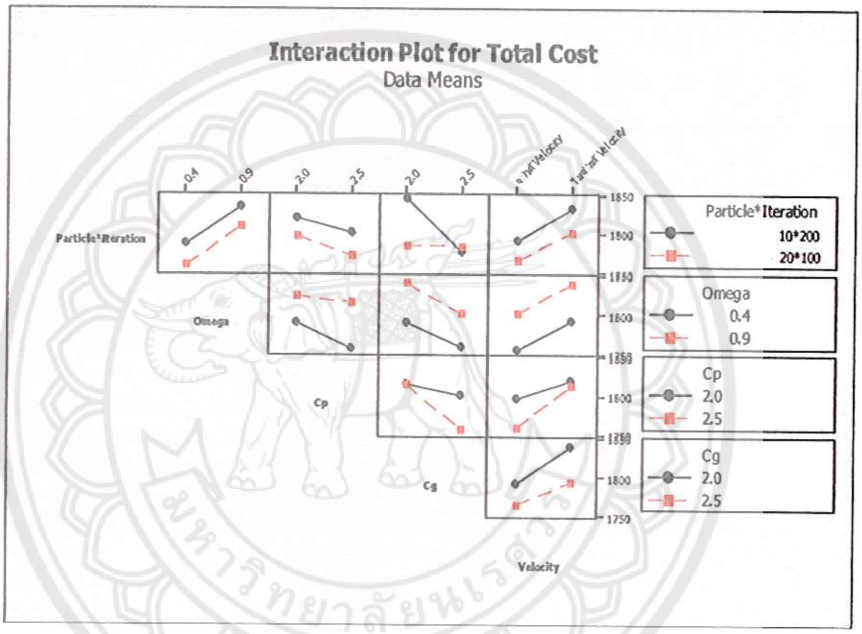
รูปที่ 4.24 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.24 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูปประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.25 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.23 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงของทุกๆ ปัจจัยหลัก จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก แต่การเปลี่ยนแปลงของปัจจัยหลักที่ส่งผลต่อค่าคำตอบมากที่สุด คือ การเปลี่ยนแปลงของค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว จากรูปที่ 4.25 ควรกำหนด ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.26 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 1

จากรูปที่ 4.23 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า จำนวนพาร์ทิเคิลจำนวนรอบ (Particle×Iteration) และค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.26 ควรกำหนดให้จำนวนพาร์ทิเคิล 20 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 1 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 200 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) เท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์ชุดที่ 3 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,682.56

4.7.2 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Iteration	fixed	2	10*200, 20*100
Omega	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด Velocity, ไม่จำกัด Velocity

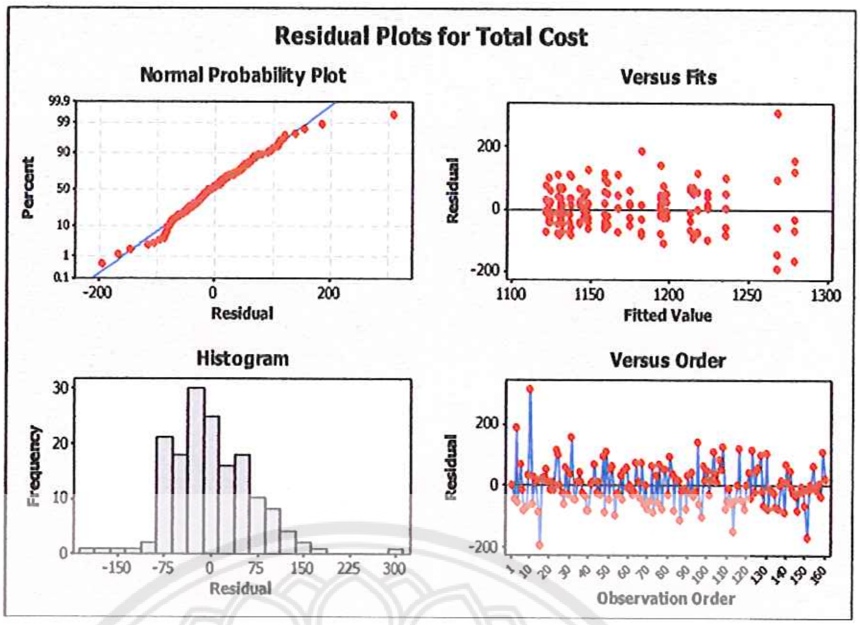
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Iteration	1	563	563	563	0.10	0.754
Omega	1	91211	91211	91211	15.93	0.000
Cp	1	4212	4212	4212	0.74	0.393
Cg	1	1358	1358	1358	0.24	0.627
Velocity	1	12568	12568	12568	2.19	0.141
Particle*Iteration*Omega	1	5991	5991	5991	1.05	0.308
Particle*Iteration*Cp	1	12418	12418	12418	2.17	0.143
Particle*Iteration*Cg	1	24294	24294	24294	4.24	0.041
Particle*Iteration*Velocity	1	2047	2047	2047	0.36	0.551
Omega*Cp	1	567	567	567	0.10	0.753
Omega*Cg	1	120	120	120	0.02	0.885
Omega*Velocity	1	11738	11738	11738	2.05	0.155
Cp*Cg	1	1	1	1	0.00	0.989
Cp*Velocity	1	4493	4493	4493	0.78	0.377
Cg*Velocity	1	463	463	463	0.08	0.776
Particle*Iteration*Omega*Cp	1	294	294	294	0.05	0.821
Particle*Iteration*Omega*Cg	1	5922	5922	5922	1.03	0.311
Particle*Iteration*Cp*Cg	1	154	154	154	0.03	0.870
Particle*Iteration*Omega*Velocity	1	1629	1629	1629	0.28	0.595
Particle*Iteration*Cp*Velocity	1	8044	8044	8044	1.40	0.238
Particle*Iteration*Cg*Velocity	1	4602	4602	4602	0.80	0.372
Omega*Cp*Cg	1	622	622	622	0.11	0.742
Omega*Cp*Velocity	1	274	274	274	0.05	0.827
Omega*Cg*Velocity	1	1779	1779	1779	0.31	0.578
Cp*Cg*Velocity	1	47479	47479	47479	8.29	0.005
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg	1	3942	3942	3942	0.69	0.408
Particle*Iteration*Omega*Cp*Velocity	1	132	132	132	0.02	0.880
Particle*Iteration*Omega*Cg*Velocity	1	16635	16635	16635	2.91	0.091
Particle*Iteration*Cp*Cg*Velocity	1	506	506	506	0.09	0.767
Omega*Cp*Cg*Velocity	1	22463	22463	22463	3.92	0.050
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg*Velocity	1	639	639	639	0.11	0.739
Error	128	732915	732915	5726		
Total	159	1020076				

S = 75.6696   R-Sq = 28.15%   R-Sq(adj) = 10.75%

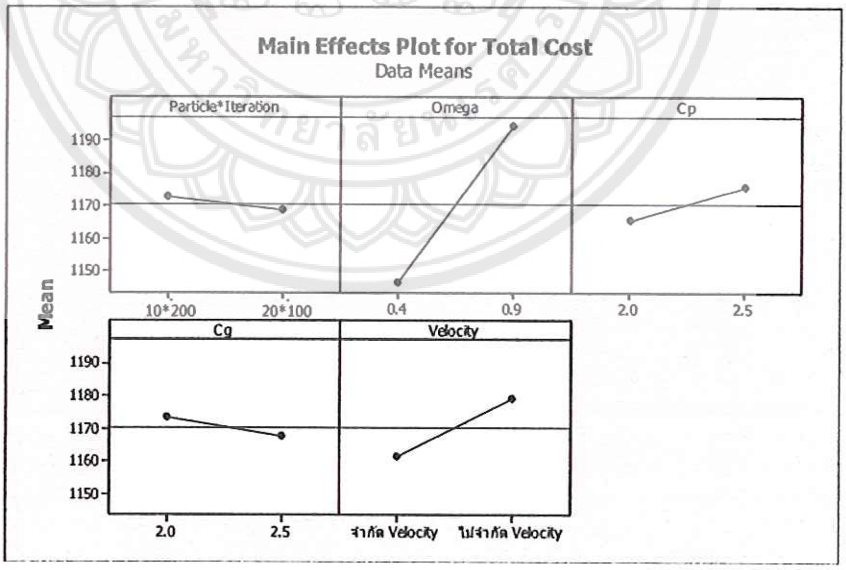
รูปที่ 4.27 ANOVA ปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.27 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 28.15 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 28.15



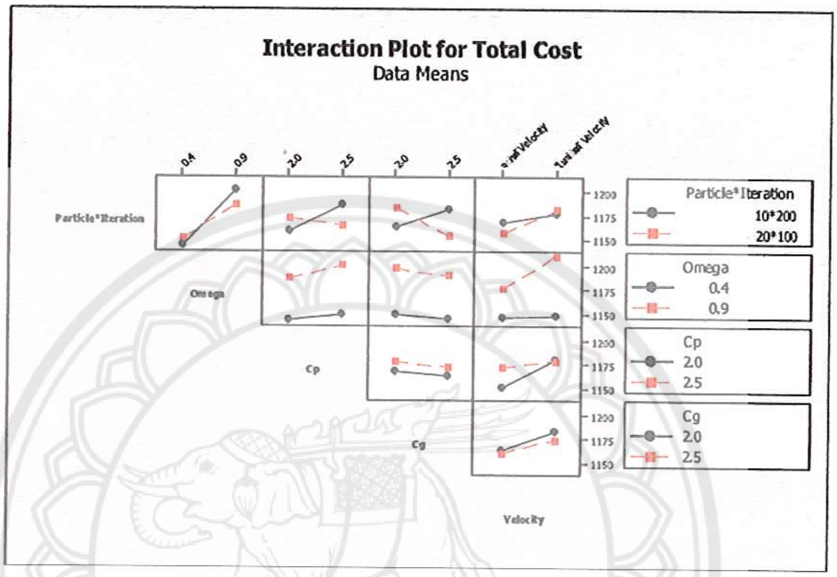
รูปที่ 4.28 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.28 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.29 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.27 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก จากรูปที่ 4.29 ควรกำหนด ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.30 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดเล็ก 2

จากรูปที่ 4.27 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.30 ควรกำหนดให้ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2 ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว และพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบ (ParticlexIteration) และค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบรองลงมา จากรูปที่ 4.30 ควรกำหนดให้จำนวนพาร์ทิเคิล 10 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดเล็ก 2 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 200 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) เท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์ชุดที่ 1 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 1,120.78

4.7.3 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Iteration	fixed	2	10*200, 20*100
Omega	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด Velocity, ไม่จำกัด Velocity

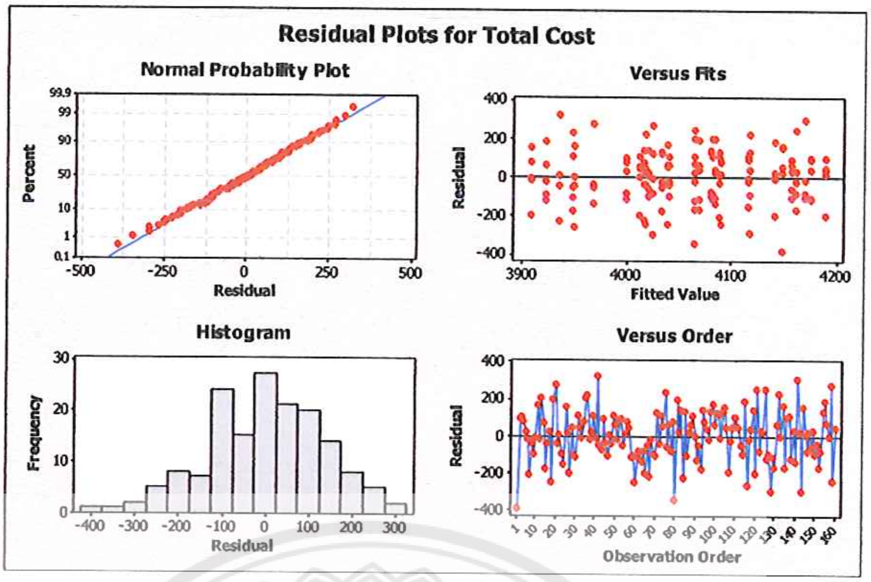
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Iteration	1	7389	7389	7389	0.33	0.568
Omega	1	80542	80542	80542	3.58	0.061
Cp	1	108847	108847	108847	4.83	0.030
Cg	1	144	144	144	0.01	0.936
Velocity	1	8315	8315	8315	0.37	0.544
Particle*Iteration*Omega	1	260616	260616	260616	11.58	0.001
Particle*Iteration*Cp	1	19189	19189	19189	0.85	0.358
Particle*Iteration*Cg	1	4238	4238	4238	0.19	0.665
Particle*Iteration*Velocity	1	62393	62393	62393	2.77	0.098
Omega*Cp	1	18656	18656	18656	0.83	0.364
Omega*Cg	1	4067	4067	4067	0.18	0.672
Omega*Velocity	1	39775	39775	39775	1.77	0.186
Cp*Cg	1	399	399	399	0.02	0.894
Cp*Velocity	1	4544	4544	4544	0.20	0.654
Cg*Velocity	1	5841	5841	5841	0.26	0.611
Particle*Iteration*Omega*Cp	1	252	252	252	0.01	0.916
Particle*Iteration*Omega*Cg	1	62590	62590	62590	2.78	0.098
Particle*Iteration*Cp*Cg	1	62660	62660	62660	2.78	0.098
Particle*Iteration*Omega*Velocity	1	535	535	535	0.02	0.878
Particle*Iteration*Cp*Velocity	1	8015	8015	8015	0.36	0.552
Particle*Iteration*Cg*Velocity	1	32073	32073	32073	1.42	0.235
Omega*Cp*Cg	1	61802	61802	61802	2.75	0.100
Omega*Cp*Velocity	1	425	425	425	0.02	0.891
Omega*Cg*Velocity	1	2654	2654	2654	0.12	0.732
Cp*Cg*Velocity	1	9543	9543	9543	0.42	0.516
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg	1	20364	20364	20364	0.90	0.343
Particle*Iteration*Omega*Cp*Velocity	1	30541	30541	30541	1.36	0.246
Particle*Iteration*Omega*Cg*Velocity	1	3291	3291	3291	0.15	0.703
Particle*Iteration*Cp*Cg*Velocity	1	4725	4725	4725	0.21	0.648
Omega*Cp*Cg*Velocity	1	6238	6238	6238	0.28	0.600
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg* Velocity	1	20969	20969	20969	0.93	0.336
Error	128	2881578	2881578	22512		
Total	159	3833210				

S = 150.041   R-Sq = 24.83%   R-Sq(adj) = 6.62%

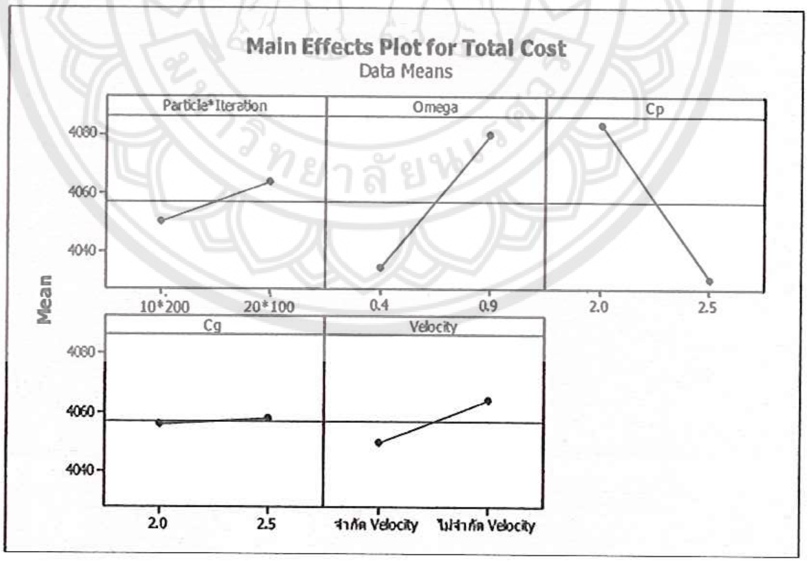
รูปที่ 4.31 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.31 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 24.83 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 24.83



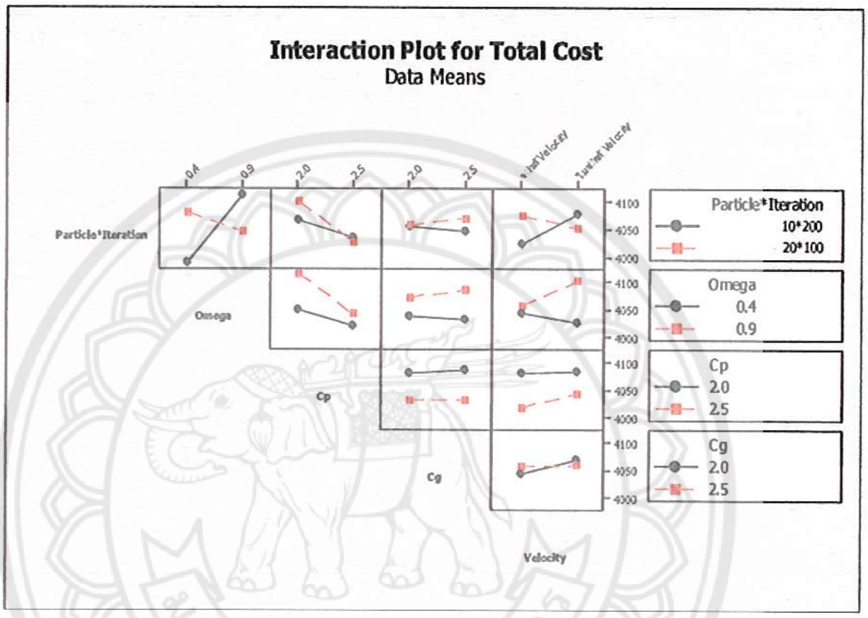
รูปที่ 4.32 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.32 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.33 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.31 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก จากรูปที่ 4.33 ควรกำหนด ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2.5 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.34 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 1

จากรูปที่ 4.31 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบ (ParticlexIteration) และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.34 ควรกำหนดให้จำนวนพาร์ทิเคิล 10 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 1 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 200 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์ชุดที่ 1 กรณีที่ 2 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 3,907.88

4.7.4 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Ieration	fixed	2	10*200, 20*100
Omeag	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด Velocity, ไม่จำกัด Velocity

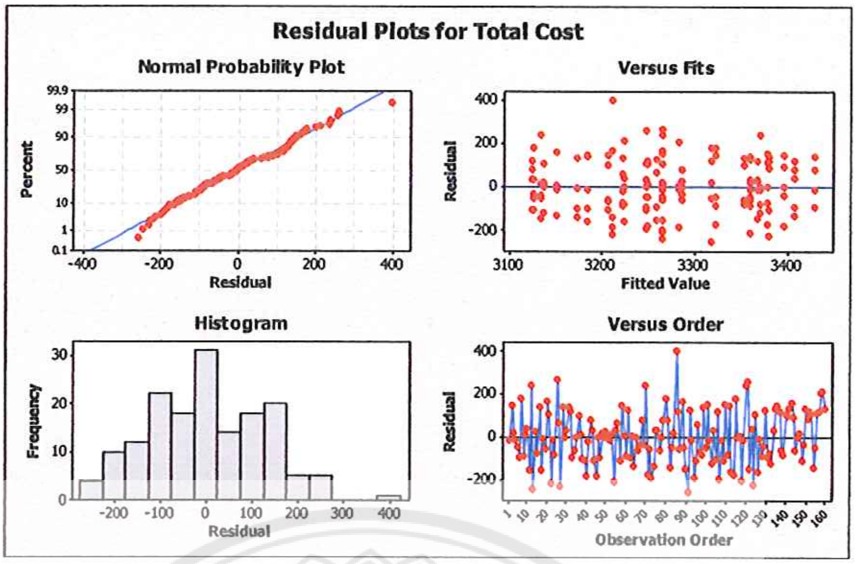
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Ieration	1	2441	2441	2441	0.13	0.718
Omeag	1	824461	824461	824461	44.24	0.000
Cp	1	21085	21085	21085	1.13	0.289
Cg	1	2543	2543	2543	0.14	0.712
Velocity	1	23979	23979	23979	1.29	0.259
Particle*Ieration*Omeag	1	83505	83505	83505	4.48	0.036
Particle*Ieration*Cp	1	294	294	294	0.02	0.900
Particle*Ieration*Cg	1	503	503	503	0.03	0.870
Particle*Ieration*Velocity	1	327	327	327	0.02	0.895
Omeag*Cp	1	20697	20697	20697	1.11	0.294
Omeag*Cg	1	165	165	165	0.01	0.925
Omeag*Velocity	1	388	388	388	0.02	0.885
Cp*Cg	1	969	969	969	0.05	0.820
Cp*Velocity	1	2682	2682	2682	0.14	0.705
Cg*Velocity	1	6878	6878	6878	0.37	0.545
Particle*Ieration*Omeag*Cp	1	22099	22099	22099	1.19	0.278
Particle*Ieration*Omeag*Cg	1	9633	9633	9633	0.52	0.473
Particle*Ieration*Cp*Cg	1	8383	8383	8383	0.45	0.504
Particle*Ieration*Omeag*Velocity	1	2	2	2	0.00	0.992
Particle*Ieration*Cp*Velocity	1	86932	86932	86932	4.66	0.033
Particle*Ieration*Cg*Velocity	1	42915	42915	42915	2.30	0.132
Omeag*Cp*Cg	1	16529	16529	16529	0.89	0.348
Omeag*Cp*Velocity	1	332	332	332	0.02	0.894
Omeag*Cg*Velocity	1	1071	1071	1071	0.06	0.811
Cp*Cg*Velocity	1	7568	7568	7568	0.41	0.525
Particle*Ieration*Omeag*Cp*Cg	1	31028	31028	31028	1.66	0.199
Particle*Ieration*Omeag*Cp*Velocity	1	200	200	200	0.01	0.918
Particle*Ieration*Omeag*Cg*Velocity	1	236	236	236	0.01	0.911
Particle*Ieration*Cp*Cg*Velocity	1	26394	26394	26394	1.42	0.236
Omeag*Cp*Cg*Velocity	1	1585	1585	1585	0.09	0.771
Particle*Ieration*Omeag*Cp*Cg* Velocity	1	26671	26671	26671	1.43	0.234
Error	128	2385657	2385657	18638		
Total	159	3658154				

S = 136.521   R-Sq = 34.79%   R-Sq(adj) = 18.99%

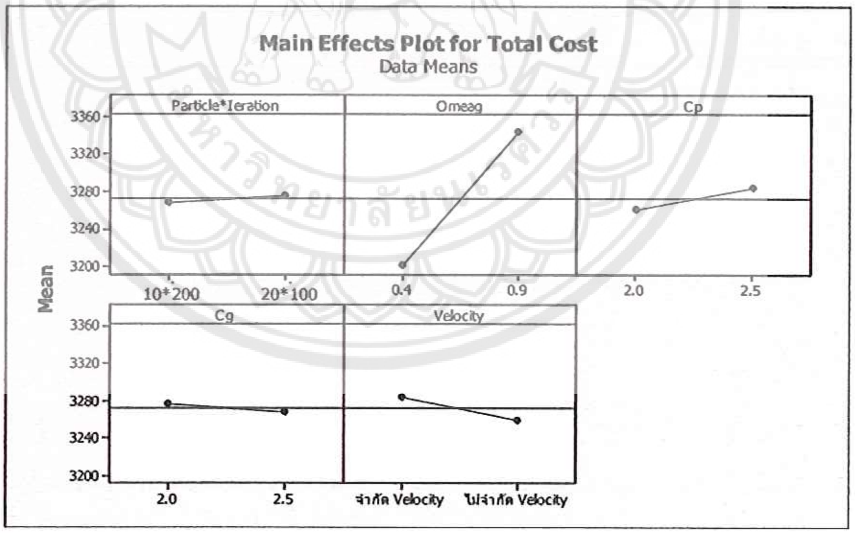
รูปที่ 4.35 ANOVA ปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.35 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 34.79 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 34.79



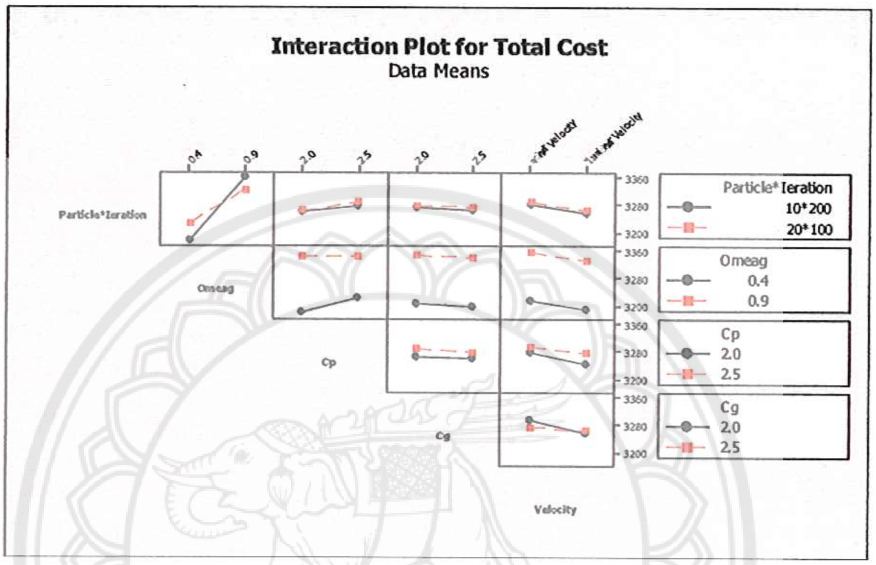
รูปที่ 4.36 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.36 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.37 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.35 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก จากรูปที่ 4.37 ควรกำหนด ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.38 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดกลาง 2

จากรูปที่ 4.35 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบ (Particle×Iteration) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าความเร็ว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.38 ควรกำหนดให้จำนวนพาร์ทิเคิล 10 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) 2 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัด จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด และพบว่า จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบ (Particle × Iteration) และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบรองลงมา จากรูปที่ 4.38 ควรกำหนดให้จำนวนพาร์ทิเคิล 10 และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดกลาง 2 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 20 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 100 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) เท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์ชุดที่ 10 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 3,120.13

4.7.5 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Iteration	fixed	2	10*200, 20*100
Omega	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด velocity, ไม่จำกัด velocity

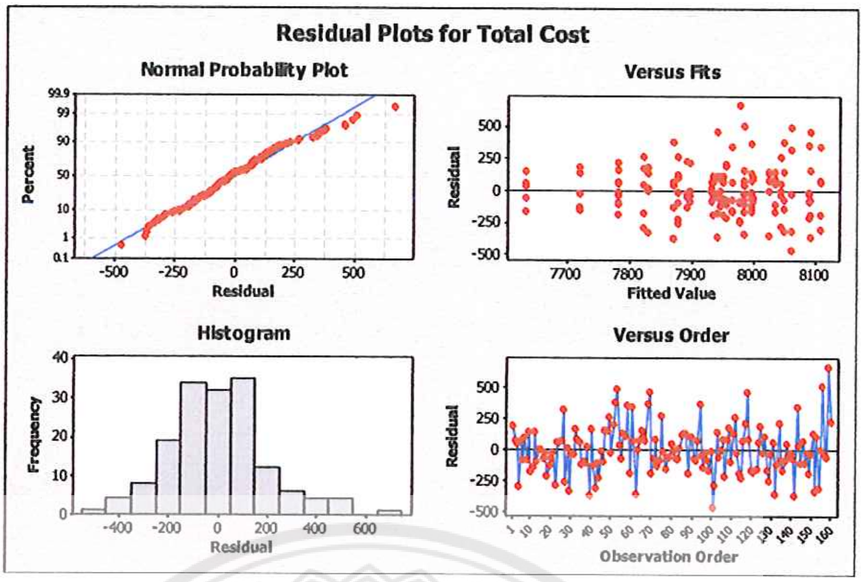
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Iteration	1	184175	184175	184175	4.09	0.045
Omega	1	215388	215388	215388	4.79	0.030
Cp	1	3667	3667	3667	0.08	0.776
Cg	1	39929	39929	39929	0.89	0.348
Velocity	1	32020	32020	32020	0.71	0.400
Particle*Iteration*Omega	1	125297	125297	125297	2.78	0.098
Particle*Iteration*Cp	1	13550	13550	13550	0.30	0.584
Particle*Iteration*Cg	1	50381	50381	50381	1.12	0.292
Particle*Iteration*Velocity	1	7768	7768	7768	0.17	0.678
Omega*Cp	1	15063	15063	15063	0.33	0.564
Omega*Cg	1	173231	173231	173231	3.85	0.052
Omega*Velocity	1	10096	10096	10096	0.22	0.637
Cp*Cg	1	15867	15867	15867	0.35	0.554
Cp*Velocity	1	398358	398358	398358	8.85	0.003
Cg*Velocity	1	41782	41782	41782	0.93	0.337
Particle*Iteration*Omega*Cp	1	10800	10800	10800	0.24	0.625
Particle*Iteration*Omega*Cg	1	22847	22847	22847	0.51	0.477
Particle*Iteration*Cp*Cg	1	86441	86441	86441	1.92	0.168
Particle*Iteration*Omega*Velocity	1	45	45	45	0.00	0.975
Particle*Iteration*Cp*Velocity	1	25394	25394	25394	0.56	0.454
Particle*Iteration*Cg*Velocity	1	26008	26008	26008	0.58	0.448
Omega*Cp*Cg	1	3882	3882	3882	0.09	0.769
Omega*Cp*Velocity	1	191472	191472	191472	4.26	0.041
Omega*Cg*Velocity	1	20912	20912	20912	0.46	0.497
Cp*Cg*Velocity	1	39952	39952	39952	0.89	0.348
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg	1	10253	10253	10253	0.23	0.634
Particle*Iteration*Omega*Cp*Velocity	1	53005	53005	53005	1.18	0.280
Particle*Iteration*Omega*Cg*Velocity	1	13956	13956	13956	0.31	0.579
Particle*Iteration*Cp*Cg*Velocity	1	8575	8575	8575	0.19	0.663
Omega*Cp*Cg*Velocity	1	31921	31921	31921	0.71	0.401
Particle*Iteration*Omega*Cp*Cg* Velocity	1	24516	24516	24516	0.54	0.462
Error	128	5758881	5758881	44991		
Total	159	7655430				

S = 212.111   R-Sq = 24.77%   R-Sq(adj) = 6.56%

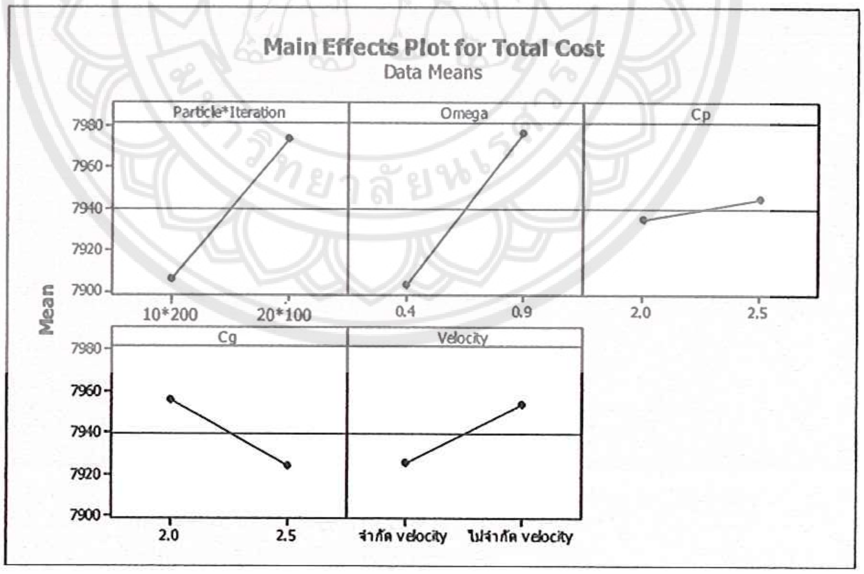
รูปที่ 4.39 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.39 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 24.77 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 24.77



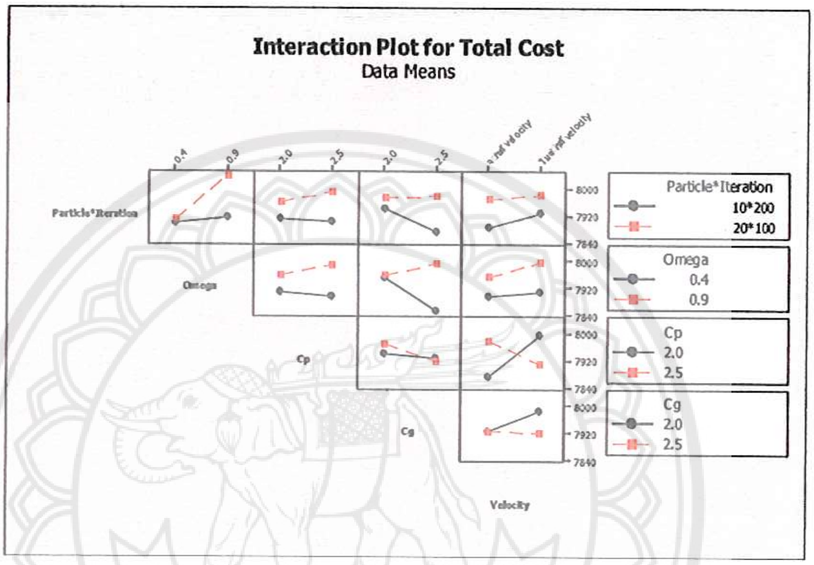
รูปที่ 4.40 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.40 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.41 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.39 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลง จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก จากรูปที่ 4.41 ควรกำหนดจำนวนพาร์ทิเคิลที่ 10 และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.4 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.42 แสดง Interaction Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 1

จากรูปที่ 4.39 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าความเร็ว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบมากที่สุด จากรูปที่ 4.42 ควรกำหนดให้ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว และพบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าความเร็ว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบรองลงมา จากรูปที่ 4.42 ควรกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 1 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 200 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) เท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.16 พารามิเตอร์ชุดที่ 4 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 7,633.99

4.7.6 วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

Factor	Type	Levels	Values
Particle*Ieration	fixed	2	10*200, 20*100
Omega	fixed	2	0.4, 0.9
Cp	fixed	2	2.0, 2.5
Cg	fixed	2	2.0, 2.5
Velocity	fixed	2	จำกัด velocity, ไม่จำกัด velocity

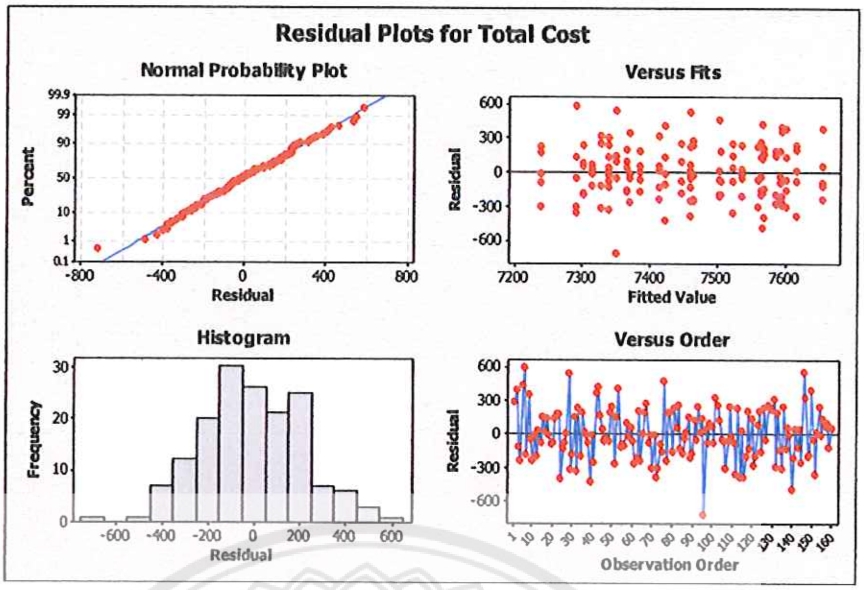
Analysis of Variance for Total Cost, using Adjusted SS for Tests

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
Particle*Ieration	1	428638	428638	428638	6.88	0.010
Omega	1	252667	252667	252667	4.06	0.046
Cp	1	40598	40598	40598	0.65	0.421
Cg	1	8357	8357	8357	0.13	0.715
Velocity	1	70322	70322	70322	1.13	0.290
Particle*Ieration*Omega	1	203754	203754	203754	3.27	0.073
Particle*Ieration*Cp	1	204074	204074	204074	3.28	0.073
Particle*Ieration*Cg	1	8520	8520	8520	0.14	0.712
Particle*Ieration*Velocity	1	7608	7608	7608	0.12	0.727
Omega*Cp	1	8049	8049	8049	0.13	0.720
Omega*Cg	1	27699	27699	27699	0.44	0.506
Omega*Velocity	1	145221	145221	145221	2.33	0.129
Cp*Cg	1	1443	1443	1443	0.02	0.879
Cp*Velocity	1	55748	55748	55748	0.89	0.346
Cg*Velocity	1	55785	55785	55785	0.90	0.346
Particle*Ieration*Omega*Cp	1	7247	7247	7247	0.12	0.734
Particle*Ieration*Omega*Cg	1	2246	2246	2246	0.04	0.850
Particle*Ieration*Cp*Cg	1	66797	66797	66797	1.07	0.302
Particle*Ieration*Omega*Velocity	1	39303	39303	39303	0.63	0.428
Particle*Ieration*Cp*Velocity	1	43085	43085	43085	0.69	0.407
Particle*Ieration*Cg*Velocity	1	141	141	141	0.00	0.962
Omega*Cp*Cg	1	27660	27660	27660	0.44	0.506
Omega*Cp*Velocity	1	270167	270167	270167	4.34	0.039
Omega*Cg*Velocity	1	86	86	86	0.00	0.970
Cp*Cg*Velocity	1	33101	33101	33101	0.53	0.467
Particle*Ieration*Omega*Cp*Cg	1	1464	1464	1464	0.02	0.878
Particle*Ieration*Omega*Cp*Velocity	1	26	26	26	0.00	0.984
Particle*Ieration*Omega*Cg*Velocity	1	31766	31766	31766	0.51	0.476
Particle*Ieration*Cp*Cg*Velocity	1	70117	70117	70117	1.13	0.291
Omega*Cp*Cg*Velocity	1	12829	12829	12829	0.21	0.651
Particle*Ieration*Omega*Cp*Cg* Velocity	1	7190	7190	7190	0.12	0.735
Error	128	7973929	7973929	62296		
Total	159	10105636				

S = 249.592   R-Sq = 21.09%   R-Sq(adj) = 1.98%

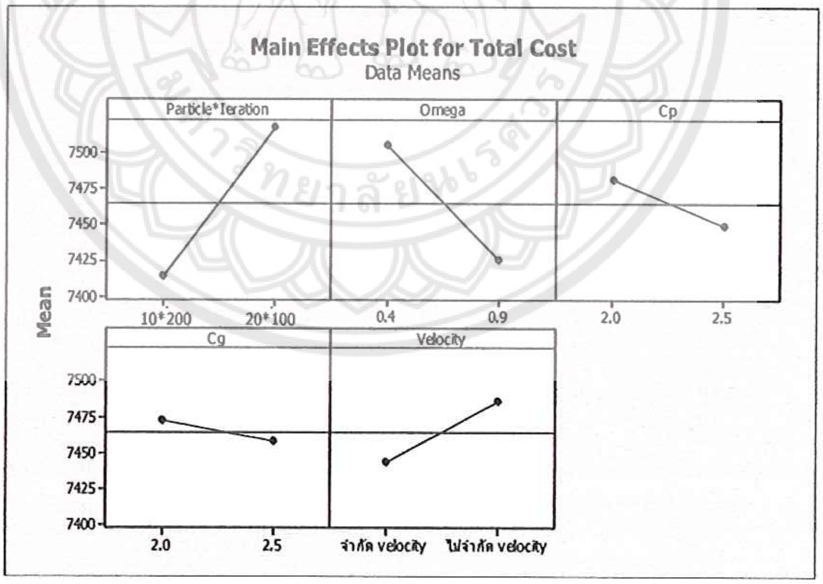
รูปที่ 4.43 ANOVA ปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.43 พบว่า ค่า R Square เท่ากับร้อยละ 21.09 ซึ่งหมายถึง ปัจจัยหลักสามารถอธิบายการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบได้เพียงร้อยละ 21.09



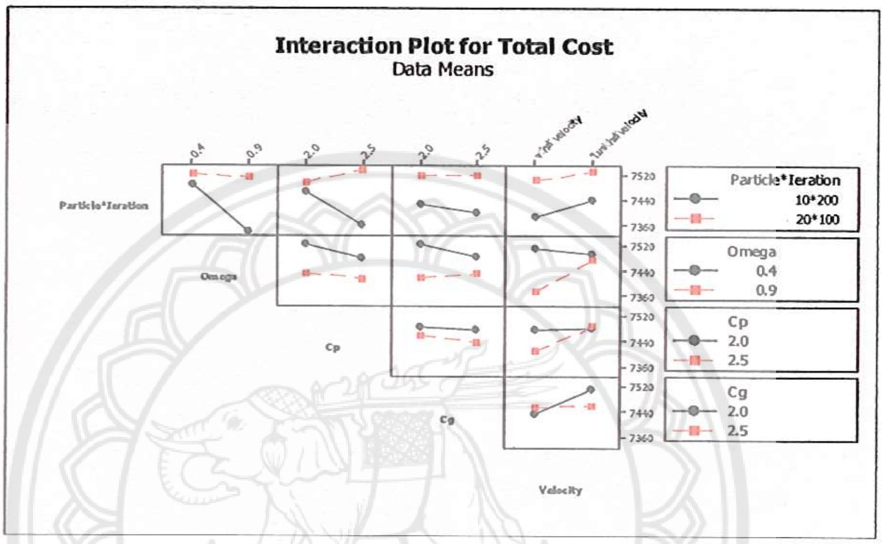
รูปที่ 4.44 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.44 จะพบว่า กราฟของ Normal Probability Plot จะมีลักษณะเป็นเส้นตรง 1 เส้น และกราฟ Histogram มีลักษณะเป็นรูประฆังคว่ำ แสดงว่าข้อมูลที่มาจากการทดลอง เป็นไปตามเงื่อนไขข้อสมมติที่สำคัญในการวิเคราะห์ความแปรปรวน (ANOVA)



รูปที่ 4.45 แสดง Main Effects Plot ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.43 จะพบว่า เมื่อพิจารณาผลกระทบจากปัจจัยหลัก คือ จำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ค่าของค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) และค่าความเร็ว พบว่า การเปลี่ยนแปลงจำนวนพาร์ทิเคิล จำนวนรอบการเคลื่อนที่ และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงของค่าคำตอบมาก จากรูปที่ 4.45 ควรกำหนดจำนวนพาร์ทิเคิลที่ 10 และค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ที่ 0.9 จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด



รูปที่ 4.46 แสดงการวิเคราะห์ ANOVA ของปัญหาขนาดใหญ่ 2

จากรูปที่ 4.43 เมื่อพิจารณาผลกระทบร่วมระหว่างปัจจัยหลัก พบว่า ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าความเร็ว จะส่งผลกระทบต่อการเปลี่ยนแปลงค่าคำตอบรองลงมา จากรูปที่ 4.46 ควรกำหนดให้ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.9 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2.5 และค่าความเร็วแบบจำกัดค่าความเร็ว จะให้ค่าคำตอบเฉลี่ยต่ำที่สุด

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาขนาดใหญ่ 2 พบว่า ควรกำหนดค่าพารามิเตอร์ที่ จำนวนพาร์ทิเคิล 10 จำนวนรอบการเคลื่อนที่ 200 ค่าความถ่วงจำเพาะ (W) 0.9 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ที่ 2.5 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว ซึ่งจะสอดคล้องกับตารางที่ 4.15 พารามิเตอร์ชุดที่ 7 กรณีที่ 2 จะให้ค่าเฉลี่ยต่ำที่สุด คือ 7,237.98

จากผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปัญหาทั้ง 6 ปัญหา พบว่า ค่า R Square มีค่าต่ำกว่าร้อยละ 75 ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ยอมรับผลการวิเคราะห์ได้ แต่อย่างไรก็ตาม อาจจะสามารถเพิ่มค่า R Square ได้หลายวิธี เช่น การเพิ่มจำนวนคำตอบใหม่ การเพิ่มความแตกต่างของค่าปัจจัยหลัก ยกตัวอย่าง เช่น ผู้ดำเนินโครงการได้กำหนด ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และ

ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ให้มีค่าเท่ากันที่ 2 และ 2.5 จะทำการเพิ่มค่าความแตกต่างเป็น 2, 2.5 และ 3 การหาปัจจัยอื่นมาพิจารณา และการเพิ่มจำนวนปัญหา เป็นต้น ทั้งนี้เมื่อทำการแก้ไขตามวิธีการดังกล่าว จะส่งผลให้เห็นผลชัดเจนมากขึ้น กล่าวคือ ถ้าหากค่า R Square ไม่เพิ่มขึ้น แสดงว่าปัจจัยหลักที่เลือกมาไม่ส่งผลต่อคำตอบอย่างเด่นชัด ควรหาปัจจัยหลักอื่นๆ มาพิจารณา และถ้าหากค่า R Square เพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 75 แสดงว่าปัจจัยหลักที่เลือกมาส่งผลกระทบต่อคำตอบ

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต โดยวิธีกลุ่มอนุภาคจากโจทย์ที่ใช้ในการทดสอบทั้ง 6 โจทย์ปัญหา แล้วพบว่า หากวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์จากโปรแกรม Minitab 16 ในตาราง ANOVA แล้วจะสามารถวิเคราะห์ได้ว่าค่า Omega โดยส่วนมากจะมีผลกระทบต่อการตั้งค่าพารามิเตอร์ทำให้ค่าคำตอบมีค่าที่ดีขึ้น ส่วนผลกระทบรองลงมา คือ Particle x Iteration และผลกระทบร่วมระหว่าง Particle x Iteration กับ Omega ส่วนค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) พบว่า ไม่ค่อยมีผลต่อคุณภาพคำตอบมากนักอาจจะเขียนมาจากวิธีการเปลี่ยนตำแหน่งทศนิยมให้ตำแหน่งจำนวนเต็ม

4.8 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น

4.8.1 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่นที่ออกมาในรูปแบบตารางการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ และค่าต่ำสุดของผลลัพธ์

ตารางที่ 4.18 แสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น

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

จากตารางที่ 4.18 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตในแต่ละวิธีแล้ว พบว่า วิธีเชิงพันธุกรรมมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าเฉลี่ยของ

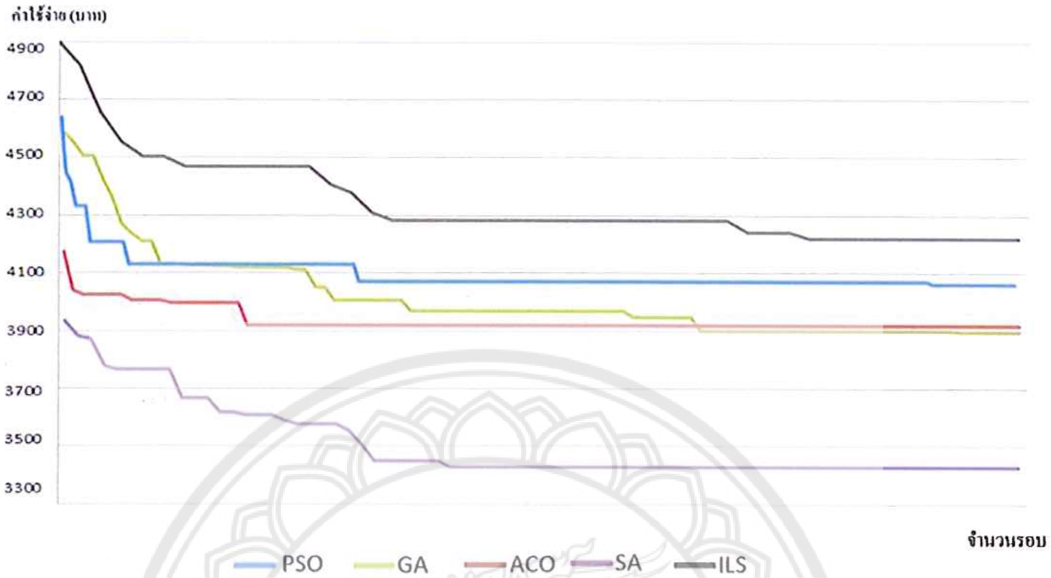
ค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก และวิธีอาณาจักรมดมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในปัญหาขนาดกลาง และขนาดใหญ่ภายใต้โจทย์ปัญหาเดียวกัน

ตารางที่ 4.19 แสดงการเปรียบเทียบค่าต่ำสุดของผลลัพธ์ที่ได้กับงานวิจัยอื่น

ลักษณะของปัญหา	ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวม				
	PSO	ACO	GA	SA	ILS
เล็ก 1	1,588.06	1,132.50	1,598.38	1,634.06	1,649.94
เล็ก 2	1,042.75	1,047.00	1,027.00	1,017.13	1,059.25
กลาง 1	3,683.88	3,055.50	3,502.31	3,176.00	3,308.56
กลาง 2	2,985.69	2,546.63	2,804.56	2,826.25	2,733.13
ใหญ่ 1	7,468.25	5,871.81	6,697.56	6,081.50	6,669.26
ใหญ่ 2	6,630.44	5,251.63	6,650.88	5,831.13	6,418.56

จากตารางที่ 4.19 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวม เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตในแต่ละวิธีแล้ว พบว่า วิธีเชิงพันธุกรรมมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก และวิธีอาณาจักรมดมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าต่ำสุดของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในปัญหาขนาดกลาง และขนาดใหญ่ภายใต้โจทย์ปัญหาเดียวกัน

4.8.2 การแสดงผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่นที่ออกมาในรูปแบบของกราฟแสดงผลลัพธ์การลู่เข้าของโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ 1



รูปที่ 4.47 กราฟแสดงการเปรียบเทียบ Convergence

จากรูปที่ 4.47 กราฟแสดง Convergence วิธี PSO จะแสดงความเร็วในการลู่เข้าหาค่าใช้จ่ายที่น้อยที่สุดของแต่ละวิธี ซึ่งเป็นค่าใช้จ่ายในการประมวลผล 2,000 คำตอบ ใน 1 Period พบว่า วิธีที่ลู่เข้าเร็วที่สุดเป็นอันดับ 1 คือ วิธีอาณานิคมมด อันดับ 2 คือ วิธีการอบอ่อนจำลอง อันดับ 3 คือ วิธีการรบกวนคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ อันดับ 4 คือ วิธีกลุ่มอนุภาค และอันดับสุดท้าย คือ วิธีการเชิงพันธุกรรม

4.8.3 การแสดงเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ และสรุปการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่น

หลังจากได้ทำการทดสอบโปรแกรมเบื้องต้นแล้ว เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานได้ทำการทดสอบโปรแกรมในปริมาณคำตอบที่เท่ากันกับโปรแกรมที่ใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีการเชิงพันธุกรรม วิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำ และวิธีอาณานิคมมด จะได้เวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ดีกว่าหรือด้อยกว่า ในปัญหาทั้งหมด

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

การตั้งค่าพารามิเตอร์ในการทดลองประสิทธิภาพประมวลผลเวลาที่ใช้ในการหาผลลัพธ์ของโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัต จะมีการกำหนดงานวิจัยอื่นๆ ใช้ค่าของพารามิเตอร์ที่ส่งผลดีต่อโจทย์ปัญหามากที่สุด

ตารางที่ 4.20 แสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัยอื่น

ลักษณะของปัญหา	เวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ (วินาที)				
	PSO	ACO	GA	SA	ILS
เล็ก 1	37.65	23.76	40.70	21.82	16.88
เล็ก 2	38.67	30.64	41.20	16.07	17.12
กลาง 1	91.65	46.65	72.35	28.75	30.65
กลาง 2	92.37	38.50	74.44	29.40	30.57
ใหญ่ 1	175.23	124.02	175.37	56.64	74.02
ใหญ่ 2	176.17	75.40	175.07	61.98	57.23

จากตารางที่ 4.20 เป็นการแสดงการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงเวลาที่ใช้ในการคำนวณผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตในแต่ละวิธีแล้ว พบว่า วิธีอบอ่อนจำลองมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด ซึ่งดีที่สุด 4 โจทย์ จาก 6 โจทย์ และวิธีการค้นหาคำตอบในพื้นที่ใกล้เคียงแบบทำซ้ำมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ โดยที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุดรองลงมาจากวิธีอบอ่อนจำลอง อาจเนื่องมาจากวิธีการของทั้ง 2 วิธีนี้ มีการประมวลค่าคำตอบที่ความรวดเร็วกว่าวิธีอื่นๆ

บทที่ 5
บทสรุป และข้อเสนอแนะ

5.1 บทสรุป

จากการดำเนินโครงงานในครั้งนี้ ทำให้เกิดโปรแกรมสำเร็จรูปที่ช่วยในการหาค่าคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการคำนวณหาค่าคำตอบที่ดีที่สุด หรือเรียกว่า Optimal Solution ในการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพนะเพื่อช่วยลดต้นทุนการขนส่ง และทำให้การขนส่งมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการคำนวณจะถูกนำไปพัฒนาในการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า โดยจะอยู่ในรูปของผลรวมของค่าใช้จ่ายที่เกิดจากการเลือกใช้ยานพาหนะค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากการเดินทาง และค่าปรับที่เกิดขึ้นเนื่องจากการละเมิดกรอบเวลา

จากผลการทดลองใช้โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมจากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้น และการทดลองตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ขึ้นมาเพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว สรุปได้ว่า

ปัญหาขนาดเล็ก เมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 1 ในกรณีที่ 1 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 10 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อนที่เท่ากับ 200 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี

ปัญหาขนาดกลาง เมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 10 ในกรณีที่ 1 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 20 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อนที่เท่ากับ 100 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี

ปัญหาขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณา ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 7 ในกรณีที่ 2 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 10 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อนที่เท่ากับ 200 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.9 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) มีค่าเท่ากับ 2.50 และ 2.00 ตามลำดับ และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี

ปัญหาขนาดเล็ก เมื่อพิจารณา ค่าใช้จ่ายต่ำสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 1 ในกรณีที่ 1 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 10 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อที่เท่ากับ 200 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี หรือใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่1 ในกรณีที่ 2 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 10 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อที่เท่ากับ 200 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) มีค่าเท่ากับ 2.00 และ 2.50 ตามลำดับ และค่าความเร็วแบบจำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดีเช่นเดียวกัน

ปัญหาขนาดกลาง เมื่อพิจารณา ค่าใช้จ่ายต่ำสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 10 ในกรณีที่ 1 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 20 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อที่เท่ากับ 100 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่มีค่าเท่ากับ 2.00 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี หรือใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 10 ในกรณีที่ 2 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 20 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อที่เท่ากับ 100 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) มีค่าเท่ากับ 2.00 และ 2.50 ตามลำดับ และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดีเช่นเดียวกัน

ปัญหาขนาดใหญ่ เมื่อพิจารณา ค่าใช้จ่ายต่ำสุด พบว่า หากใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 10 ในกรณีที่ 1 ที่มีหลักการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าของ จำนวนพาร์ทิเคิลเท่ากับ 20 ตัว จำนวนรอบการเคลื่อที่เท่ากับ 100 รอบ ค่าถ่วงจำเพาะเท่ากับ 0.4 ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 และค่าความเร็วแบบไม่จำกัดความเร็ว จะให้ค่าคำตอบที่ดี

จากการพิจารณาปัญหาทั้ง 3 ขนาดในการหาค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด พบว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ 1 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 10 กรณีที่ 1 จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง และใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 7 กรณีที่ 2 จะให้ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบที่ได้เป็นอย่างมาก

จากการพิจารณาปัญหาทั้ง 3 ขนาดในการหาค่าใช้จ่ายต่ำสุด พบว่า ชุดพารามิเตอร์ที่ 1 กรณีที่ 1 หรือ ใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่1 ในกรณีที่ 2 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ในโจทย์ปัญหาขนาดกลาง ใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 10 กรณีที่ 1 หรือใช้ค่าพารามิเตอร์ชุดที่ 10 ในกรณีที่ 2 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ในโจทย์

ปัญหาขนาดกลาง และใช้ชุดพารามิเตอร์ที่ 10 กรณีที่ 1 จะให้ค่าใช้จ่ายต่ำสุด ในโจทย์ปัญหาขนาดใหญ่ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงปัจจัยหลักส่งผลกระทบต่อค่าคำตอบที่ได้เป็นอย่างมาก

จากผลการทดลองใช้โปรแกรมการหาคำตอบของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสำหรับยานพาหนะแบบพลวัตโดยวิธีกลุ่มอนุภาค ผลที่ได้จากการทดสอบโปรแกรมจากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้น และการทดลองตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ขึ้นมาเพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว สรุปได้ว่า หากมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 จะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีกว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดได้น้อยที่สุดดีที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก และขนาดกลาง ส่วนปัญหาขนาดใหญ่นั้นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้มาจากการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) มีค่าเท่ากับ 2.50 และ 2.00 ตามลำดับภายใต้โจทย์ปัญหาเดียวกัน

จากการทดสอบโปรแกรมจากโจทย์ตัวอย่างที่ได้กำหนดขึ้น และการทดลองตั้งค่าชุดพารามิเตอร์ขึ้นมาเพื่อหาค่าคำตอบที่ดีที่สุดแล้ว สรุปได้ว่าหากมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าเท่ากับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ที่ 2.00 จะให้ค่าผลลัพธ์ที่ดีกว่าการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้ค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) ให้มีค่าต่างกับค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) ในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุดได้น้อยที่สุดดีที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ภายใต้โจทย์ปัญหาเดียวกัน

เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตในแต่ละวิธีแล้ว พบว่า วิธีเชิงพันธุกรรมมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในโจทย์ปัญหาขนาดเล็ก และวิธีอาณาจักรมดมีความสามารถในการค้นหาค่าคำตอบ ค่าเฉลี่ยของค่าใช้จ่ายรวมน้อยที่สุด ดีที่สุดในปัญหาขนาดกลางและขนาดใหญ่ภายใต้โจทย์ปัญหาเดียวกัน

5.2 ปัญหาในการดำเนินโครงงาน

5.2.1 เนื่องจากผู้ดำเนินโครงงานไม่มีความชำนาญในการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications จึงต้องศึกษาค้นคว้าด้วยตนเอง และมีการแก้ไขหลายครั้งหลังจากที่นำไปทดลองจึงทำให้ระยะแรกๆ ในการจัดทำโครงงานค่อนข้างดำเนินไปด้วยความล่าช้า

5.2.2 การเขียนโปรแกรม และการทดสอบโปรแกรมต้องใช้เวลานาน

5.2.3 หาหนังสืออ้างอิง และข้อมูลเกี่ยวกับวิธีกลุ่มอนุภาคได้ค่อนข้างยาก

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การตั้งค่าพารามิเตอร์ในวิธีกลุ่มอนุภาค อาจจะต้องมีการศึกษาในหลายๆ รูปแบบ ว่าการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์ใดมีผลอย่างไร และสามารถเลือกใช้กับปัญหาขนาดใดจึงจะมีความเหมาะสมเพื่อให้ได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด และใช้เวลาน้อยที่สุด

5.3.2 โปรแกรมนี้จะสามารถนำไปใช้ได้กับกรณีที่ต้องการจัดลำดับการขนส่งสินค้าให้ลูกค้าได้รับของตามจำนวนที่ลูกค้าต้องการ และลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าลง

5.3.3 เมื่อทำการวิเคราะห์ถึงผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลโปรแกรมการแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบพลวัตในวิธีกลุ่มอนุภาคแล้ว พบว่า สาเหตุที่คุณภาพของค่าคำตอบที่ได้ออกมามีค่าไม่ดีเท่าที่ควรอาจจะเป็นผลเนื่องมาจากวิธีการแทนค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มที่ทำให้ตำแหน่งของอนุภาคที่ได้จากการเคลื่อนเข้าหาค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดส่วนตัว (Cp) และค่าคงที่อัตราเร่งของตำแหน่งที่ดีที่สุดสากล (Cg) เปลี่ยนรูปไปจากเดิมมากเลยทำให้ค่าคำตอบเปลี่ยนไป จึงควรมีการปรับค่าทศนิยมให้เป็นจำนวนเต็มด้วยวิธีการอื่นเพื่อทำให้ค่าคำตอบที่ได้มีค่าดียิ่งขึ้น

5.3.4 ถ้ามีการเพิ่มระดับปัจจัยของการตั้งค่าพารามิเตอร์ที่มากกว่า 2 ระดับปัจจัยอาจจะทำให้เห็นแนวโน้มหรือแนวทางในการแก้ปัญหาได้มากขึ้น อาจสามารถวิเคราะห์ผลลัพธ์ที่ได้มีความละเอียดมากยิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

ชัยวิวัฒน์ และคณะ. (2553). **โปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าของปัญหาการขนส่งแบบมีกรอบของเวลาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรม**. สืบค้นเมื่อวันที่ 13 กันยายน 2557, จาก http://www.paper-engineer.kmitl.ac.th/upload_abstract/upload_abstract/1105092557-04-10_846-847.pdf.

ธนา สาตรา และคณะ. (2555). **การประยุกต์ใช้วิธีอาณานิคมมดกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านกรอบเวลาและพิจารณาระดับการบริการ.** สืบค้นเมื่อวันที่ 7 กันยายน 2557, จาก http://journal.pnu.ac.th/ojs/index.php/pnujr/article/download/265229. ภาควิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

พิศุทธิ์ พงศ์ชัยฤกษ์. (2557). **การพัฒนาวิธีการหาค่าที่ดีที่สุดแบบพาร์ทิเคิลสวอมออฟทิไมเซชั่นด้วยการเลียนแบบโครงสร้างการเรียนรู้ทางสังคมแบบหลากหลาย**. สืบค้นเมื่อวันที่ 14 ตุลาคม 2557, จาก http://www.kmutt.ac.th/jif/public_html/general_search.php.

ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. (2554). **วิธีการเมตาฮิวริสติก Metaheuristic เพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดโลจิสติกส์** : ห้องสมุดคณะวิศวกรรมศาสตร์.

ยุทธพงษ์ พรมสีนอง. (2558). **การประชุมวิชาการด้านการวิจัยดำเนินงานแห่งชาติ**. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตที่มีกรอบเวลาด้วยเมตาฮิวริสติก

สุภกิจ นุตยะสกุล. (2554). **การคำนวณเชิงวิวัฒนาการระหว่าง เจเนติกอัลกอริทึม กับพาร์ทิเคิลสวอม ออฟทิไมเซชั่น.** สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2557, จาก http://ist-journal.mut.ac.th /JIST_V2N2/Page13-22.pdf.

อรประไพ จำรุพัฒน์ และคณะ. (2556). **วรสารวิศวกรรมศาสตร์ ฮิวริสติกสำหรับการจัดเส้นทางเดินรถแบบเปิดเพื่อลดต้นทุนการขนส่ง**. สืบค้นเมื่อวันที่ 1 กันยายน 2557, จาก http://www.ej.eng.chula.ac.th/thai/index.php/ej/article/download/231/110.

Maurice Clerc. (2554). **PSO invented by Russ Eberhart (engineering Prof) and James Kennedy (social scientist) in USA**. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2557, จาก http://www.byteboss.com/view.aspx?id=790387&name=Bic+Pso.

Kennedy & Eberhart, R.C. (1995). **Particle Swarm Optimization**. In IEEE International Conference on Neural Network. pp. 1942-1948. New Jersey: n.p.

Rezaee & J.Jasni. (2012). **Parameter selection in particle swarm optimization : a survey**. สืบค้นเมื่อวันที่ 16 ตุลาคม 2557,จาก http://www.tandfonline.com/loi/teta20.

ภาคผนวก ก

โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

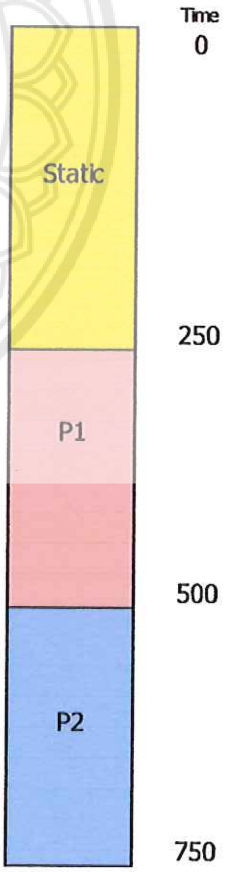
ก. โจทย์ปัญหาที่ใช้ในการทดสอบ

โครงงานเล่มนี้ได้นำโจทย์มาจากโครงงานของ ยุทธพงษ์ พรมสีนอง, 2558 ซึ่งมีปัญหาทั้งหมด 6 ปัญหาประกอบด้วย ปัญหา 3 ขนาด ขนาดละ 2 โจทย์นั้นคือ ปัญหาขนาดเล็ก 2 โจทย์ โดยในโจทย์ทุกข้อจะกำหนดจำนวนครั้งในการทำซ้ำของพารามิเตอร์แต่ละชุดมีค่าเท่ากัน ซึ่งได้กำหนดการทำซ้ำของพารามิเตอร์แต่ละชุดไว้ทั้งหมด 5 ครั้ง ต่อโจทย์ปัญหา 1 ข้อ

ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ข้อที่ 1

	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Small 1	9	8	8	383	1	1	1	540	71

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

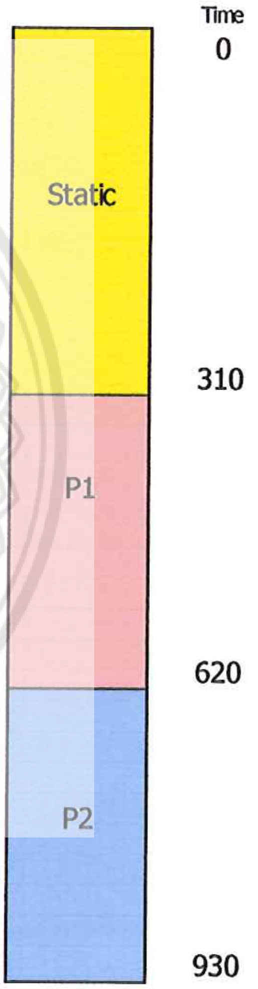


รูปที่ ก.1 ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ข้อที่ 1

ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ข้อที่ 2

	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Small 1	9	8	8	460	1	1	1	540	85

CUST NO.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
0	0	0	1236	0
1	10	112	267	10
2	30	275	470	30
3	10	65	146	10
4	10	527	822	10
5	10	15	117	10
6	20	611	702	20
7	20	170	285	20
8	20	255	394	20
9	10	134	505	10
10	10	157	410	10
11	10	248	515	10
12	20	452	640	20
13	30	230	432	30
14	10	547	620	10
15	40	354	459	40
16	40	455	538	40
17	20	377	752	20
18	20	479	659	20
19	10	478	685	10
20	10	410	723	10
21	20	874	965	20
22	20	782	883	20
23	10	702	797	10
24	10	645	745	10
25	40	759	856	40

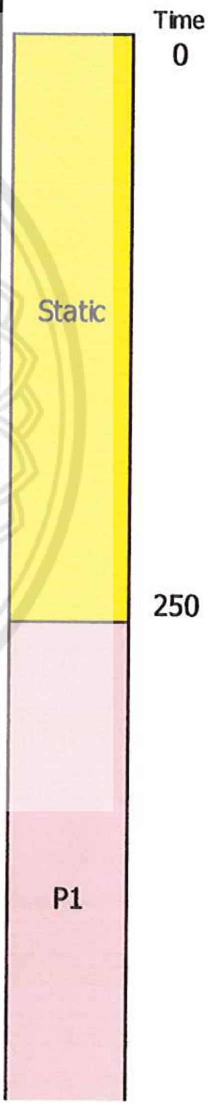


รูปที่ ก.2 ปัญหาขนาดเล็กโจทย์ข้อที่ 2

ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 1

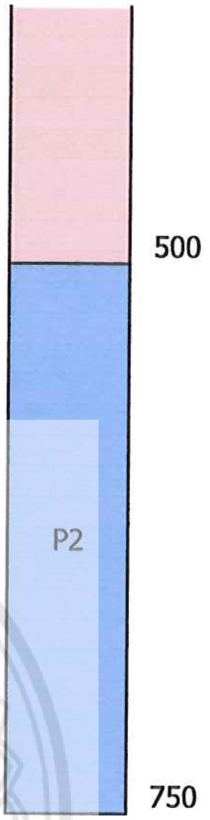
	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Medium 1	15	20	15	721	3	2	2	1,170	62

CUST NO.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
0	0	0	1000	0
1	10	58	180	10
2	7	29	189	10
3	13	180	481	10
4	19	92	231	10
5	26	101	293	10
6	3	162	289	10
7	5	217	333	10
8	9	228	345	10
9	16	120	250	10
10	16	260	437	10
11	12	114	255	10
12	19	174	299	10
13	23	450	655	10
14	20	420	547	10
15	8	320	477	10
16	19	110	313	10
17	2	206	325	10
18	12	175	350	10
19	17	183	306	10
20	9	290	577	10
21	11	292	673	10
22	18	294	501	10
23	29	302	455	10
24	3	175	300	10
25	6	183	306	10
26	17	190	313	10
27	16	206	325	10
28	16	309	485	10



รูปที่ ก.3 ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 1

29	9	324	571	10
30	21	247	383	10
31	27	248	355	10
32	23	433	650	10
33	11	226	345	10
34	14	265	454	10
35	8	240	367	10
36	5	302	605	10
37	8	308	599	10
38	16	431	710	10
39	31	290	597	10
40	9	292	673	10
41	5	394	601	10
42	5	504	681	10
43	7	621	739	10
44	18	331	630	10
45	16	396	581	10
46	1	400	697	10
47	27	386	765	10
48	36	409	694	10
49	30	477	664	10
50	13	640	797	10



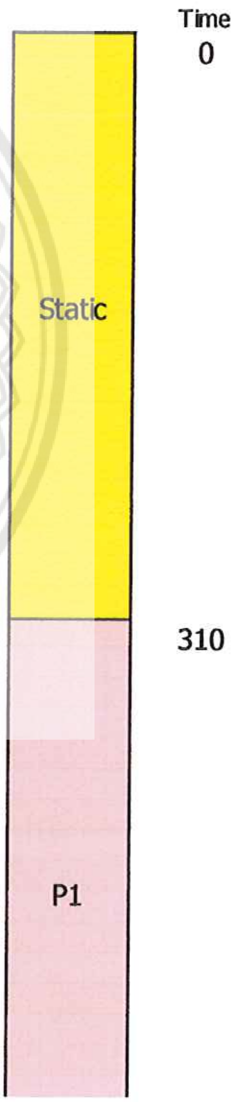
รูปที่ ก.3 (ต่อ) ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 1

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 2

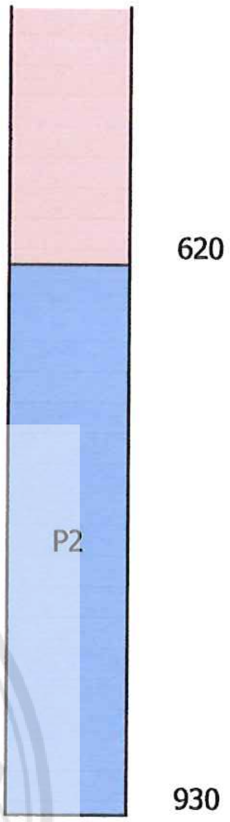
	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Medium 2	15	20	15	900	3	2	2	1,170	77

CUST NO.	DEMAND	READY TIME	DUE DATE	SERVICE TIME
0	0	0	1236	0
1	10	122	267	10
2	30	135	280	30
3	10	65	146	10
4	20	100	282	20
5	10	35	167	10
6	20	161	342	20
7	20	170	265	20
8	20	225	324	20
9	10	234	405	10
10	20	317	410	20
11	10	408	555	10
12	30	562	721	30
13	30	40	152	30
14	10	397	480	10
15	40	324	429	40
16	40	325	528	40
17	20	159	340	20
18	20	239	353	20
19	10	278	345	10
20	20	250	407	20
21	20	634	765	20
22	20	682	883	20
23	10	712	817	10
24	10	409	644	10
25	40	199	404	40
26	10	612	741	10
27	10	261	456	10
28	20	516	623	20



รูปที่ ก.4 ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 2

29	10	358	455	10
30	10	429	524	10
31	20	310	537	20
32	30	209	400	30
33	40	260	458	40
34	20	521	706	20
35	10	283	444	10
36	10	595	776	10
37	20	683	798	20
38	30	579	692	30
39	20	557	674	20
40	10	493	714	10
41	10	530	725	10
42	20	456	637	20
43	10	904	1010	10
44	20	679	879	20
45	10	541	742	10
46	20	498	629	20
47	10	932	1127	10
48	10	732	851	10
49	10	836	1106	10
50	10	715	880	10

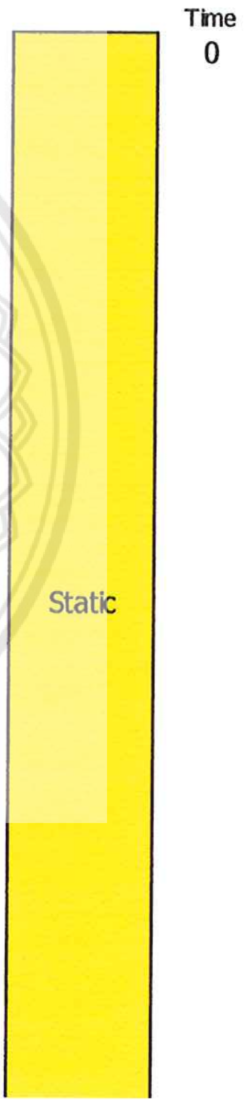


รูปที่ ก.4 (ต่อ) ปัญหาขนาดกลางโจทย์ข้อที่ 2

ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 1

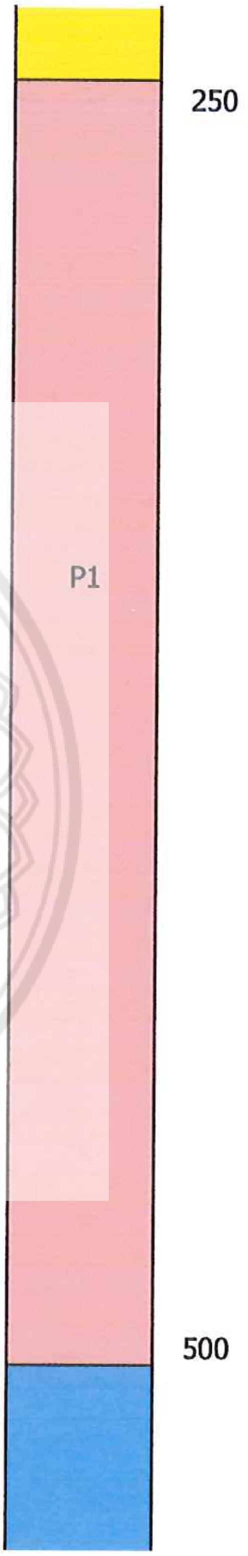
	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Large 1	30	35	35	1,458	6	6	3	2,340	62

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



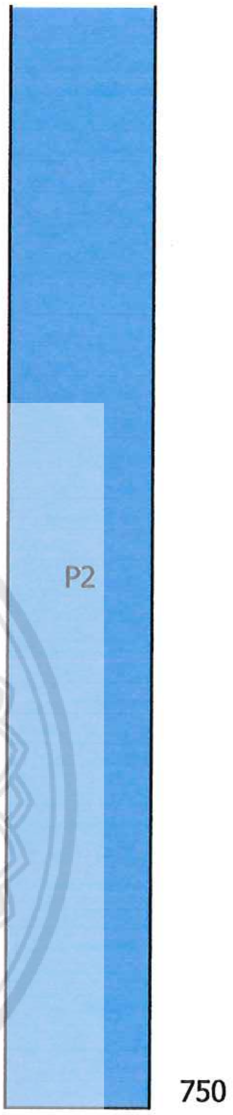
รูปที่ ก.5 ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 1

29	9	201	481	10
30	21	95	435	10
31	27	129	450	10
32	23	123	354	10
33	11	104	399	10
34	14	241	435	10
35	8	296	575	10
36	5	294	612	10
37	8	295	475	10
38	16	158	370	10
39	31	120	299	10
40	9	258	398	10
41	5	228	398	10
42	5	278	434	10
43	7	286	500	10
44	18	300	420	10
45	16	308	499	10
46	1	306	489	10
47	27	329	501	10
48	36	335	542	10
49	30	304	521	10
50	13	349	677	10
51	10	302	720	10
52	9	355	499	10
53	14	459	812	10
54	18	359	635	10
55	2	265	587	10
56	6	367	487	10
57	7	371	721	10
58	18	375	642	10
59	28	375	528	10
60	3	406	595	10
61	13	388	508	10
62	19	392	512	10
63	10	395	577	10
64	9	407	732	10
65	20	440	605	10
66	25	471	598	10
67	25	487	677	10
68	36	489	609	10
69	6	507	627	10
70	5	519	679	10



รูปที่ ก.5 (ต่อ) ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 1

71	15	509	649	10
72	25	457	687	10
73	9	507	807	10
74	8	557	677	10
75	18	547	777	10
76	13	562	782	10
77	14	556	696	10
78	3	574	699	10
79	23	599	799	10
80	6	611	753	10
81	26	612	732	10
82	16	621	741	10
83	11	624	784	10
84	7	645	765	10
85	41	653	792	10
86	35	557	777	10
87	26	673	793	10
88	9	681	851	10
89	15	664	874	10
90	3	713	853	10
91	1	703	903	10
92	2	709	839	10
93	22	702	852	10
94	27	724	884	10
95	20	682	902	10
96	11	614	904	10
97	12	734	928	10
98	10	720	980	10
99	9	714	930	10
100	17	772	942	10



รูปที่ ก.5 (ต่อ) ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 1

ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 2

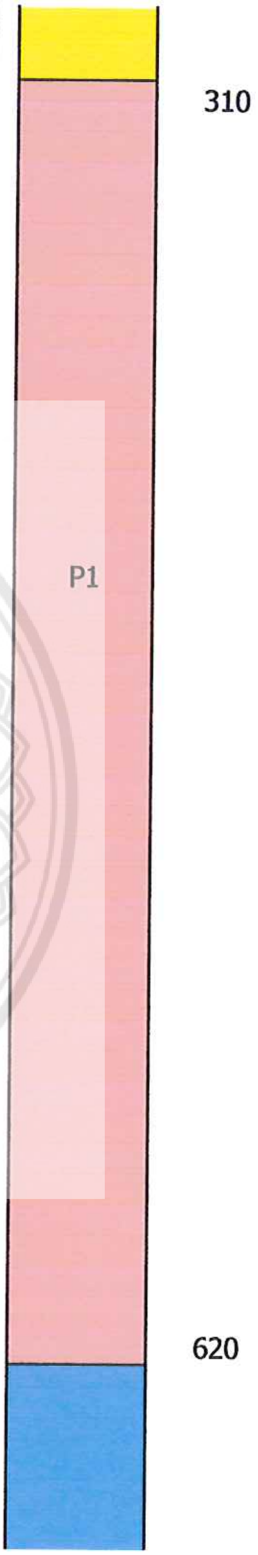
	Customers				Vehicles				อัตราการใช้รถ
	static	Period 1	Period 2	Total Demand	A(90)	B(150)	C(300)	Total Capacity	Used Rate (ร้อยละ)
Large 2	30	35	35	1,810	7	5	3	2,280	79

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

Time
0

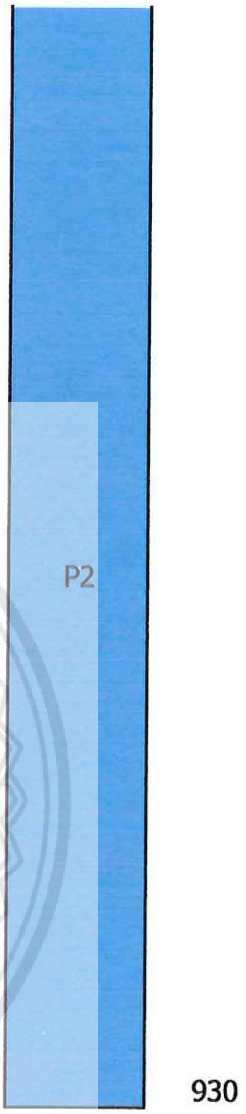
รูปที่ ก.6 ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 2

29	10	201	481	10
30	10	155	435	10
31	20	199	450	10
32	30	243	554	10
33	40	194	459	10
34	20	241	435	10
35	10	296	575	10
36	10	254	602	10
37	20	275	575	10
38	30	188	390	10
39	20	179	399	10
40	10	258	398	10
41	10	228	398	10
42	20	278	434	10
43	10	286	500	10
44	10	300	420	10
45	10	308	499	10
46	30	306	489	10
47	10	329	501	10
48	10	335	542	10
49	10	304	521	10
50	10	349	577	10
51	10	302	520	10
52	10	355	499	10
53	20	459	812	10
54	40	359	635	10
55	10	265	587	10
56	30	367	487	10
57	40	371	721	10
58	30	375	642	10
59	10	375	528	10
60	20	406	595	10
61	10	388	508	10
62	20	392	512	10
63	50	395	577	10
64	10	407	532	10
65	10	440	605	10
66	10	471	658	10
67	10	487	727	10
68	10	589	739	10
69	10	587	727	10
70	30	619	779	10



รูปที่ ก.6 (ต่อ) ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 2

71	20	509	649	10
72	10	577	697	10
73	10	627	867	10
74	50	597	757	10
75	20	597	777	10
76	10	642	782	10
77	10	556	696	10
78	20	584	698	10
79	10	599	719	10
80	10	601	723	10
81	30	612	732	10
82	20	621	741	10
83	10	644	774	10
84	20	645	865	10
85	30	653	785	10
86	10	557	777	10
87	20	673	793	10
88	30	681	851	10
89	10	664	814	10
90	10	713	858	10
91	10	703	838	10
92	20	749	899	10
93	40	732	857	10
94	10	724	884	10
95	30	682	852	10
96	10	814	1004	10
97	30	734	928	10
98	20	810	1080	10
99	10	714	900	10
100	20	802	1042	10



รูปที่ ก.6 (ต่อ) ปัญหาขนาดใหญ่โจทย์ข้อที่ 2

ภาคผนวก ข

Source Code ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม

Visual Basic for Application

มหาวิทยาลัยนเรศวร

ข. Source Code ที่ใช้ในการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Application

แสดงโค้ดในปุ่มคำสั่งต่างๆ ของโปรแกรม

ข.1 ปุ่ม Ok

```
Private Sub OkButtom_Click()
Sheet22.Activate
PSO1.Hide
Worksheets("PSO").Range("C4").Value = PartBox1.Value
Worksheets("PSO").Range("C5").Value = InterBox2.Value
Worksheets("PSO").Range("C6").Value = OmegaBox3.Value
Worksheets("PSO").Range("C7").Value = CpBox4.Value
Worksheets("PSO").Range("C8").Value = CgBox5.Value
Worksheets("PSO").Range("C9").Value = VMax.Value
Worksheets("PSO").Range("C10").Value = VMin.Value
End Sub
```

รูปที่ ข.1 โค้ดปุ่ม Ok

ข.2 ปุ่ม Reset

```
Private Sub ResetButton_Click()
PartBox1.Value = ""
InterBox2.Value = ""
OmegaBox3.Value = ""
CpBox4.Value = ""
CgBox5.Value = ""
End Sub
```

รูปที่ ข.2 โค้ดปุ่ม Reset

ข.3 ปุ่ม Cancel

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

รูปที่ ข.3 โค้ดปุ่ม Cancel

ข.4 ปุ่ม Run

```
Private Sub PSO_Run_Click()
Dim StartTime As Double
Dim FinishTime As Double
StartTime = Timer
Application.ScreenUpdating = False
Application.Calculation = xlCalculationManual
Randomize (1111)
    Call Event_Manager
Application.ScreenUpdating = True
Application.Calculation = xlCalculationAutomatic
FinishTime = Timer – StartTime
Range("C15") = FinishTime
    MsgBox "Finish!!!!!!!!!!"
End Sub
```

รูปที่ ข.4 โค้ดปุ่ม Run

ข.5 Sub PSO

```
Public Sub PSO()

Dim i As Integer
Dim j As Integer
PSO_NumPar = Worksheets("PSO").Range("C4")
PSO_Iter = Worksheets("PSO").Range("C5")
PSO_W = Worksheets("PSO").Range("C6")
PSO_C1 = Worksheets("PSO").Range("C7")
PSO_C2 = Worksheets("PSO").Range("C8")
PSO_Velmax = Worksheets("PSO").Range("C9")
PSO_Velmin = Worksheets("PSO").Range("C10")
```

รูปที่ ข.5 โค้ด Sub PSO

```
Dim AllZero As Boolean
AllZero = True
For i = 0 To UBound(NowSol)
    If NowSol(i) <> 0 Then
For i = 0 To UBound(NowSol)
    If NowSol(i) <> 0 Then
        AllZero = False
        Exit For
    End If
Next i
If AllZero = True Then Exit Sub
Call PSO_LayoutTest
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        PSO_CurSol(i, j) = NowSol(j)
        Worksheets("PSO").Range("M4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i, j) =
PSO_CurSol(i, j)
    Next j
Next i
For i = 1 To PSO_NumPar - 1
    For j = 1 To (UBound(NowSol) - 1)
        PSO_RndPos = Int((UBound(NowSol) - 1 - 1 + 1) * Rnd() + 1)
PSO_Temp = PSO_CurSol(i, j)
        PSO_CurSol(i, j) = PSO_CurSol(i, PSO_RndPos)
        PSO_CurSol(i, PSO_RndPos) = PSO_Temp
        Worksheets("PSO").Range("M4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i, j) =
PSO_CurSol(i, j)
        Worksheets("PSO").Range("M4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i,
PSO_RndPos) = PSO_CurSol(i, PSO_RndPos)
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) โค้ด Sub PSO

```
  Next j
 Next i
 For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = PSO_CurSol(i, j)
    Next j
        Call Evaluate_count_vehicle
        PSO_CurSolObj(i) = Objective
        Worksheets("PSO").Range("I4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i, 0) =
PSO_CurSolObj(i)
        Debug.Print i
Next i
For PSO_NowIter = 0 To PSO_Iter - 1
  Worksheets("PSO").Range("C13") = PSO_NowIter + 1
    Call PSO_FindPBest
    Call PSO_FindGbest
    Call PSO_FindVel
    Call PSO_FindXid
    Call PSO_NumberZero
    Call PSO_DescendXid
    Call PSO_TransferIntXid
Next PSO_NowIter
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = PSO_Gbest(j)
    Next j
Call Evaluate_count_vehicle
End Sub
```

รูปที่ ข.5 (ต่อ) โค้ด Sub PSO

ข.6 Sub PSO FindPBest

```
Public Sub PSO_FindPBest()
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        If PSO_NowIter = 0 Then
            PSO_Pbest(i, j) = PSO_CurSol(i, j)
            Worksheets("PSO").Range("M6").Offset((i + 1) * 2, j) = PSO_CurSol(i, j)
        Else
            If PSO_CurSolObj(i) < PSO_PbestObj(i) Then
                PSO_Pbest(i, j) = PSO_CurSol(i, j)
                Worksheets("PSO").Range("M6").Offset((i + 1) * 2, j) = PSO_Pbest(i, j)
End If
        End If
    Next j
If PSO_NowIter = 0 Then
        PSO_PbestObj(i) = PSO_CurSolObj(i)
        Worksheets("PSO").Range("I6").Offset((i + 1) * 2, 0) = PSO_PbestObj(i)
    Else
        If PSO_CurSolObj(i) < PSO_PbestObj(i) Then
            PSO_PbestObj(i) = PSO_CurSolObj(i)
            Worksheets("PSO").Range("I6").Offset((i + 1) * 2, 0) = PSO_PbestObj(i)
        End If
    End If
 Next i
End Sub
```

รูปที่ ข.6 โค้ด Sub PSO FindPBest

ข.7 Sub PSO FindGBest

```
Public Sub PSO_FindGbest()
Dim PSO_MinObj As Double
Dim PSO_MinObjPar As Double

PSO_MinObj = PSO_PbestObj(0)
PSO_MinObjPar = 0

For i = 1 To PSO_NumPar - 1
   If PSO_PbestObj(i) < PSO_MinObj Then
      PSO_MinObj = PSO_PbestObj(i)
      PSO_MinObjPar = i
   End If
Next i

PSO_GbestObj = PSO_MinObj
Worksheets("PSO").Range("I5") = PSO_GbestObj

For i = 0 To UBound(NowSol)
   PSO_Gbest(i) = PSO_Pbest(PSO_MinObjPar, i)
Next i

For j = 0 To UBound(NowSol)
   Worksheets("PSO").Range("M1").Offset(4, j) = PSO_Gbest(j)
Next j
End Sub
```

รูปที่ ข.7 โค้ด Sub PSO FindGBest

ข.8 Sub PSO FindVel

```
Public Sub PSO_FindVel()


For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
        PSO_Vel(i, j) = (PSO_W * PSO_Vel(i, j)) + ((PSO_C1 * Rnd()) * (PSO_Pbest(i, j)))
- (PSO_CurSol(i, j)) + ((PSO_C2 * Rnd()) * (PSO_Gbest(j))) - (PSO_CurSol(i, j))


        If PSO1.VLimit = True
            If PSO_Vel(i, j) > PSO_Velmax Then
                PSO_Vel(i, j) = PSO_Velmax
End If
                If PSO_Vel(i, j) < PSO_Velmin Then
                 PSO_Vel(i, j) = PSO_Velmin
                End If
            End If
      Next j
Next i
End Sub
```

รูปที่ ข.8 โค้ด Sub PSO FindVel

ข.9 Sub PSO FindXid

```
Public Sub PSO_FindXid()
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            PSO_Xid(i, j) = PSO_Xid(i, j) + PSO_Vel(i, j)
        Next j
Next i
```

รูปที่ ข.9 โค้ด Sub PSO FindXid

```
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            Worksheets("PSOTest").Range("B220").Offset(i, j) = PSO_Xid(i, j)
        Next j
 Next i
End Sub
```

รูปที่ ข.9 (ต่อ) โค้ด Sub PSO FindXid

ข.10 Sub PSO NumberZero

```
Public Sub PSO_NumberZero()
          k = 0
        PSO_NumZero = 0
ReDim PSO_ValueCust(0 To (UBound(NowSol) - 1 - 1 - PSO_NumZero))
For j = 1 To (UBound(NowSol) - 1)
    If NowSol(j) <> 0 Then
        PSO_ValueCust(k) = NowSol(j)
        k = k + 1
    End If
Next j
For j = 0 To UBound(NowSol)
    PSO_DesNowSol(j) = NowSol(j)
Next j
For j = 1 To UBound(NowSol) – 2
          For k = j + 1 To UBound(NowSol) – 1
                If PSO_DesNowSol(j) > PSO_DesNowSol(k) Then
                    PSO_StrTemp = PSO_DesNowSol(j)
                    PSO_DesNowSol(j) = PSO_DesNowSol(k)
                   PSO_DesNowSol(k) = PSO_StrTemp
                End If
            Next k
Next j
End Sub
```

รูปที่ ข.10 โค้ด Sub PSO NumberZero

ข.11 Sub PSO DescendXid

```
Public Sub PSO_DescendXid()
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            PSO_Xid(i, j) = Worksheets("PSOTest").Range("B220").Offset(i, j).Value
        Next j
        For j = 0 To UBound(NowSol)
            PSO_DesXid(i, j) = PSO_Xid(i, j)
        Next j
For j = 1 To UBound(NowSol) - 2
            For k = j + 1 To UBound(NowSol) - 1
               If PSO_DesXid(i,j)>PSO_DesXid(i,k)Then
                    PSO_StrTemp = PSO_DesXid(i, j)
                    PSO_DesXid(i, j) = PSO_DesXid(i, k)
                    PSO_DesXid(i, k) = PSO_StrTemp
            End If
            Next k
      Next j
Next i
End Sub
```

รูปที่ ข.11 โค้ด Sub PSO DescendXid

ข.12 Sub PSO TransferIntXid

```
Public Sub PSO_TransferIntXid()

Dim CountRepeat As Integer
Dim CountRepeatNow As Integer
CountRepeat = 1
CountRepeatNow = 1

For i = 0 To PSO_NumPar - 1          '
PSO_CountZero = 0
   For j = 1 To UBound(NowSol) - 1
      PSO_CountZeroNow = 0
      CountRepeatNow = 1
      If PSO_DesXid(i, j) = PSO_DesXid(i, j - 1) Then
         CountRepeat = CountRepeat + 1
      Else
CountRepeat = 1
            End If
For k = 1 To UBound(NowSol) - 1
            If PSO_DesXid(i, j) = 0 Then
               If PSO_DesXid(i, j) = PSO_Xid(i, k) Then
                  PSO_CountZeroNow = PSO_CountZeroNow + 1
                  If PSO_CountZeroNow > PSO_CountZero Then
                     PSO_CurSol(i, k) = PSO_DesNowSol(j)
                     PSO_CountZero = PSO_CountZero + 1
                     Exit For
                  End If
               End If
            Else
```

รูปที่ ข.12 โค้ด Sub PSO TransferIntXid

```
                    If PSO_DesXid(i, j) = PSO_Xid(i, k) Then
                        If CountRepeat > 1 Then
                            If CountRepeatNow < CountRepeat Then
                                CountRepeatNow = CountRepeatNow + 1
                            Else
                                PSO_CurSol(i, k) = PSO_DesNowSol(j)
                                Exit For
                            End If
                        Else
                            PSO_CurSol(i, k) = PSO_DesNowSol(j)
                            Exit For
                        End If
                    End If
                End If
            Next k
        Next j
Next i
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For k = 0 To UBound(NowSol)
        Worksheets("PSOTest").Range("B560").Offset(i, k).Value = PSO_CurSol(i, k)
    Next k
Next i
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        Worksheets("PSO").Range("M4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i, j) =
PSO_CurSol(i, j)
    Next j
Next i
```

รูปที่ ข.12 (ต่อ) โค้ด Sub PSO TransferIntXid

```
For i = 0 To PSO_NumPar - 1
    For j = 0 To UBound(NowSol)
        NowSol(j) = PSO_CurSol(i, j)
    Next j
Call Evaluate_count_vehicle
        PSO_CurSolObj(i) = Objective
        Worksheets("PSO").Range("I4").Offset((2 * PSO_NumPar) + 7 + i, 0) =
PSO_CurSolObj(i)
Next i
End Sub
```

รูปที่ ข.12 (ต่อ) โค้ด Sub PSO TransferIntXid

ประวัติผู้ดำเนินโครงงาน

ชื่อ นางสาวณิชาภัทร ปิติสุวรรณรัตน์

ภูมิลำเนา 183/4 หมู่ที่ 2 ต.ดอนแก้ว อ.แม่ริม จ.เชียงใหม่

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนนวมินทราชูทิศ พายัพ จ.เชียงใหม่
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: nichajanza@gmail.com

ชื่อ นายทศพร จตุรภุชาภรณ์

ภูมิลำเนา 56/339 หมู่ที่ 2 ถ.เจ้าฟ้าตะวันออก ต.วิชิต อ.เมือง จ.ภูเก็ต

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนสตรีภูเก็ต จ.ภูเก็ต
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: todsaponza5@hotmail.com

ชื่อ นางสาวปนัดดา เพชรสุภาพร

ภูมิลำเนา 52/2-3 ถ.เทศบาล 3 ต.หล่มสัก อ.หล่มสัก จ.เพชรบูรณ์

ประวัติการศึกษา

- จบระดับมัธยมศึกษาจากโรงเรียนผาเมือง-วิทยาคม จ.เพชรบูรณ์
- ปัจจุบันกำลังศึกษาในระดับปริญญาตรีชั้นปีที่ 4 สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร

E-mail: Phone-dt-myc@hotmail.com