มหาวิทยาลัยศรีปทุม

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้

META-HEURISTIC ALGORITHMS APPLICATIONS FOR HETEROGENEOUS FLEET AND SPLIT DELIVERY OF VEHICLE ROUTING PROBLEM

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ธรินี มณีศรี

งานวิจัยนี้ ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยจากมหาวิทยาลัยศรีปทุม

ปีการศึกษา 2552

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร.อนันต์ มุ่งวัฒนา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขงานวิจัยจนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอขอบคุณผู้ประกอบการ ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลเพื่องานวิจัย ขอขอบคุณบุคลากรของสำนักวิจัย มหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ให้คำแนะนำเกี่ยวกับขั้นตอนการจัดส่งรายงานความก้าวหน้างานวิจัยเป็นอย่างดี และสุดท้ายขอขอบพระคุณมหาวิทยาลัยศรีปทุม ที่ได้ให้โอกาสและเงินทุนสนับสนุนงานวิจัยนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากงานวิจัยเล่มนี้ ขอมอบแด่คุณพ่อ คุณแม่ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

ธรินี มณีศรี

ธันวาคม 2553

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย : การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้
ผู้วิจัย : นางธรินี มณีศรี
หน่วยงาน : สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีที่พิมพ์ : พ.ศ. 2553

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้ วัตถุประสงค์ของงานวิจัย คือ การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งให้เกิดเวลาในการเดินทางโดยรวมน้อยสุด โดยประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น 3 วิธี ประกอบด้วย การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดเป็นตัวแรกร่วมกับวิธีค้นหาทาบู การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดจากทั้งหมดร่วมกับวิธีค้นหาทาบู และวิธีค้นหาทาบู ทำการเปรียบเทียบสมรรถนะของทั้ง 3 วิธีด้วยดัชนีบ่งชี้ 2 ตัว คือ คุณภาพของผลเฉลย และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล จากการทดลองพบว่าวิธีดีที่สุดเป็นตัวแรกร่วมกับวิธีค้นหาทาบู เป็นวิธีที่เหมาะสม เนื่องจากให้ผลเฉลยที่เหมาะสม และใช้เวลาในการประมวลผลที่ยอมรับได้ จากนั้นนำขั้นตอนวิธีดังกล่าวมาทดลองใช้กับข้อมูลจำลองและกรณีศึกษา ข้อมูลจำลองทำการดัดแปลงปัญหาเทียบเคียงของ Solomon จำนวน 6 ประเภท ประกอบด้วย R101, R201, C101, C201, RC101 และ RC201 ที่จำนวนลูกค้าสูงสุด 100 ราย และทดลองแก้ปัญหาจริงในภาคธุรกิจประกอบด้วยโรงงานผลิตน้ำดื่มและบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร ผลการทดลองสามารถประหยัดเวลาในการเดินทางลงได้ 358 นาที และ 1,218 นาที ตามลำดับ

คำสำคัญ : ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง รถขนส่งหลายขนาด การแบ่งแยกส่งสินค้า

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Research Title : Meta-Heuristic Algorithm Applications for Heterogeneous Fleet and Split Delivery of Vehicle Routing Problem
Name of Researcher : Mrs. Tharinee Manisri
Name of Institution : Industrial Engineering, Faculty of Engineering, Sripatum Engineering
Year of Publication : B. E. 2553

ABSTRACT

This research is applied the meta-heuristic algorithms for heterogeneous fleet and split delivery of vehicle routing problem. The objective aims to minimize the total travel times of vehicle routing by using the algorithms. The developing algorithms are including the first best with tabu search (FBTS), the global best with tabu search (GBTS) and tabu search (TS). The performance measures of these three algorithms are the quality of solution and the computer run time. The experiment shows that the FBTS is the best algorithm. It can find an appropriate solution in a reasonable time. This developing algorithm is applied to solve the problems by using the synthetic data and case studies. The synthetic data is modified by using the six types of Solomon's benchmark problems, R101, R201, C101, C201, RC101 and RC201 which the maximum number of customer 100 nodes. Also, this algorithm can be applied to the realize businesses, drinking water factory and agricultural products manufacturer and distributor. The saving total travel times are equal to 358 minutes and 1,218 minutes, respectively.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Keywords : Meta-heuristic algorithm Vehicle routing problem Heterogeneous fleet vehicle Split demand delivery

สารบัญ

บทที่ **หน้า**

1 บทนำ..... 1

1.1 ความสำคัญและที่มา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2

1.3 คำถามการวิจัย..... 2

1.4 สมมุติฐานการวิจัย..... 2

1.5 ขอบเขตการวิจัย..... 2

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ..... 3

2 วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง..... 4

2.1 วิธีแม่นตรง (Exact Method)..... 6

2.2 วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method..... 7

2.3 วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic Method)..... 10

3 ระเบียบวิธีการวิจัย..... 20

3.1 แบบแผนทางการวิจัย..... 20

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน..... 20

3.3 อุปกรณ์การวิจัย..... 48

3.4 การรวบรวมข้อมูลวิจัย..... 48

3.5 การออกแบบการทดลอง..... 63

4 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล..... 65

4.1 ผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลจำลอง..... 65

4.2 ผลการทดลองโดยใช้กรณีศึกษา..... 73

5 สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 84

5.1 สรุป..... 84

5.2 อภิปรายผล..... 84

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ **หน้า**

5.3 ข้อเสนอแนะ..... 85

บรรณานุกรม..... 86

ภาคผนวก..... 91

ภาคผนวก ก ข้อมูลจำลอง..... 92

ภาคผนวก ข ผลการเปรียบเทียบเมื่อลูกค้าเท่ากับ 25, 50 และ 100 ราย..... 125

ภาคผนวก ค ข้อมูลรายละเอียดลูกค้าบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร..... 129

ประวัติย่อผู้วิจัย..... 135

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	ลำดับการทำงานของตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย ……..	37
2	ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 1 ……..…	42
3	ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 2 ……..…	44
4	ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 3 ……..……	46
5	ตัวอย่างปัญหา HFVRPTWSD จำนวนลูกค้า 25 ราย …….	50
6	ข้อมูลโรงงานผลิตน้ำดื่ม ……..	52
7	เวลาเดินทางสำหรับโรงงานผลิตน้ำดื่ม (นาที) …….	57
8	ข้อมูลบริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร……..…	60
9	ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ……..	65
10	ตัวอย่างผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101 (จำนวนลูกค้า 25 ราย)..	67
11	รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101…….	69
12	ความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลือสำหรับปัญหา R101……	70
13	ผลการเรียงลำดับขีดความสามารถสำหรับปัญหา R101……	71
14	ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งใหม่สำหรับปัญหา R101……..	72
15	การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม) ……..	74
16	รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม) ……	75
17	การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่) ……	76
18	รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่) ……...	77
19	เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม…….	78
20	การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม)……	79
21	รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม) ……	80
22	การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่) ……..	82
23	รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่) ……..	83

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

24 เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร..... 83

ตารางผนวกที่ **หน้า**

ก1 ปัญหา R101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย..... 92

ก2 ปัญหา R201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย..... 97

ก3 ปัญหา C101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย..... 102

ก4 ปัญหา C201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย 107

ก5 ปัญหา RC101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย..... 112

ก6 ปัญหา RC201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย..... 118

ข ผลการเปรียบเทียบเมื่อลูกค้าเท่ากับ 25, 50 และ 100 ราย..... 125

ค ข้อมูลรายละเอียดลูกค้าบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร..... 129

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ

ภาพประกอบ **หน้า**

1	สรุปปัญหา VRP.....	4
2	รวมผู้ที่ทำงานวิจัย VRP กรณีที่มีรถหลายขนาด.....	5
3	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem)	6
4	a เส้นทางการเดินรถแบบเดิม และ b เส้นทางการเดินรถแบบเซฟวิ่ง.....	8
5	ปัญหาการขนส่งแบบแยกส่งสินค้าได้ (Split Delivery).....	16
6	การแบ่งแยกส่งสินค้ากรณีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุก.....	26
7	การแบ่งแยกส่งสินค้าได้ด้วยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน.....	26
8	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1).....	32
9	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 0)	33
10	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 1)	33
11	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 2)	34
12	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 0)	35
13	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 2)	35
14	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 1)	36
15	ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 2)	37
16	เปรียบเทียบวิธี FB และวิธี GB.....	38
17	การสลับสับเปลี่ยนภายในเส้นทาง.....	40
18	โครงสร้างหน่วยความทรงจำทาบู (เริ่มต้น)	42
19	หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 1)	43
20	หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 2)	44
21	หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 3)	47
22	รถขนส่งน้ำดื่ม.....	52
23	การใช้ Google Map เพื่อค้นหาตำแหน่งที่ตั้ง X และ Y.....	55
24	ตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน (A) และลูกค้า (B).....	55
25	การขอเส้นทางที่แนะนำบน Google Map.....	56
26	ตำแหน่งที่ตั้งบริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร.....	59

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

สารบัญภาพประกอบ (ต่อ)

ภาพประกอบ **หน้า**

27 การเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลย..... 66
28 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล..... 66
29 เส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101..... 69
30 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลสำหรับลูกค้าจำนวน 25, 50 และ 100 ราย..... 73
31 เส้นทางการเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม) 75
32 เส้นทางการเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่) 77
31 เส้นทางการเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม)..... 80
32 เส้นทางการเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่)..... 81

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความสำคัญและที่มา

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem) เป็นส่วนหนึ่งของการจัดการด้านการขนส่งและโลจิสติกส์ ในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งจากคลังสินค้า ไปยังลูกค้าที่กระจายอยู่ตามจุดต่างๆ ซึ่งเป็นปัญหาการตัดสินใจที่มีความซับซ้อนในระดับเอ็นพีฮาร์ด (NP-Hard Problem) การหาผลเฉลยที่เหมาะสมด้วยวิธีแม่นตรง (Exact Method) จึงกระทำได้ยาก โดยเฉพาะเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ และมีเงื่อนไขเพิ่มมากขึ้น ปัจจุบันนักวิจัยมีความพยายามในการค้นหาวิธีการในการแก้ปัญหาดังกล่าว ซึ่งแต่ละวิธีที่ค้นพบอาจมีความเหมาะสม และใช้งานได้ดีเฉพาะบางปัญหา และอาจมีประสิทธิภาพต่ำลงเมื่อทดลองใช้กับปัญหาอื่นที่มีเงื่อนไขที่แตกต่างกัน

งานวิจัยนี้ ได้นำเสนอขั้นตอนวิธีการสำหรับปัญหา VRP แบบมีรถขนส่งหลากหลายชนิด ซึ่งแต่ละชนิดมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่แตกต่างกัน (Mix Fleet Vehicles) และในการส่งสินค้าอนุญาตให้มีการแยกส่งสินค้า (Split Demand Delivery) ได้เมื่อความต้องการสินค้าของลูกค้ามากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันหนึ่งๆ ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าว เป็นเงื่อนไขที่เพิ่มขึ้นจากปัญหา VRP ดั้งเดิม เพื่อให้สอดคล้องกับปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในภาคอุตสาหกรรมการขนส่งและโลจิสติกส์ และเป็นสิ่งที่สนองตอบต่อความต้องการของผู้ตัดสินใจ (Decision Makers) อย่างแท้จริง ขั้นตอนวิธีการสำหรับปัญหา VRP แบบดั้งเดิมที่มีนักวิจัยคิดค้นและพัฒนาขึ้น จึงจำเป็นต้องมีการปรับปรุงเพื่อให้สอดคล้อง และรองรับเงื่อนไขที่เพิ่มนี้ได้

เนื่องจากปัญหานี้เป็นปัญหาระดับเอ็นพีฮาร์ด ขั้นตอนวิธีการส่วนมากที่ใช้ในการแก้ปัญหาจึงเป็นเทคนิคฮิวริสติกส์ (Heuristic) และเมต้าฮิวริสติกส์ (Meta-heuristic) การวิจัยเพื่อปรับปรุงขั้นตอนวิธีการนี้ เพื่อให้วิธี ฮิวริสติกส์และเมต้าฮิวริสติกส์มีความยืดหยุ่นต่อปัญหา VRP ที่มีเงื่อนไขเกี่ยวกับความหลากหลายของรถขนส่ง และการแบ่งแยกการส่งสินค้านี้ได้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

วัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยนี้ คือ การปรับปรุงขั้นตอนวิธีการฮิวริสติกส์และวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้ เพื่อหาเส้นทางเดินรถขนส่งที่มีเวลาเดินทางโดยรวมสั้นที่สุด

1.3 คำถามการวิจัย

1.3.1 เมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้นจะมีวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถอย่างไร ให้เกิดเวลาเดินทางรวมที่สั้นที่สุด และใช้จำนวนรถขนส่งน้อยที่สุด

1.3.2 เมื่อลูกค้ามีความต้องการสินค้าจำนวนมากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งคันหนึ่งๆ จะมีวิธีการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งอย่างไร

1.3.3 เมื่อรถขนส่งมีหลายขนาด จะมีวิธีในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งอย่างไร

1.4 สมมุติฐานการวิจัย

สมมุติฐานของงานวิจัย คือ การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งด้วยวิธีฮิวริสติกส์ และวิธีเมต้าฮิวริสติกส์อาจให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าเหมาะที่สุด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1.5 ขอบเขตของการวิจัย

ขอบเขตงานวิจัย ประกอบด้วย เป็นปัญหาแบบคลังสินค้าเดี่ยว (Single Depot) ความต้องการของลูกค้ามีความหลากหลาย (Multiple Demands) และมีโอกาสที่จะมีจำนวนมากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง ใช้รถขนส่งหลากหลายประเภท (Multi-Capacitated Vehicle) มีการกำหนดกรอบเวลาในการขนส่ง (Time Windows) และกำหนดเวลาเดินทางเป็นแบบค่าคาดหวัง (Expected Travel Times)

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

1.6.1 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) คือ ปัญหาเกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ที่มีคลังสินค้าเป็นศูนย์กลาง และมีลูกค้ากระจายอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้า มีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันไป ผลเฉลยของปัญหา คือ การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่เริ่มออกเดินทางจากคลังสินค้า เพื่อไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า ณ ตำแหน่งต่างๆ เมื่อให้บริการจนครบทุกลูกค้าจึงเดินทางกลับมายังคลังสินค้าเดิม

1.6.2 วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method) คือ เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียงภายในเวลาจำกัด หรือ “Good enough and fast enough solution” ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์

1.6.3 วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic) คือ เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 2
วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหา VRP ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายทั้งในและต่างประเทศ Dantzig and Ramser (1959) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา VRP ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาขั้นตอนวิธีการต่างๆ ในการแก้ปัญหาดังกล่าว มาจนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ ซึ่งมีทั้งการพัฒนาที่รูปแบบของปัญหา และเทคนิควิธีการ งานวิจัยของ Eksioglu *et.al* (2009) ได้แบ่งปัญหา VRP ไว้ดังต่อไปนี้

1. Type of Study
   - 1.1. Theory
   - 1.2. Applied methods
     - 1.2.1. Exact methods
     - 1.2.2. Heuristics
     - 1.2.3. Simulation
     - 1.2.4. Real time solution methods
   - 1.3. Implementation documented
   - 1.4. Survey, review or meta-research
2. Scenario Characteristics
   - 2.1. Number of stops on route
     - 2.1.1. Known (deterministic)
     - 2.1.2. Partially known, partially probabilistic
   - 2.2. Load splitting constraint
     - 2.2.1. Splitting allowed
     - 2.2.2. Splitting not allowed
   - 2.3. Customer service demand quantity
     - 2.3.1. Deterministic
     - 2.3.2. Stochastic
     - 2.3.3. Unknown[1]
   - 2.4. Request times of new customers
     - 2.4.1. Deterministic
     - 2.4.2. Stochastic
     - 2.4.3. Unknown
   - 2.5. On site service/waiting times
     - 2.5.1. Deterministic
     - 2.5.2. Time dependent
     - 2.5.3. Vehicle type dependent
     - 2.5.4. Stochastic
     - 2.5.5. Unknown
   - 2.6. Time window structure
     - 2.6.1. Soft time windows
     - 2.6.2. Strict time windows
     - 2.6.3. Mix of both
   - 2.7. Time horizon
     - 2.7.1. Single period
     - 2.7.2. Multi period
   - 2.8. Backhauls
     - 2.8.1. Nodes request simultaneous pick ups and deliveries
     - 2.8.2. Nodes request either linehaul or backhaul service, but not both
   - 2.9. Node/Arc covering constraints
     - 2.9.1. Precedence and coupling constraints
     - 2.9.2. Subset covering constraints
     - 2.9.3. Re course allowed
3. Problem Physical Characteristics
   - 3.1. Transportation network design
     - 3.1.1. Directed network
     - 3.1.2. Undirected network
   - 3.2. Location of addresses (customers)
     - 3.2.1. Customers on nodes
     - 3.2.2. Arc routing instances
   - 3.3. Geographical location of customers
     - 3.3.1. Urban (scattered with a pattern)
     - 3.3.2. Rural (randomly scattered)
     - 3.3.3. Mixed
   - 3.4. Number of points of origin
     - 3.4.1. Single origin
     - 3.4.2. Multiple origins
   - 3.5. Number of points of loading/unloading facilities (depot)
     - 3.5.1. Single depot
     - 3.5.2. Multiple depots
   - 3.6. Time window type
     - 3.6.1. Restriction on customers
     - 3.6.2. Restriction on roads
     - 3.6.3. Restriction on depot/hubs
     - 3.6.4. Restriction on drivers/vehicle
   - 3.7. Number of vehicles
     - 3.7.1. Exactly *n* vehicles (*TSP in this segment*)
     - 3.7.2. Up to *n* vehicles
     - 3.7.3. Unlimited number of vehicles
   - 3.8. Capacity consideration
     - 3.8.1. Capacitated vehicles
     - 3.8.2. Uncapacitated vehicles
   - 3.9. Vehicle homogeneity (Capacity)
     - 3.9.1. Similar vehicles
     - 3.9.2. Load-specific vehicles[2]
     - 3.9.3. Heterogeneous vehicles
     - 3.9.4. Customer-specific vehicles[3]
   - 3.10. Travel time
     - 3.10.1. Deterministic
     - 3.10.2. Function dependent (a function of current time)
     - 3.10.3. Stochastic
     - 3.10.4. Unknown
   - 3.11. Transportation cost
     - 3.11.1. Travel time dependent
     - 3.11.2. Distance dependent
     - 3.11.3. Vehicle dependent[4]
     - 3.11.4. Operation dependent
     - 3.11.5. Function of lateness
     - 3.11.6. Implied hazard/risk related
4. Information Characteristics
   - 4.1. Evolution of information
     - 4.1.1. Static
     - 4.1.2. Partially dynamic
   - 4.2. Quality of information
     - 4.2.1. Known (Deterministic)
     - 4.2.2. Stochastic
     - 4.2.3. Forecast
     - 4.2.4. Unknown (Real-time)
   - 4.3. Availability of information
     - 4.3.1. Local
     - 4.3.2. Global
   - 4.4. Processing of information
     - 4.4.1. Centralized
     - 4.4.2. Decentralized
5. Data Characteristics
   - 5.1. Data Used
     - 5.1.1. Real world data
     - 5.1.2. Synthetic data
     - 5.1.3. Both real and synthetic data
   - 5.2. No data used

ภาพประกอบ 1 สรุปปัญหา VRP

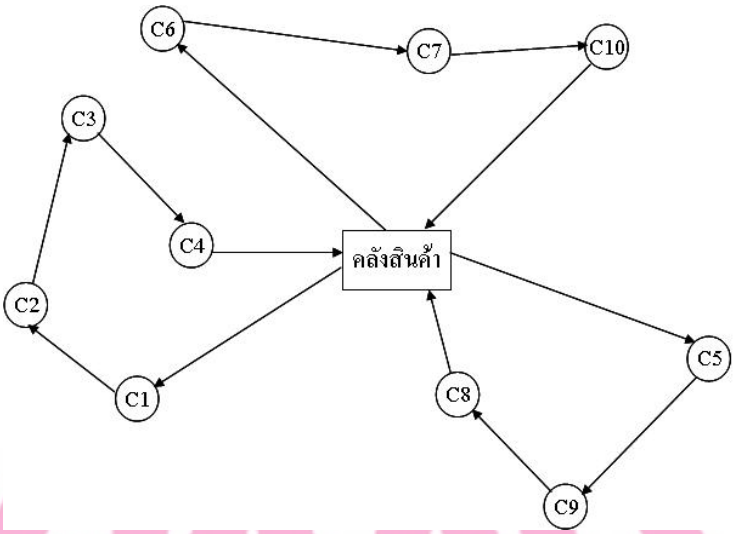
สำหรับงานวิจัยนี้ได้นำเสนอปัญหา VRP ในกรณีที่รถขนส่งมีหลายขนาด และสามารถแบ่งแยกการส่งสินค้าได้ เมื่อความต้องการสินค้าของลูกค้ามากกว่าความสามารถในการบรรทุกสินค้า

Authors	Journal (year)	HFVRP type	Method used
Golden et al.	COR (1984)	Vehicle fixed cost	Saving-based and giant tour
Desrochers and Verhoog	COR (1991)	Vehicle fixed cost	Saving-based
Salhi et al.	Omega (1992)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Saving-based
Salhi and Rand	EJOR (1993)	Vehicle fixed cost only	Perturbation/composite
Osman and Salhi	Book (1996)	Vehicle fixed cost only	Perturbation/composite and Tabu search
Salhi and Sari	EJOR (1997)	Multi-depot, vehicle fixed cost, and vehicle variable cost	Multi-level
Ochi et al.	FGCS (1998)	Vehicle fixed cost	Genetic algorithm and scatter search
Taillard	RAIRO (1999)	Fixed fleet, vehicle fixed cost, and vehicle variable cost	Tabu search
Gendreau et al.	COR (1999)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Tabu search
Liu and Shen	JORS (1999)	Time window and vehicle fixed cost	Saving-based
Dullaert et al.	JORS (2002)	Time window and vehicle fixed cost	Insertion-based
Renaud and Boctor	EJOR (2002)	Vehicle fixed cost	Sweep-based
Wassan and Osman	JORS (2002)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Reactive Tabu search
Tarantilis et al.	JORS (2003)	Fixed fleet, vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Threshold accepting (list based)
Tarantilis et al.	EJOR (2004)	Fixed fleet, vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Threshold accepting (non-monotonic update)
Yaman	Math. Prog (2006)	Vehicle fixed cost	Several formulations + valid inequalities
Choi and Tcha	COR(2007)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Column generation + dynamic programming
Tarantilis and Kiranoudis	EJOR(2007)	Fixed fleet for dairy and construction company	Boneroute + two phase construction heuristic
Li et al.	COR (2007)	Fixed fleet, vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Record-to-record
Dondo and Cerda	EJOR (2007)	Multi-depot, time window and vehicle fixed cost	reduction based clustering + MILP
Lee et al.	JORS (2008)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Tabu search + set partitioning
Brandao	EJOR (2008)	Vehicle fixed cost and vehicle variable cost	Tabu search

ภาพประกอบ 2 รวมผู้ที่ทำงานวิจัย VRP กรณีที่มีรถหลายขนาด

สำหรับพื้นฐานของปัญหา VRP หรือในกรณีที่มีรถขนส่งเพียงคันเดียวนั้น ปัญหา VRP สามารถเทียบได้กับปัญหาการจัดเส้นทางของพนักงานขาย (Traveling salesman problem) ซึ่งเป็นปัญหาที่รู้จักกันอย่างแพร่หลายในแวดวงวิชาการ และปัญหา TSP ได้รับการพิสูจน์ทางทฤษฎีแล้วว่าเป็นปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ (NP-complete) หรือเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อนในการหาผลเฉลย (Savelsbergh, 1985) สำหรับปัญหา VRP ประกอบด้วยรถขนส่งจำนวนมากขึ้น ทำให้เกิดเส้นทางเดินรถหลายเส้นทาง หรืออาจกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า VRP ประกอบด้วย TSP ที่มีความเป็นอิสระต่อกันจำนวนหลายเส้นทาง เพราะฉะนั้น VRP จึงถูกจัดเป็นปัญหาแบบเอ็นพี-สมบูรณ์ โดยมิต้องมีการพิสูจน์ทางทฤษฎี ตัวอย่างปัญหาจริงที่สามารถจัดเป็น VRP ได้แก่ การจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน การส่งไปรษณีย์ การส่งหนังสือพิมพ์ การขนส่งน้ำมัน หรือการขนส่งสินค้าทั่วไป โดยมีเงื่อนไขสำคัญ คือ รถขนส่งทุกคันต้องออกจากคลังสินค้าเพื่อบริการลูกค้าให้ครบทุกจุด และกลับมายังคลังสินค้าเดิมทุกครั้ง โดยจะต้องส่งสินค้าให้ครบตามจำนวนความต้องการของลูกค้าภายใต้ขีดจำกัดความสามารถในการบรรทุกสินค้า โดยทั่วไปลักษณะของปัญหา VRP จะแสดงในรูปแบบของทิศทางการเดินรถจากคลังสินค้าไปยังลูกค้า ณ จุดต่างๆ ดังภาพประกอบ 3

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 3 ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (Vehicle Routing Problem)

โครงสร้างของรูปแบบปัญหาแทนด้วย $G = (V, A)$ โดยที่ $V = \{\upsilon_1, \upsilon_2, \upsilon_3, ..., \upsilon_n\}$ แทนเซตของปม (Nodes) υ_1 แทนคลังสินค้า และ υ อื่นๆ แทนตำแหน่งของลูกค้าแต่ละราย และ A แทนเส้นเชื่อมระหว่างคลังสินค้าไปยังลูกค้าแต่ที่จุด และระหว่างลูกค้า υ_i ไปยังลูกค้า υ_j โดยที่ $i \neq j$

วิธีการที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหา VRP สามารถแบ่งได้ดังนี้

1. วิธีแม่นตรง (Exact Method)

เป็นวิธีการคำนวณทุกทางเลือกของผลเฉลย แล้วจึงเลือกผลเฉลยที่ให้ค่าที่ดีที่สุด เช่น วิธีการขยายและจำกัดเขต (Branch and Bound) (Fisher, 1993) ซึ่งเหมาะสมสำหรับปัญหา VRP ที่มีจำนวนลูกค้าไม่เกิน 100 ปม วิธีกำหนดการเชิงพลวัต (Dynamic Programming) และขั้นตอนวิธีการการตัดระนาบ (Cutting Plane Algorithm) เป็นต้น Agarwal *et al.* (1989) ได้นำเสนอวิธีการแบ่งส่วนของเซตผลเฉลย (Set Partitioning) บนพื้นฐานของวิธีแม่นตรงเพื่อแก้ปัญหา VRPส่วนการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการอื่นๆ ที่เกี่ยวข้องได้มีการอธิบายในรายละเอียดโดย Christofides *et al.* (1985); Laporte (1992) ข้อด้อยของวิธีแม่นตรง คือ เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่เพิ่มมากขึ้น วิธีการอาจ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ไม่สามารถรับประกันการหาค่าเหมาะที่สุด (Optimization) ได้ เมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น (มากกว่า 100 ปม) รวมทั้งใช้เวลานานในการประมวลผลด้วยคอมพิวเตอร์ซึ่งเป็นการสิ้นเปลืองทรัพยากรโดยใช่เหตุ

2. วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristic Method)

เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียง ภายในเวลาจำกัด หรือ “Good enough and fast enough solution” ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหาเอ็นพี-สมบูรณ์ วิธีฮิวริสติกส์ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้นวิธีฮิวริสติกส์ที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่งจึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ ในบางปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก การสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อาจกระทำได้ยาก จึงไม่สามารถใช้วิธีแม่นตรง หรือใช้เทคนิคบางอย่างจากวิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ได้

วิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารถเขียนขั้นตอนวิธีในการหาผลเฉลยที่ชัดเจนได้ เช่น ปัญหาไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ครอบคลุมผลเฉลยที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด หรือปัญหาที่ไม่มีขั้นตอนวิธีการใดๆ สามารถหาค่าที่เหมาะที่สุดได้ ในหลายกรณี ที่นักวิจัยพยายามที่จะแก้ไขปัญหาที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์นี้ โดยไม่พิจารณาเงื่อนไขบางประการ หรือตั้งสมมุติฐานของปัญหาให้ง่ายขึ้น เพื่อให้ปัญหามีโครงสร้างที่สมบูรณ์ และสามารถนำวิธีการที่มีอยู่มาประยุกต์ใช้เพื่อหาค่าที่เหมาะที่สุด ตัวอย่างของวิธีการนี้พัฒนาขึ้นโดย Fisher and Jaikumar (1981); Christofides *et al.* (1981) ได้อธิบายการใช้วิธีการผ่อนปรนแบบลากรานจ์เจียน (Lagrangean Relaxation) สำหรับปัญหา VRP และในกรณีที่ปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก ถึงแม้บางปัญหาสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งมักพบโดยทั่วไปในปัญหาของภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัตินักวางแผนอาจไม่ต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ต้องการผลเฉลยที่ดีเพียงพอที่สามารถหาได้ภายในเวลาที่กำหนด และด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยากซับซ้อนมากนัก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า นักวางแผนต้องการค่าฟังก์ชันวัตถุประสงค์ที่ดีที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข ทั้งนี้โดยทั่วไปนักวางแผนมักมีผลเฉลย หรือทางเลือกอยู่ในใจอยู่แล้ว แต่

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ต้องการเพียงเครื่องมือหรือขั้นตอนวิธีการที่จะสนับสนุนทางเลือกนั้นๆ หรือใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจนั่นเอง (ฉกร, 2548)

ในกรณีปัญหา VRP จัดเป็นปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Optimization) ซึ่งสามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ด้วยรูปแบบที่ยุ่งยากซับซ้อน การประยุกต์ใช้วิธีแม่นตรง หรือใช้เทคนิค LP อาจกระทำได้ยาก หรือไม่สามารถกระทำได้เลย เมื่อจำนวนตัวแปรตัดสินใจเพิ่มจำนวนมากขึ้นอย่างรวดเร็ว จนบางครั้งอาจไม่สามารถหาขอบเขตต่ำสุดและสูงสุดได้ วิธีฮิวริสติกส์จึงน่าจะเป็นวิธีการที่เหมาะสมสำหรับปัญหา VRP ในขณะนี้ โดยวิธีฮิวริสติกส์ที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหา VRP ประกอบด้วย

2.1 วิธีการสร้างผลเฉลย (Constructive Method) เป็นวิธีการที่ไม่สามารถรับประกันการหาค่าเหมาะที่สุดได้ วิธีการนี้อาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลย ตัวอย่างของวิธีการนี้ที่ได้รับความนิยม และได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่ วิธีการเซฟวิ่งหรือการแทรก (Savings or Insertion Procedure) ซึ่งพัฒนาขึ้นโดย Clarke and Wright (1964) สำหรับแก้ปัญหา VRP โดยเฉพาะ วิธีการนี้เป็นการสร้างผลเฉลยทีละขั้นตอน โดยเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้นซึ่งอาจยังมีความเป็นไปไม่ได้ และสร้างผลเฉลยในลำดับถัดมาที่ทำให้ฟังก์ชั่นของการเซฟวิ่งมีค่าเพิ่มมากขึ้น หรือเลือกแทรกลูกค้าเข้ามาในเส้นทางเดิมที่มีอยู่ โดยที่ความต้องการรวมต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง การแทรกจะเกิดขึ้นเรื่อยๆ จนกระทั่งได้เส้นทางที่เหมาะสมที่สุด โดยขั้นตอนมีดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 คำนวณค่า $S_{ij} = C_{1j} + C_{1i} - C_{ij}$ สำหรับทุกคู่ของลูกค้า i และ j โดยที่ $i, j = 2,3,...,n$ และ S_{ij} คือ ต้นทุนที่สามารถประหยัดได้จากผลของการเชื่อมโยงปม (i, j) ทำให้เกิดเส้นทาง $(1, i, j, 1)$ แทนการเสียต้นทุนในการเดินทาง 2 เส้นทาง คือ $(1, i, 1)$ และ $(1, j, 1)$

ภาพประกอบ 4 a เส้นทางการเดินรถแบบเดิม และ b เส้นทางการเดินรถแบบเซฟวิ่ง

ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับค่า S_{ij} จากมากไปหาน้อย
ขั้นตอนที่ 3 เริ่มต้นสลับสับเปลี่ยนจากค่า S_{ij} ที่มีค่ามากไปหาน้อย หรือจากบนลงล่าง

เวอร์ชั่นขนาน (Parallel Version)

ขั้นตอนที่ 4 ถ้าการเชื่อมโยงปมมีความเป็นไปได้และอยู่ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด ให้ยอมรับการเชื่อมโยงปมนั้นๆ หากมิใช่ให้ทำการปฏิเสธ
ขั้นตอนที่ 5 ทำการเชื่อมโยงปมต่อไป (ทำซ้ำขั้นตอนที่ 4) จนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงได้อีก หรือไม่เป็นไม่ตามเงื่อนไข

เวอร์ชั่นตามลำดับ (Sequential Version)

ขั้นตอนที่ 4 ค้นหาการเชื่อมโยงปมแรกที่มีความเป็นไปได้ ซึ่งสามารถใช้ได้ตั้งแต่ปม 1 และสิ้นสุดที่ปม 2
ขั้นตอนที่ 5 ถ้าเส้นทางไม่สามารถขยายต่อได้ เป็นอันสิ้นสุดการจัดเส้นทาง จากนั้นจึงเลือกเชื่อมโยงเส้นทางที่เป็นไปได้เส้นใหม่ตามลำดับ
ขั้นตอนที่ 6 ทำซ้ำขั้นตอน 4 และ 5 จนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้อีก

พฤติกรรมในกรณีที่แย่ที่สุดสำหรับวิธีการนี้ คือ ข้อจำกัดโดยฟังก์ชั่นเส้นตรง $\log_2(n)$ การคำนวณค่า S_{ij} ในขั้นตอนที่ 2 ต้องการการคำนวณทั้งสิ้น cn^2 โดยที่ c คือ ค่าคงที่ ในขั้นตอนที่ 3 ต้องการ $cn^2 \log(n)$ ขั้นตอนที่ 4 คือ n^2 ดังนั้นขั้นตอนวิธีการของ Clark and Wright (1964) ต้องการการคำนวณทั้งสิ้น $n^2 \log_2(n)$

2.2 ขั้นตอนวิธีการ 2-ช่วง (Two-Phase Algorithm) เป็นวิธีการที่แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 ส่วน คือ การแบ่งกลุ่มลูกค้าเข้าสู่เส้นทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไข และการจัดลำดับเส้นทางเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ขั้นตอนวิธีการนี้ถูกแบ่งเป็น 2 วิธี คือ

2.2.1 วิธีการแบ่งส่วนก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง (Cluster-First Rout-Second Procedures) โดยเริ่มต้นจากการแบ่งกลุ่มลูกค้าโดยใช้ความต้องการสินค้าของลูกค้าเป็นตัวกำหนดโซนในการกระจายสินค้า จากนั้นจึงจัดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับแต่ละส่วนที่ถูกแบ่งไว้แล้ว (Gillet and Miller, 1974)

2.2.2 วิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน (Rout-First Cluster-Second Procedures) เป็นการกำหนดเส้นทางในการเดินรถขนส่งก่อน แล้วจึงจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางภายใต้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

เงื่อนไขของปัญหา ขั้นตอนวิธีการนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหา VRP ในกรณีที่มีรถขนส่งหลายขนาด (Golden *et al.*, 1983)

2.3 วิธีการปรับปรุงหรือสลับสับเปลี่ยน (Improvement or Exchange Procedure) เป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมบนเส้นทางแบบฮิวริสติกส์ ซึ่งให้ผลเฉลยที่เข้าใกล้ค่าที่เหมาะสมที่สุด ส่วนการปรับปรุงโดยวิธีอื่น ได้นำเสนอไว้โดย Potvin and Rousseau (1995) เรียกว่า “การสลับสับเปลี่ยนแบบออร์-ออฟท์ (Or-Opt Exchange) ซึ่งเป็นเทคนิคการสลับสับเปลี่ยนปมขนาด 1, 2 หรือ 3 ปม โดยการแทรกหรือตัดทิ้งไปจากเส้นทางเดิม หรือในเส้นทางอื่นๆ ที่เลือกพิจารณา วิธีการ 2 ออฟท์ เป็นการสลับสับเปลี่ยน 2 ปม ที่เกิดจาก 2 เส้นทางที่แตกต่างกัน

จากงานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่าวิธีฮิวริสติกส์ยังคงเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหา VRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ปัจจุบันปัญหา VRP จะถูกดัดแปลงเพิ่มเติมไปจากรูปแบบปัญหาดั้งเดิม ความซับซ้อนจึงมีมากขึ้น ในขณะเดียวกันวิธีการฮิวริสติกส์ยังคงได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมตามความเป็นจริงในยุคปัจจุบันด้วย ดังเช่นในงานวิจัยของ Hashimoto *et al.* (2008) ได้เสนอวิธีฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหา VRP แบบมีกรอบเวลา Imran *et al.* (2009) ได้เสนอวิธีการแบบมีรถขนส่งหลายขนาด Dror and Trudeau (1990) เสนอวิธีการส่งแบบแยกส่งสินค้าได้เพื่อประหยัดทั้งราคาและเวลา

วิธีฮิวริสติกส์เป็นวิธีที่พัฒนาขึ้นเพื่อหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในแต่ละปัญหา วิธีฮิวริสติกส์ที่มีประสิทธิภาพในการหาผลเฉลยของปัญหาหนึ่งอาจไม่สามารถหาผลเฉลยในปัญหาอื่นๆ ได้ หรือแม้กระทั่งนำไปใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาเดิมที่มีฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และเงื่อนไขของปัญหาเปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น การพัฒนาวิธี ฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นมากขึ้น และสามารถดัดแปลงเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาใดๆ ได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพ ซึ่งในหัวข้อถัดไปได้กล่าวถึงขั้นตอนวิธีการเมต้าฮิวริสติกส์ ซึ่งเป็นวิธีที่พัฒนามาจากวิธีฮิวริสติกส์

3. วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ (Meta-Heuristic Method)

เป็นวิธีที่ได้จากการพัฒนาและดัดแปลงวิธีฮิวริสติกส์ให้มีความยืดหยุ่นในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจใดๆ ที่มีความซับซ้อนและมีตัวแปรตัดสินใจจำนวนมาก ได้อย่างรวดเร็ว และมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ผลเฉลยที่ได้อาจไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะที่สุด หรือไม่

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

สามารถรับประกันผลเฉลยที่ดีในทุกครั้งที่ทำการประมวลผลได้ แต่ผลเฉลยที่ได้เป็นที่ยอมรับ และค้นหาได้ภายในระยะเวลาอันเหมาะสม จึงเป็นที่นิยมอย่างกว้างขวางในงานวิจัยทุกแขนง ซึ่งในหัวข้อนี้จะขอกล่าวเฉพาะวิธีที่ได้รับความนิยมในการแก้ปัญหา VRP อันประกอบด้วย

3.1 ขั้นตอนวิธีการจำลองการอบอ่อน (Simulated Annealing Algorithm) ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจ เริ่มต้นครั้งแรกเมื่อประมาณ ค.ศ. 1980 ลักษณะเด่นของวิธีการนี้ คือ มีขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยที่ง่าย และมีประสิทธิภาพ ซึ่งสามารถหาผลเฉลยที่ดีได้ภายในเวลาอันรวดเร็ว แนวคิดพื้นฐานของวิธี SA ได้ถูกตีพิมพ์ครั้งแรกในวารสารวิชาการโดย Metropolis *et al.* (1953) ซึ่งเป็นการใช้ขั้นตอนวิธีการจำลองการควบคุมการเย็นตัวลงของวัสดุในอ่างความร้อน (Heat Bath) ซึ่งเรียกขั้นตอนนี้ว่าการอบอ่อน (Annealing) วัสดุจะถูกให้ความร้อนจนกระทั่งถึงจุดหลอมเหลว ต่อจากนั้นเมื่อเวลาผ่านไปอุณหภูมิของวัสดุจะค่อยๆ ลดลง และทำให้วัสดุมีความแข็งเมื่อเย็นตัวลง โครงสร้างคุณสมบัติของวัสดุที่เย็นตัวลงนี้จะขึ้นอยู่กับอัตราการทำให้วัสดุนั้นเย็นตัวลง (Rate of Cooling)

ขั้นตอนวิธีการของ Metropolis นี้ได้จำลองการเปลี่ยนแปลงพลังงานของระบบที่แปรผัน โดยกระบวนการเย็นตัวจนกระทั่งการเปลี่ยนแปลงนั้นลู่เข้าสู่สภาวะคงที่ ประมาณ 30 ปีต่อมา ได้มีการนำขั้นตอนวิธีการดังกล่าวมาใช้ในการแก้ปัญหาการตัดสินใจที่ต้องการหาค่าเหมาะต่ำสุดหรือสูงสุด ซึ่งเปรียบเสมือนว่า ผลเฉลยที่ได้จากวิธี SA จะค่อยๆ ลู่เข้าสู่ผลเฉลยที่ดีที่สุดเหมือนในช่วงเวลาการเย็นตัวลงของวัสดุ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

SA มีลักษณะคล้ายกับวิธีการหาผลเฉลยแบบเฉพาะที่ (Local Search) จุดอ่อนที่สำคัญของ SA คือ การได้ค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ (Local Optima) การแก้ปัญหานี้ในขั้นตอนวิธีการโดยใช้การควบคุมอุณหภูมิที่มีลักษณะเป็นเทอร์โมไดนามิค ซึ่งกฎของเทอร์โมไดนามิคกล่าวว่า ณ ที่อุณหภูมิ υ ความน่าจะเป็นในการยอมรับการเปลี่ยนแปลงของพลังงาน (Energy Change or ΔE) มีค่าเท่ากับ $P_{accept} = \exp\left(\frac{-\Delta E}{k_B \upsilon}\right)$ โดยที่ k_B คือ ค่าคงที่โบล์ทซแมน (Boltzmann) ขั้นตอนวิธีการ SA มีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างเส้นทางเริ่มต้น เลือกอุณหภูมิเริ่มต้น $\upsilon = 0$ และรอบการทำซ้ำ r

ขั้นตอนที่ 2 กรณีไม่เป็นไปตามเงื่อนไขการหยุด ให้ทำตามขั้นตอนต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 2.1 ทำซ้ำ r รอบต่อไป

ขั้นตอนที่ 2.1.1 ปรับปรุงตัวเลขสุ่มของเส้นทางปัจจุบันให้เป็น (T') และกำหนด $\Delta = c(T') - c(T)$

ขั้นตอนที่ 2.1.2 เปรียบเทียบเลขสุ่ม $X, 0 \le X \le 1$

ขั้นตอนที่ 2.1.3 ถ้า $\Delta < 0$ หรือ $X < \exp\left(\frac{-\Delta}{\upsilon}\right)$

ขั้นตอนที่ 2.2 ปรับปรุงค่า υ และ r

ขั้นตอนที่ 3 ผลเฉลยที่ได้จากการแก้ปัญหา

3.2 ขั้นตอนวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) วิธี TS เป็นวิธีที่ค่อนข้างได้รับความนิยมอย่างมาก เพราะมีโครงสร้างของขั้นตอนวิธีการที่ไม่ซับซ้อนมากนัก และจากผลการวิจัยจำนวนมากสรุปว่า วิธี TS มีประสิทธิภาพมากกว่า SA ข้อแตกต่างที่เด่นชัดระหว่าง 2 วิธีนี้ คือ วิธี TS แก้ปัญหาการยอมรับค่าเหมาะสุดเฉพาะที่ โดยป้องกันไม่ให้มีการเกิดขึ้น (Pro-Active) แต่วิธี SA เป็นแก้ไขปัญหาเมื่อเกิดขึ้นแล้ว (Post-Active)

ความหมายของคำว่าทาบู (Tabu หรือ Taboo) ในขั้นตอนวิธีการทางคอมพิวเตอร์นั้น หมายถึง การห้ามหรือป้องกันขั้นตอนวิธีการเข้าไปยังผลเฉลยข้างเคียงที่ไม่ต้องการ โดยแนวคิดสำคัญ คือ การเพิ่มความฉลาด ซึ่งใช้ความทรงจำของคอมพิวเตอร์มาเกี่ยวข้อง คอมพิวเตอร์จะเรียนรู้จากรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา (Search History) ในการแนะนำ หรือบอกทิศทางของผลเฉลยที่ดี หรือดีที่สุดในรอบการกระทำซ้ำถัดไปข้างหน้า

Glover (1989) เป็นผู้ริเริ่มขั้นตอนวิธีการ TS ซึ่งเป็นเทคนิคการประมาณค่าสำหรับการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่ดี เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ด้วยความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการคลาสสิกอื่นๆ TS เป็นการผสมผสานระหว่างการวนซ้ำเชิงกำหนด (Deterministic) และแบบความน่าจะเป็นเพื่อการยอมรับ ลักษณะการค้นหาเป็นแบบทางตรง คือ เมื่อเจอค่าต่ำสุดเฉพาะที่แล้วจึงเลื่อนไปตามผลเฉลยข้างเคียง หากพบว่าผลเฉลยนั้นให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น จะทำการปรับปรุงให้เป็นผลเฉลยปัจจุบัน หากพบว่าผลเฉลยแย่ลงกว่าเดิม ผลเฉลยนั้นจะถูกป้องกันด้วยวิธีการทาบู เพื่อไม่ให้มีการเลือกซ้ำได้อีก ซึ่งขั้นตอนวิธีการนี้จะทำการปรับปรุงผลเฉลยให้มีการเคลื่อนไหวอย่างต่อเนื่อง TS อาจยังไม่เป็นที่ยอมรับสำหรับวิธีการวนซ้ำแบบเพิ่มค่าที

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ละน้อย แต่อย่างไรก็ตามการออกแบบ TS เพื่อไม่ให้เลือกผลเฉลยที่ได้รับการปฏิเสธแล้วซ้ำอีกอาจเป็นประโยชน์ต่อการค้นหาเมื่อเทียบกับวิธีอื่นๆ โดยขั้นตอนทั่วไปของ TS เป็นดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างผลเฉลยเริ่มต้น x และกำหนดให้ $x^* = x, k = 0$

ขั้นตอนที่ 2 กำหนดค่า $k = k + 1$ และสร้างเซตย่อย V^* ของผลเฉลยใน $N(x, k)$ เป็นผลเฉลยข้างเคียงสำหรับการวนซ้ำครั้งที่ k

ขั้นตอนที่ 3 เลือกค่า $y \in V^*$ ที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไข ปรับปรุงผลเฉลย และกำหนดให้ $x = y$

ขั้นตอนที่ 4 ถ้า $f(x) < f(x^*)$ ให้กำหนดค่า $x^* = x$

ขั้นตอนที่ 5 หยุด เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขของการหยุด ไม่เช่นนั้นให้กลับไปที่ขั้นตอนที่ 2

3.3 ขั้นตอนวิธีการของ Willard (Willard's Algorithm) Willard เป็นหนึ่งในนักวิจัยชุดแรกๆ ที่พยายามประยุกต์ใช้วิธีการ TS ในการแก้ปัญหา VRP วิธีการนี้เริ่มจากการแปลงให้เป็นเส้นทางขนาดใหญ่ด้วยการทำซ้ำของแต่ละคลังสินค้า การหาผลเฉลยข้างเคียงกระทำโดยหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดด้วยวิธีการสลับสับเปลี่ยนแบบ 2-ออฟท์ หรือ 3-ออฟท์ (Gendreau *et al.*, 1999)

3.4 ขั้นตอนวิธีการของ Osman (Osman's Algorithm) Osman ได้นำวิธีการค้นหาผลเฉลยข้างเคียงโดยใช้วิธีสลับสับเปลี่ยนค่า λ ร่วมกับการสลับสับเปลี่ยนแบบ 2-ออฟท์ เพื่อจัดปมลูกค้าเข้าสู่เส้นทางที่แตกต่างกัน ซึ่งการสลับสับเปลี่ยนระหว่างเส้นทาง 2 เส้น เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น จะใช้ขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า "การยอมรับได้ที่ดีที่สุด (Best-Admissible)" โดยผลเฉลยข้างเคียงทั้งหมดจะถูกสำรวจ และเลือกจากค่าผลเฉลยที่เป็นไปได้และดีที่สุด ส่วนขั้นตอนวิธีการอื่นที่พัฒนาต่อมาเรียกว่า "การยอมรับได้ที่ดีที่สุดในครั้งแรก (First-Best-Admissible)" โดยหลักการคือ การปรับปรุงค่าการยอมรับได้ในครั้งแรกจะถูกเลือก เมื่อมีค่าหนึ่งเกิดขึ้นก่อนหน้าแล้ว

3.5 วิธีการจัดเส้นทางแบบทาบู (Tabu Route) วิธีการจัดเส้นทางแบบทาบูพัฒนาขึ้นสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางโดยเฉพาะ ซึ่งมีลักษณะที่แตกต่างจาก TS ดังนี้ (Gendreau *et al.*, 1999)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

3.5.1 โครงสร้างของผลเฉลยข้างเคียง นิยามจากผลเฉลยทั้งหมดที่สามารถหาได้จากผลเฉลยในปัจจุบัน โดยการย้ายปมลูกค้าจากเส้นทางหนึ่งไปแทรกอีกเส้นทางหนึ่งที่ใกล้เคียง โดยใช้หลักการ GENI

3.5.2 ขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยอาจมีความเป็นไปไม่ได้ต่อความสามารถของรถขนส่ง หรือเงื่อนไขระยะทางที่มากที่สุด

3.5.3 วิธีการจัดเส้นทางแบบทาบูไม่ได้ใช้รายการทาบู (Tabu List) ที่บันทึกไว้ตามลำดับ แต่มีวิธีการเลือกแบบสุ่ม

3.5.4 วิธีการจัดเส้นทางแบบทาบูใช้กลยุทธ์ในการสลับสับเปลี่ยน โดยพิจารณาจากค่าปรับ (Penalizing) ของการโยกย้ายแต่ละปม

3.6 ขั้นตอนวิธีการของ Taillard (Taillard's Algorithm) Taillard ได้นำคุณลักษณะของ TABUROUTE ที่มีวิธีการเลือกแบบสุ่ม และใช้กลยุทธ์การสลับสับเปลี่ยน วิธีการนี้หาผลเฉลยข้างเคียงโดยใช้การสลับสับเปลี่ยนค่า λ คล้ายกับขั้นตอนวิธีการของ Osman และแทนวิธีการแทรกด้วยวิธี GENI (Gendreau *et al.*, 1999)

3.7 ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm) กลวิธีนี้อาศัยหลักการและทฤษฎีจากการทำให้เกิดพันธุกรรมประชากร ในการสร้างขั้นตอนวิธีการที่เลียนแบบพฤติกรรมดังกล่าว โดยวิธีการจับคู่และการเกิดใหม่ของยีนส์เพื่อให้ได้ผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุด ขั้นตอนทั่วไปของขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมมีดังต่อไปนี้ (Thangiah *et al.*, 1999); (Aarts and Lenstra, 1997); (Muhlenbein, 1997)

ขั้นตอนที่ 1 (เริ่มต้น) สร้างกลุ่มประชากรเริ่มต้นจำนวน n ผลเฉลย

ขั้นตอนที่ 2 (ปรับปรุง) ใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่ โดยวิธีแทนประชากรจำนวน n ผลเฉลย ด้วยค่าเหมาะสมเฉพาะที่ n

ขั้นตอนที่ 3 (การรวมกัน) ขยายขนาดจำนวนประชากรโดยเพิ่ม m ผลเฉลยของการเกิดประชากรกลุ่มใหม่ ซึ่งขนาดของจำนวนประชากรปัจจุบันเท่ากับ $n+m$

ขั้นตอนที่ 4 (ปรับปรุง) ใช้วิธีการค้นหาเฉพาะที่แทน m ผลเฉลยของการเกิดประชากรกลุ่มใหม่ด้วยค่าเหมาะสมเฉพาะที่ m

ขั้นตอนที่ 5 (เลือก) ลดจำนวนประชากรลงสู่ขนาดเดิม โดยเลือก n ผลเฉลยจากประชากรปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 6 (การเกิดใหม่) ทำซ้ำขั้นตอนที่ 3 ถึง 5 จนกระทั่งบรรลุเงื่อนไขของการหยุด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3.8 ขั้นตอนวิธีการ GIDEON จัดอยู่ในกลุ่มของ GA สำหรับปัญหา VRPTW ที่มีเงื่อนไขของความสามารถในการบรรทุกสินค้า โดยใช้วิธีการในการแบ่งกลุ่มก่อนแล้วจึงจัดเส้นทาง ในกรณีนี้ GA ถูกประยุกต์ใช้ในเฟสของการแบ่งกลุ่ม เรียกว่า “การแบ่งกลุ่มแบบ GA” เป็นการแบ่งส่วนของปมออกเป็นส่วนๆ หรือแบ่งโดยมีศูนย์กลางอยู่ที่คลังสินค้า คล้ายกับ “ขั้นตอนวิธีการแบบกวาด (Sweep Algorithm)” (Thangiah, 1995); (Gendreau *et al.*, 1999)

3.9 ขั้นตอนวิธีการ GENEROUS จัดอยู่ในกลุ่มของ GA เช่นเดียวกับ GIDEON ใช้สำหรับปัญหา VRPTW ขั้นตอนวิธีการนี้หลีกเลี่ยงความยุ่งยากที่เกิดจากขั้นตอนการกำหนดรหัส (Encoding) ของผลเฉลยเพื่อเข้าสู่การแบ่งโครโมโซม โดยใช้วิธีการผสมยีนส์แบบข้ามฟาก (Crossover) และแบบผ่าเหล่า (Mutation) ของผลเฉลย โดยผลเฉลยใหม่จะถูกสร้างขึ้นจากประชากรรุ่นบรรพบุรุษ (Parent Population) จำนวน 2 ตัว เป็นการเชื่อมโยงระหว่างปมแรกบนเส้นทางของผลเฉลยรุ่นบรรพบุรุษตัวที่ 1 กับปมสุดท้ายของผลเฉลยรุ่นบรรพบุรุษตัวที่ 2 คล้ายกับขั้นตอนการวิธีการสลับสับเปลี่ยนแบบ 2-ออฟท์ เส้นทางใหม่จะถูกแทนที่ของเดิมในกลุ่มประชากรอันดับต่อมา คือ วิธีการผสมยีนส์แบบผ่าเหล่า ซึ่งสามารถสร้างได้โดยการสลับเป็นตรงกันข้ามของผลเฉลยรุ่นบรรพบุรุษ (Gendreau *et al.*, 1999)

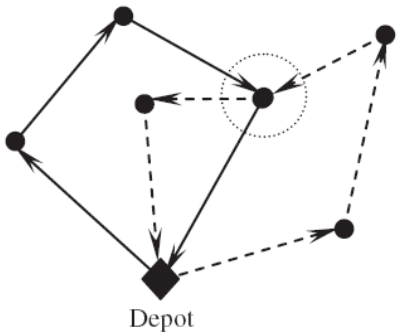
3.10 ขั้นตอนวิธีการโครงข่ายนิวรอน (Neural Nets Algorithm) การใช้โครงข่ายนิวรอนเทียม ในการหาค่าเหมาะที่สุดสำหรับปัญหาเชิงการจัดนี้ เริ่มได้รับความสนใจอย่างแพร่หลายในระยะหลัง (Aarts and Lenstra, 1997); (Peterson, 1997) โครงข่ายนิวรอน ประกอบขึ้นจากโครงข่ายของปมซึ่งเชื่อมต่อกันด้วยค่าน้ำหนัก แต่ละปมเป็นตัวแทนในแต่ละหน่วยของการจัดคู่ ซึ่งสามารถสร้างขึ้นจากการคำนวณแบบง่ายๆ เกิดจากผลรวมของค่าน้ำหนัก และบวกด้วยค่าคงที่ที่เรียกว่า “Threshold” หรือ “Bias” สามารถประยุกต์ใช้กับฟังก์ชั่นไม่เชิงเส้น (Non-Linear Function) ได้ ผลการคำนวณจะทำให้เกิดหน่วยของเอาท์พุต ซึ่งจะใช้เป็นอินพุตสำหรับปมที่เชื่อมโยงต่อไป จนกระทั่งงานทั้งหมดของโครงข่ายได้รับการจัดรูปร่างจนสำเร็จ ด้วยความสัมพันธ์ของการทำงานระหว่างอินพุตและเอาท์พุตนี้ ทำให้กระบวนการนี้ถูกเรียกว่า “กระบวนการการจัดการตัวเอง (Self-Organization Processes)”

3.11 ขั้นตอนวิธีการฝูงมด (Ant Colony Algorithm) เป็นการจำลองพฤติกรรมในการหาอาหารของมด นำเสนอไว้โดย Dorigo *et al.* (1996) ซึ่งเป็นเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการหาค่าเหมาะที่สุดเชิงการจัดแบบยาก ที่เริ่มต้นมาจากปัญหา TSP โดยขั้นตอนวิธีการนี้ เป็นการ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

สังเกตพฤติกรรมของฝูงมดในการค้นหาอาหาร ซึ่งมดจะมีการติดต่อสื่อสารส่งผ่านข้อมูลเกี่ยวกับแหล่งอาหารด้วยฟีโรโมน (Pheromone) โดยมดจะทำสัญลักษณ์ตามเส้นทางที่เดินผ่านด้วยฟีโรโมนนี้ ซึ่งจะมีจำนวนมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับระยะทางและคุณภาพของแหล่งอาหารที่ค้นพบ โดยมดตัวอื่นๆ จะตามรอยฟีโรโมนมายังแหล่งอาหารในที่สุด จากพฤติกรรมของมดดังกล่าว ถูกนำมาสร้างเป็นขั้นตอนวิธีการในการแก้ปัญหาการหาเชิงการจัดเพื่อหาค่าเหมาะที่สุด ในการจำลองพฤติกรรมนี้ มดเทียมจะถูกสร้างขึ้นให้คล้ายคลึงกับสภาวะแวดล้อมในการค้นหาพื้นที่ของผลเฉลยวัตถุประสงค์ คือ ค้นหาให้เจอแหล่งอาหารที่มีคุณภาพ และดัดแปลงความจำไว้ที่ฟีโรโมน โดยมดเทียมนี้สร้างขึ้นจากฟังก์ชั่นฮิวริสติกส์เฉพาะที่ เพื่อเป็นแนวทางในการค้นหาเซตผลเฉลยที่เป็นไปได้ต่อไป

จากการตรวจเอกสารที่เกี่ยวข้องกับขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์พบว่า ยังมีวิธีอื่นอีกมายมายนอกเหนือจากที่ได้นำเสนอในหัวข้อที่ 3 นี้ แสดงให้เห็นว่าความนิยมใช้ขั้นตอนวิธีนี้ในการแก้ปัญหายังคงได้รับความสนใจอย่างกว้างขวาง มีการพัฒนาปรับปรุงให้มีประสิทธิภาพในการหาค่าเหมาะที่สุดอย่างต่อเนื่อง เช่น ในการแก้ปัญหา VRP แบบมีรถหลายขนาดนั้น Gendreau *et al.* (1999) ใช้วิธีการค้นหาแบบทาบู โดยขั้นแรกใช้วิธี GENIUS จากนั้นใช้วิธี Adaptive Memory Procedure (AMP) จากนั้น Tarantilis *et al.* (2004) ใช้วิธีที่เรียกว่า backtracking adaptive threshold accepting (BATA) ซึ่งผลที่ได้ค่อนข้างมีประสิทธิภาพ



ภาพประกอบ 5 ปัญหาการขนส่งแบบแยกส่งสินค้าได้ (Split Delivery)

วิธี SA และ TS ได้ถูกพัฒนาขึ้นในช่วงแรกๆ เพื่อนำมาใช้ในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขจำนวนมาก ทั้งวิธี SA และ TS มีจุดกำเนิดและแนวคิดแบบวิธีการหาผลเฉลยเฉพาะที่ ลักษณะเด่น 2 ประการ คือ การหลีกเลี่ยงปัญหาการตกอยู่ในผล

เฉลยที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข แต่มีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ไม่ดี (Poor Feasible Solution) หรือกล่าวอีกนัยหนึ่ง คือ ผลเฉลยที่ได้อยู่ห่างจากค่าเหมาะที่สุด ซึ่งเรียกปัญหานี้ว่าค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ซึ่งวิธี SA จะแก้ปัญหาโดยอนุญาตให้ขั้นตอนวิธีการออกจากจุดเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ด้วยความน่าจะเป็น ส่วนวิธี TS ใช้หน่วยความจำทาบู เพื่อป้องกันไม่ให้ขั้นตอนวิธีการเลือกผลเฉลยที่ไม่ดีในรอบการกระทำซ้ำที่ผ่านมา ลักษณะเด่นประการที่ 2 คือ การลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด (Convergence to Optimal Solution) สำหรับวิธี SA เมื่อจำนวนรอบการกระทำซ้ำในการหาผลเฉลยเพิ่มมากขึ้น ผลเฉลยที่ได้ในปัจจุบันจะค่อยๆลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด โดยอาศัยพื้นฐานทฤษฎีความน่าจะเป็น ส่วนวิธี TS การลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุดกระทำได้โดยการกำหนดค่าคงที่ (Fix Value) ของตัวแปรที่เคยให้ผลเฉลยที่ดีไว้ในหน่วยความจำทาบู เมื่อขั้นตอนวิธีการเจอคำตอบที่ดีกว่า ตัวแปรที่เก็บค่าผลเฉลยที่ดีน้อยกว่าจะถูกลบออกจากหน่วยความจำ ทำให้ผลเฉลยที่ได้ ณ รอบการกระทำซ้ำปัจจุบันลู่เข้าหาค่าเหมาะที่สุด

วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่ถูกพัฒนาขึ้นหลังจากสองวิธีแรก คือ ขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรม ซึ่งเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางในการหาผลเฉลยสำหรับปัญหาการตัดสินใจในหลายๆ แขนงสาขาวิชา จากขั้นตอนที่ได้นำเสนอในเบื้องต้น สังเกตได้ว่าขั้นตอนวิธีการเชิงพันธุกรรมมีโครงสร้างและส่วนประกอบที่ยุ่งยากซับซ้อนกว่าในขณะที่แนวความคิดไม่แตกต่างเมื่อเปรียบเทียบกับวิธี SA และ TS แต่สุดท้ายแล้ว เมื่อแต่ละวิธีได้ถูกนำไปพัฒนาอย่างเต็มประสิทธิภาพ ผลเฉลยที่ได้จึงไม่แตกต่างกัน (ณกร, 2548)

สำหรับปัญหา VRPTW โดยทั่วไปมีรูปแบบเหมือน VRP แต่เพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนดให้มีการส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (Time Windows) ปัญหาลักษณะนี้ทั่วไปจัดเป็นปัญหาเชิงการจัด (Combinatorial Problem) โดยการจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางการเดินรถเพื่อให้เกิดต้นทุนต่ำสุด หรือเวลาเดินทางสั้นที่สุด ความซับซ้อนแบ่งออกเป็น 2 ส่วนที่สำคัญ ได้แก่ ความซับซ้อนในการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจ (Decision Model) และความซับซ้อนของวิธีการหาผลเฉลย (Solution Method) สำหรับความซับซ้อนของการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจนั้น คือ การที่ปัญหาไม่สามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบจำลองเชิงคณิตศาสตร์อย่างง่าย สั้นและกะทัดรัดเพื่อให้ครอบคลุมฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และเงื่อนไขทั้งหมดของปัญหาได้ หรือแม้ในบางครั้งอาจสามารถเขียนให้อยู่ในรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ได้ แต่ไม่สามารถใช้วิธีทางคณิตศาสตร์มาแก้ปัญหาได้ เนื่อง จากปัญหานี้เป็นการตัดสินใจแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Decision Problem) ถึงแม้จะสร้างขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์เพื่อใช้ในการหาผลเฉลย อาจต้องประสบปัญหาการใช้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

เวลาในการค้นหาผลเฉลย เมื่อลูกค้าและเงื่อนไขของปัญหามีเป็นจำนวนมาก ปัญหา VRPTW จัดเป็นปัญหาเอ็นพีฮาร์ด ที่ใช้เวลาในการหาผลเฉลยเพิ่มขึ้นแบบเลขชี้กำลัง (Exponential) หรือแบบแฟกทอเรียล (Factorial) ในกรณีที่สร้างแบบจำลองโดยใช้ตัวแปรตัดสินใจฐานสอง (Binary Variable) จำนวนตัวแปรเท่ากับ $N^2 \times K$ โดยที่ N คือ จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า และ K คือ จำนวนเส้นทางหรือจำนวนรถขนส่ง เห็นได้ว่าผลเฉลยที่เป็นไปได้มีจำนวนมาก ซึ่งไม่สามารถหาผลเฉลยได้ด้วยวิธีแม่นตรง งานวิจัยส่วนมากจึงนิยมใช้ขั้นตอนวิธีการฮิวริสติกส์ และเมต้าฮิวริสติกส์ ในการแทรกลูกค้าเข้าไปในเส้นทางการเดินรถ และจัดลำดับใหม่ให้ได้ผลเฉลยที่ดีขึ้น ดังเช่น Bent and Van (2006) ใช้วิธีผสมผสานแบบสองขั้น (Two Stage) ในการแก้ปัญหา VRPTW แบบมีรถขนส่งหลายขนาด โดยขั้นแรกใช้วิธี SA เพื่อลดจำนวนเส้นทางลง จากนั้นขั้นที่สองใช้วิธีสืบค้นข้างเคียงขนาดใหญ่ (Large Neighborhood Search: LNS) เพื่อลดค่าใช้จ่ายทั้งหมด และ Brysy *et al*. (2009) นำเสนอการรวมวิธี threshold accepting และวิธี guided local search สำหรับปัญหาขนาดใหญ่ Tan *et al*. (2001) ซึ่งใช้ทั้งวิธี SA, TS และ GA ในการแก้ปัญหา VRPTW Homberger and Gehring (2005) ใช้วิธีผสมผสานแบบสองช่วง (Two Phase) ซึ่งช่วงแรกใช้กลวิธี (μ, λ)-evolution และช่วงที่สองใช้ TS เพื่อลดระยะทางให้สั้นลง ธรินี (2552) ใช้ขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) ในการแก้ปัญหา VRPTW ในกรณีเวลาเดินทางไม่แน่นอน ในงานวิจัยดังกล่าวได้นำปัญหาเทียบเคียงของ Solomon (2005) มาทดลองใช้กับขั้นตอนวิธีการที่พัฒนาขึ้น โดยไม่มีการพิจารณาเงื่อนไขเกี่ยวกับความหลากหลายชนิดของรถขนส่ง (Mix Fleet) และการแบ่งแยกส่งสินค้า (Split Delivery)

ปัจจุบันงานวิจัยทางด้านโลจิสติกส์มีการเพิ่มความซับซ้อนให้เสมือนจริงมากขึ้น โดยเพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับการแบ่งแยกขนส่งสินค้าเข้าไปด้วย เรียกว่าปัญหา VRPTW แบบ Split Delivery หรือ VRPTWSD ซึ่งเป็นการพัฒนากระบวนการให้ใกล้เคียงกับสภาพแวดล้อมปัจจุบันให้มากที่สุด ซึ่งเสนอไว้ในงานวิจัยของ Ho and Haugland (2004) โดยใช้วิธี TS สำหรับจำนวนลูกค้า 100 ปม Frizzellt and Giffin (1995) ใช้วิธี Grid Network สำหรับปัญหา VRPTWSD แบบมีรถหลายขนาด Belfiore and Hugo (2009) ใช้วิธีสืบค้าแบบกระจาย (Scatter Search) แก้ปัญหาที่เกิดขึ้นจริงของบริษัทแห่งหนึ่งในประเทศบราซิล และ Flisberg *et. al* (2009) ใช้วิธีการผสมผสานระหว่างโปรแกรมเชิงเส้นในการหาเส้นทางเดินรถ และใช้วิธี TS ในการรวมเส้นทางเพื่อการใช้รถอย่างมีประสิทธิภาพ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

จากการศึกษาทฤษฎีที่เกี่ยวข้องพบว่า การแก้ปัญหา VRP แบบมีรถหลายขนาดและสามารแยกขนส่งสินค้าได้ ยังมีผู้วิจัยจำนวนไม่มากนัก และสามารถแก้ได้เพียงปัญหาที่มีขนาดเล็ก เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น หรือจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น อาจทำให้ประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีลดลง อีกทั้งปัญหาดังกล่าว เป็นปัญหาจริงที่พบบ่อยในภาคอุตสาหกรรม และต้องการพัฒนาขั้นตอนวิธีในการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 3
ระเบียบวิธีการวิจัย

1.1 แบบแผนทางการวิจัย

งานวิจัยเรื่อง “ขั้นตอนวิธีการสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้” เป็นงานวิจัยเชิงคุณภาพ ประเภทวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ ด้านโลจิสติกส์และซัพพลายเชน (Logistic and Supply Chain) เพื่อเสนอเครื่องมือในการวางแผน และจัดเส้นทางรถขนส่งในภาคอุตสาหกรรมให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด

3.2 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2.1 สร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ ปัญหาในงานวิจัยนี้จัดเป็นปัญหา VRP แบบมีกรอบเวลา (Time Windows) หรือ VRPTW เมื่อพิจารณาเงื่อนไขในกรณีที่มีรถบรรทุกสินค้าหลายขนาดและสามารถแบ่งแยกส่งสินค้าได้ ทำให้ปัญหามีความซับซ้อนมากยิ่งขึ้น การสร้างรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์ จึงประกอบด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และฟังก์ชั่นเงื่อนไขที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว อย่างไรก็ตามการแก้ปัญหาด้วยขั้นตอนวิธีแม่นตรง (Exact Algorithm), กำหนดการไม่เชิงเส้น (Non-Linear Programming) หรือกำหนดการเชิงจำนวนเต็ม (Integer Programming) อาจกระทำได้ยาก เนื่องจากสมการมีเป็นจำนวนมาก และมีความซับซ้อน การแก้ปัญหาทางตรงอาจใช้เวลานาน หรืออาจแก้ปัญหาไม่ได้เลย ซึ่งในหัวข้อนี้ได้แสดงรูปแบบปัญหาเชิงคณิตศาสตร์ เพื่อเป็นแนวทางนำไปสู่การพัฒนาขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ในหัวข้อถัดไป การสร้างรูปแบบเชิงคณิตศาสตร์สำหรับ VRPTW ทั่วไป เป็นการสร้างรูปแบบกำหนดการเชิงกำหนด ดังต่อไปนี้

1) การใช้สัญกรณ์ (Notation) สำหรับปัญหา VRPTW

K : จำนวนรถขนส่งทั้งหมด $k = 1,2,...K$

H : จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน $H = \{1,2,...K\}; k \in H$

N : จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า

C_i : ลูกค้าคนที่ i โดยที่ $i = 2,3..., N$

C_1 : คลังสินค้า

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

d_i : ความต้องการสินค้าของลูกค้า i

y_{ik} : สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้า i ที่แบ่งแยกส่งสินค้าโดยรถขนส่ง k

q_k : ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง k

t_{ij} : เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า i ไปยังลูกค้า j

โดยที่ $i, j = 1,..., N$, $i \neq j$ และ $i, j = 1$ คือ คลังสินค้า

e_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้เร็วที่สุด (Earliest Arrival Time)

l_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest Arrival Time)

A_i : เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า i (Arrival Time)

b_i : เวลาในการให้บริการลูกค้า i (Service Time)

w_{ij} : เวลารอคอยจากลูกค้า i ไป j (Waiting Time)

โดยที่ $w_{ij} = \max[e_j - (A_i + t_{ij}), 0]$, $i, j = 2,..., N$ และ $i \neq j$

M_k : เวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า (Maximum Route Time) โดยที่ $k = 1,2,...K$

2) ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

$$X_{ijk} = \begin{cases} 1 & \text{ถ้ารถขนส่ง } k \text{ ถูกจัดให้ส่งสินค้าจากลูกค้า } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

y_{ik} : สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้า i ที่แบ่งแยกส่งสินค้าโดยรถขนส่ง k

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Z = \min \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k-1}^{K-1} t_{ij} X_{ijk} \qquad (3.1)$$

4) ฟังก์ชั่นเงื่อนไข (Constraints Function)

$$\sum_{k=1}^{K-1} \sum_{j=2}^{N} X_{ijk} = K \qquad \text{สำหรับ } i = 1 \qquad (3.2)$$

$$\sum_{k=1}^{K-1}\sum_{\substack{j=2\\ j\neq i}}^{N} X_{ijk} = 1 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N \qquad (3.3)$$

$$\sum_{\substack{i=1\\ i\neq h}}^{N} X_{ihk} - \sum_{\substack{j=1\\ j\neq h}}^{N} X_{ijk} = 0 \qquad \text{โดยที่ } \forall h \in [1,N]; k \in [1,K-1] \qquad (3.4)$$

$$\sum_{k=1}^{K-1} y_{ik} = 1 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N \qquad (3.5)$$

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N-1 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N; j = 2,3,...,N, i \neq j \qquad (3.6)$$

$$y_{ik} \leq \sum_{k=1}^{K-1}\sum_{\substack{j=2\\ j\neq i}}^{N} X_{ijk} \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N \qquad (3.7)$$

$$ik$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} d_i X_{ijk} \leq q_k \qquad \text{สำหรับ } \forall k \in [1,K-1] \qquad (3.8)$$

$$\sum_{i=1}^{N}\sum_{\substack{j=1\\ j\neq i}}^{N} t_{ij} X_{ijk} \leq M_k \qquad \text{สำหรับ } \forall k \in [1,K-1] \qquad (3.9)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

$$t_0 = 0 \qquad (3.10)$$

$$A_i + X_{ijk}(t_{ij} + b_i + w_{ij}) \leq Ai \qquad \text{สำหรับ } i, j \in [1,N]; i \neq j, k \in [1,K-1] \qquad (3.11)$$

$$e_i \leq t_{ij} \leq l_i \qquad \text{สำหรับ } k \in [1,K-1] \qquad (3.12)$$

$$y_{ik} \geq 0 \qquad \text{สำหรับ } i = 2,3,...,N; \forall k \in [1,K-1] \qquad (3.13)$$

เงื่อนไขในสมการที่ (3.2) ประกันว่าจำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับจำนวนรถขนส่ง เงื่อนไขในสมการที่ (3.3)-(3.4) มีจำนวนรถขนส่ง 1 คันเท่านั้น ที่ไป

รับสินค้าจากลูกค้า และเดินทางกลับยังคลังสินค้าเดิม เมื่อให้บริการลูกค้าในเส้นทางจนครบ เงื่อนไขในสมการที่ 3.6 ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Sub-Tour) ขึ้นในผลเฉลยเงื่อนไขในสมการที่ (3.8) รถขนส่งต้องรับน้ำหนักไม่เกินความสามารถในการบรรทุก เงื่อนไขในสมการที่ (3.9) เวลาทั้งหมดที่รถขนส่งแต่ละคันใช้ในการเดินทางต้องไม่เกินเวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้าเริ่มต้น และเงื่อนไขในสมการที่ (3.10)-(3.12) การขนส่งสินค้าต้องไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไขของกรอบเวลา

สำหรับเงื่อนไขในกรณีแบ่งแยกส่งสินค้าได้ ประกอบด้วยสมการที่ (3.5) ซึ่งรับประกันว่าความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายได้รับบริการตามจำนวนที่ต้องการ โดยสมการที่ (3.7) แสดงให้เห็นว่าความต้องการของลูกค้าแต่ละรายสามารถรับบริการสินค้าจากรถขนส่งได้อย่างน้อย 1 ครั้ง จากรถขนส่งอย่างน้อย 1 คัน

3.2.2 พัฒนาขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ในการพัฒนาขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์การแก้ปัญหา VRPTW นี้ ได้ดัดแปลงขั้นตอนวิธีแบบผสมผสาน (Hybrid Algorithm) เป็นขั้นตอนวิธีที่ผสมผสานระหว่างฮิวริสติกส์และเมต้าฮิว-ริสติกส์ โดยใช้วิธีฮิวริสติกส์การแทรกไปข้างหน้าแบบดัดแปลง หรือ “Modified Push-Forward Insertion Heuristic (MPFIH)” ในการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น และทำการปรับปรุงผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่แบบการสลับสับเปลี่ยนค่าแลมด้า หรือ “λ -Interchange Local Search Descent (λ -LSD)” ซึ่งนำเสนอไว้โดย ธรินี (2552)

การดัดแปลงดังกล่าวเพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามารถประมวลผลได้ในกรณีที่มีรถบรรทุกสินค้าหลายขนาด ซึ่งทราบจำนวน (Number of Vehicles) และความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่แน่นอน (Vehicle Capacity) รวมทั้งในกรณีที่มีความต้องการของลูกค้าเกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า และลูกค้ายินยอมให้มีการแบ่งส่งสินค้าได้ ซึ่งเงื่อนไขดังกล่าวทำให้ขั้นตอนวิธีแบบเดิมไม่สามารถประมวลผลได้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

1) การใช้สัญกร (Notation) สำหรับขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์

K : จำนวนรถขนส่งทั้งหมด $k = 1,2,...K$

H : จำนวนชนิดของรถบรรทุกที่แตกต่างกัน $H = \{1,2,...K\}; k \in H$

N : จำนวนลูกค้าและคลังสินค้า

C_i : ลูกค้าคนที่ i โดยที่ $i = 2,3..., N$

C_1 : คลังสินค้า

d_i : ความต้องการสินค้าของลูกค้า i

D_k : ความต้องการสินค้ารวมสำหรับรถขนส่ง k

q_k : ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง k

t_{ij} : เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า i ไปยังลูกค้า j

โดยที่ $i, j = 1,..., N$, $i \neq j$ และ $i, j = 1$ คือ คลังสินค้า

e_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้เร็วที่สุด (Earliest Arrival Time)

l_i : เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest Arrival Time)

A_i : เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า i (Arrival Time)

b_i : เวลาในการให้บริการลูกค้า i (Service Time)

w_{ij} : เวลารอคอยจากลูกค้า i ไป j (Waiting Time)

โดยที่ $w_{ij} = \max[e_j - (A_i + t_{ij}),0]$, $i, j = 2,..., N$ และ $i \neq j$

M_k : เวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า (Maximum Route Time) โดยที่ $k = 1,2,...K$

R_k : เส้นทางการเดินรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$

W_k : เวลารอคอยรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Waiting Time)

B_k : เวลาให้บริการรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Service Time)

O_k : เวลาล่วงเวลารวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Overtime)

L_k : เวลาล่าช้ารวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Tardiness)

T_k : เวลาเดินทางรวมสำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$ (Total Travel Times)

Tot_k : เวลาเดินทางรวมทั้งหมด (Overall of Total Travel Times)

หรือ $Tot_k = T_k + W_k + B_k$ สำหรับรถขนส่ง k โดยที่ $k = 1,2,...K$

$F(X)$: ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์สำหรับเส้นทาง R_k

α : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลารอคอย

γ : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลาล่าช้า

η : ค่าน้ำหนักโทษสำหรับกรณีเกิดเวลาล่วงเวลา

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

2) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

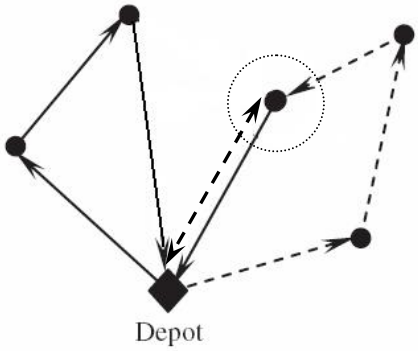
$$F(X) = T_k + (\alpha \times W_k) + (\gamma \times L_k) + (\eta \times O_k) \quad (3.14)$$

สมการที่ 3.14 คือ ฟังชั่นวัตถุประสงค์ ที่แสดงเวลาเดินทางรวมที่สั้นที่สุด โดยขั้นตอนวิธียอมให้เกิดเวลารอคอย เวลาล่าช้า และเวลาล่วงเวลา ทั้งนี้เพื่อเป็นการผ่อนปรนให้ขั้นตอนวิธีสามารถค้นหาผลเฉลยที่ดีภายในเวลาที่ยอมรับได้ ตัวอย่างเช่น กำหนดค่าน้ำหนักโทษ $\alpha = 0.01,\ \gamma = 0.5$ และ $\eta = 0.05$ หมายความว่า ขั้นตอนวิธียอมให้เกิดเวลารอคอยได้มากที่สุด จากค่าน้ำหนักโทษที่น้อยที่สุด และยอมให้เกิดเวลาล่าช้าน้อยที่สุด โดยการกำหนดค่าน้ำหนักโทษสูงที่สุดถึง 50 % ของเวลาล่าช้าที่เกิดขึ้น ซึ่งผลเฉลยที่ได้จะมีการเปลี่ยนแปลงตามค่าน้ำหนักโทษที่กำหนดทั้งนี้ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ตัดสินใจว่าต้องการให้ผลเฉลยมีความเข้มงวด หรือผ่อนปรนมากน้อยเพียงใด

ในงานวิจัยนี้มีการพัฒนาขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้ หรือเรียกปัญหานี้ว่า “Heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries: HFVRPTWSD” โดยเพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถที่ไม่เท่ากัน และกำหนดให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าหรือมีรถขนส่งมากกว่า 1 คันในการให้บริการลูกค้า 1 รายได้ในกรณีที่จำเป็น โดยที่ขั้นตอนวิธีที่นำเสนอในงานวิจัยนี้แบ่งเงื่อนไขเกี่ยวกับการแบ่งแยกส่งสินค้าเป็น 2 กรณี คือ

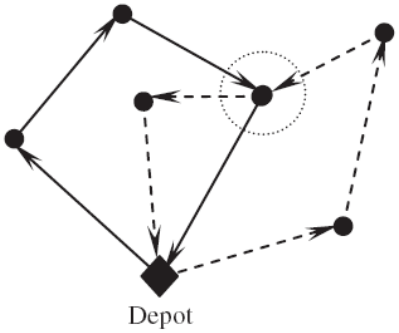
2.1) กรณีที่ลูกค้าต้องการสินค้าเกินกว่าความสามารถบรรทุกสินค้าของรถขนส่งขนาดใหญ่สุดในระบบ ขั้นตอนวิธีจะทำการพิจารณาลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของรถขนส่งขนาดใหญ่สุด และจัดรถขนส่งขนาดใหญ่ให้ไปบริการลูกค้ารายนั้นๆ ก่อน จากนั้นจึงทำการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งคันอื่นๆ ที่เหลือต่อไป

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 6 การแบ่งแยกส่งสินค้ากรณีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุก

2.2) กรณีที่ลูกค้ายอมให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าได้ด้วยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน สำหรับขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นในงานวิจัยนี้ ตั้งสมมติฐานว่า ลูกค้าทุกรายยินยอมให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าได้ในกรณีที่จำเป็น ซึ่งขั้นตอนวิธีจะพยามจัดให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าจำนวนน้อยรายที่สุด เนื่องจากเหตุผลทางด้านความสะดวกของลูกค้า



ภาพประกอบ 7 การแบ่งแยกส่งสินค้าได้ด้วยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3) ขั้นตอนวิธีการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial Solution) การสร้างผลเฉลยเริ่มต้นโดยใช้วิธีดัดแปลง MPFIH สำหรับปัญหาที่เพิ่มเงื่อนไขการแบ่งแยกส่งสินค้าได้ หรือเรียกวิธีนี้ใหม่ว่า “วิธีฮิวริสติกส์การแทรกไปข้างหน้าแบบดัดแปลงสำหรับกรณีแบ่งแยกส่งสินค้า” หรือ “Modified Push-Forward Insertion Heuristic for Split Delivery (MPFIHSD)” ซึ่งเป็นวิธีการแบ่งกลุ่มลูกค้าและจัดเส้นทางไปพร้อมๆกัน (Simultaneous Route and Cluster Method) ในการสร้างผลเฉลยเริ่มต้นนั้น แบ่งเป็น 2 ช่วงด้วยกัน ประกอบด้วย

ช่วงที่ 1: การจัดรถขนส่งขนาดใหญ่สุดให้แก่ลูกค้าที่มีความต้องการเกินกว่าขีดจำกัด (Over-Maximum Capacity Routing)

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับความสามารถในการบรรทุกสินค้า q_k จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาตำแหน่งของลูกค้าที่มีความต้องการสินค้า d_i มากกว่าขีดความสามารถของรถขนส่งคันใหญ่ที่สุด

ขั้นตอนที่ 3 จัดให้รถขนส่งขนาดใหญ่ไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าในขั้นตอนที่ 2 โดยกำหนดให้จำนวนรถขนส่งที่ถูกจัดให้แก่ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถ คือ K_{ov}

ขั้นตอนที่ 4 ตัดจำนวนรถขนส่งในขั้นตอนที่ 3 ออกจากการพิจารณาจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในช่วงที่ 2

ช่วงที่ 2 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับลูกค้าส่วนที่เหลือจากช่วงที่ 1

ใช้วิธี MPFIHSD โดยเริ่มจากการเรียงลำดับค่า e_i จากน้อยไปมาก และเรียงลำดับค่า l_i จากมากไปน้อย จากนั้น เริ่มต้นจากการสร้างเส้นทาง R_k โดยจำนวนเส้นทางเท่ากับจำนวนรถขนส่งที่เหลือจากช่วงที่ 1 จากนั้นสร้างเซตของกลุ่มลูกค้าเริ่มต้นจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า e_i น้อยที่สุด จำนวน k ลำดับแรก และสร้างเซตของกลุ่มลูกค้าสิ้นสุดจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า l_i มากที่สุด จำนวน k ลำดับแรกเช่นกัน เพราะฉะนั้นเมทริกซ์ของเส้นทางเริ่มต้นจึงมีขนาดเท่ากับ $k \times 2$

$$R_k = \begin{bmatrix} C_{e1} & C_{11} & C_{12} & \dots & C_{1n} & C_{l1} \\ C_{e2} & C_{21} & C_{22} & \dots & C_{2n} & C_{l2} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \dots & \vdots & \vdots \\ C_{ek} & C_{k1} & C_{k2} & \dots & C_{kn} & C_{lk} \end{bmatrix} \quad (3.15)$$

ในขั้นตอนเริ่มแรกนี้กำหนดให้ $k = K - K_{ov}$ โดยที่ C_{lk} คือเซตของกลุ่มลูกค้าเริ่มต้นที่มีค่า e_i น้อยที่สุด และ C_{mk} คือ เซตของกลุ่มลูกค้าสิ้นสุดจากกลุ่มลูกค้าที่มีค่า l_i มากที่สุด ขั้นตอนต่อไป คือ การหาเซตของลูกค้าแทรก C_{ik} ระหว่างเซตลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุด โดยพิจารณาจากลูกค้าที่มีค่า e_i น้อยในลำดับถัดมาอีกจำนวน k ปม โดยในการแทรกแต่ละรอบมีเงื่อนไขดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

เงื่อนไขที่ 1: ค่าความต้องการสินค้ารวมในแต่ละเส้นทาง หรือในแต่ละแถวของเมทริกซ์ไม่เกินความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคัน k, $d_{ek} + \sum d_{kn} + d_{lk} \le q_k$

$$D_k = \begin{bmatrix} d_{e1}\ d_{11}\ d_{12} \ldots d_{1n}\ d_{l1} \\ d_{e2}\ d_{21}\ d_{22} \ldots d_{2n}\ d_{l2} \\ \vdots\ \ \vdots\ \ \vdots\ \ \ldots\ \ \vdots\ \ \vdots \\ d_{ek}\ d_{k1}\ d_{k2} \ldots d_{kn}\ d_{lk} \end{bmatrix} \le \begin{bmatrix} q_1 \\ q_2 \\ \vdots \\ q_k \end{bmatrix} \quad (3.16)$$

เงื่อนไขที่2 : เวลาเดินทางโดยรวมต้องไม่เกินกว่าเวลามากสุดที่อนุญาตให้รถขนส่งเดินทางให้บริการลูกค้าและกลับมายังคลังสินค้า, $Tot_k \le M_k$

$$Tot_k = \begin{bmatrix} Tot_1 \\ Tot_2 \\ \vdots \\ Tot_k \end{bmatrix} \le \begin{bmatrix} M_1 \\ M_2 \\ \vdots \\ M_k \end{bmatrix} \quad (3.17)$$

เงื่อนไขที่ 3 : ต้องไม่เกิดเวลาล่าช้าในแต่ละเส้นทาง หรือในแต่ละแถวของเมทริกซ์, $L_k = 0$

$$L_k = \begin{bmatrix} L_1 \\ L_2 \\ \vdots \\ L_k \end{bmatrix} \le \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \end{bmatrix} \quad (3.18)$$

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

เงื่อนไขที่ 4 : การแบ่งแยกส่งสินค้าในกรณีที่รถขนส่งแต่ละคันยังมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่ (Remainder Capacity), q_{k_rem} โดยการแบ่งแยกความต้องการสินค้า (Split Delivery), $d_{kn(s)}$ ของลูกค้ารายหนึ่งๆ จะต้องใช้รถขนส่งเท่ากับ 2 คัน

$$q_{k_rem} = q_k - (d_{ek} + \sum d_{kn} + d_{lk}) \quad (3.19)$$

$$\sum d_{kn(s)} \le \sum q_{k_rem(s)} \quad \text{เมื่อ } k = 1,2,\ldots K \quad n = 1,2,\ldots N \quad s = 1,2 \quad (3.20)$$

หากเงื่อนไขในการแทรกเป็นไปตามสมการ 3.16 ขั้นตอนวิธีการนี้จะยอมให้แทรกเซตของลูกค้า C_{kn} เข้าไปยังเมทริกซ์ในสมการที่ 3.15 และตัดลูกค้าที่ได้รับการแทรกเรียบร้อยแล้วออกจากกลุ่มลูกค้าที่เหลือ เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเลือกลูกค้าซ้ำเดิมอีก การแทรกจะกระทำเช่นเดียวกันไปเรื่อยๆ จนกว่าจะมีการผิดเงื่อนไขแม้เพียงข้อใดข้อหนึ่ง หรือเกิดขึ้นเฉพาะเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง กระบวนการแทรกทีละเซตของกลุ่มลูกค้าจะหยุดลงทันที จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะพิจารณาแทรกลูกค้าทีละปม โดยเลือกแทรกลูกค้า C_i ที่ยังคงเหลืออยู่ และจัดให้แทรกลงในเส้นทางหรือแถวของเมทริกซ์ที่ยังไม่ผิดเงื่อนไข จนกว่าไม่สามารถแทรกได้ ขั้นตอนวิธีการจึงยอมให้เกิดกรณีการแบ่งแยกส่งสินค้า โดยพิจารณาจากความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่รวมกัน 2 คันมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับจำนวนความต้องการสินค้าของลูกค้ารายที่เหลืออยู่ จากนั้นแบ่งความต้องการออกเป็น 2 ส่วน โดยความต้องการสินค้าส่วนแรก, $d_{kn(1)}$ แบ่งเท่ากับความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่ของรถขนส่งคันแรก $q_{k_rem(1)}$ ส่วนความต้องการสินค้าส่วนที่เหลือจัดให้รถขนส่งคันที่ 2 เป็นคันที่ให้บริการ ขั้นตอนวิธีการจะเสร็จสิ้นก็ต่อเมื่อไม่สามารถแทรกลูกค้าใดๆ เข้าสู่เส้นทางได้อีก หรือความสามารถในการขนส่งสินค้าของรถแต่ละคันที่เหลืออยู่ ไม่เพียงพอต่อการให้บริการ ซึ่งอาจเกิดกรณีลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการได้ (Unmet Customers), C_{unmet} และจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ (Unmet Demand), d_{unmet} โดยขั้นตอนวิธีทางคอมพิวเตอร์มีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับค่า e_i จากน้อยไปมาก และเรียงลำดับค่า l_i จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 2 สร้างเมทริกซ์ R_k เริ่มต้น โดยที่ $k = 1,2,...,K - K_{ov}$

ขั้นตอนที่ 3 สร้างเซต C_{ek} ที่มีค่า e_i น้อยที่สุด และเซต C_{lk} ที่มีค่า l_i มากที่สุดจำนวน k ลำดับแรก

ขั้นตอนที่ 4 ตัดค่า e_i ของเซต C_{ek} และ C_{lk} ออก เพื่อป้องกันการเลือกซ้ำปมเดิม

ขั้นตอนที่ 5 เลือกเซต C_i ที่มีค่า e_i น้อยที่สุดใน k ลำดับถัดมา

ขั้นตอนที่ 6 ตรวจสอบเงื่อนไข $d_{ek} + \sum d_{kn} + d_{lk} \le q_k$, $Tot_k \le M_k$ และ $L_k = 0$ ในแต่ละเส้นทาง หรือแต่ละแถวของเมทริกซ์ R_k ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขทุกแถวให้ไปขั้นตอนที่ 7 ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 7 แทรกเซต C_i ที่เป็นไปตามเงื่อนไขระหว่างเซต C_{ek} และ C_{lk} และทำตามขั้นตอนที่ 4-6

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 8 เมื่อเซต C_i ทั้งหมดถูกจัดเข้าสู่เส้นทาง R_k จนครบเป็นอันจบขั้นตอนวิธีการ MPFIHSD ถ้าไม่สามารถจัดเข้าสู่เส้นทาง R_k ได้ทั้งหมด แสดงเซตของค่า C_{unmet} และ d_{unmet}

ขั้นตอนที่ 9 เลือก C_i ที่เหลือที่มีค่า e_i น้อยในลำดับถัดมา

ขั้นตอนที่ 10 ตรวจสอบเงื่อนไข $d_{ek} + \sum d_{kn} + d_{lk} \le q_k$, $Tot_k \le M_k$ และ $L_k = 0$ ในแต่ละเส้นทาง หรือแต่ละแถวของเมทริกซ์ R_k ที่เหลือ ถ้าเป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 11 ถ้าไม่เป็นไปตามเงื่อนไขให้ไปขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 11 แทรก C_i ในเส้นทางที่เป็นไปตามเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 12 ตัดค่า e_i ของ C_i ออก เพื่อป้องกันการเลือกซ้ำปมเดิม ทำตามขั้นตอนที่ 9-12

ขั้นตอนที่ 13 เมื่อ C_i ทั้งหมดถูกจัดเข้าสู่เส้นทาง R_k จนครบเป็นอันจบขั้นตอนวิธีการ MPFIHSD

ขั้นตอนที่ 14 แบ่งแยกส่งสินค้าออกเป็น 2 ส่วน โดยที่ $\sum d_{kn(s)} \le \sum q_{k_rem(s)}$ หากเป็นไปตามเงื่อนไข จบขั้นตอนวิธีการ หากไม่เป็นไปตามเงื่อนไขแสดงค่า C_{unmet} และ d_{unmet}

4) ขั้นตอนวิธีการปรับปรุงผลเฉลย (Improving Solution)

ช่วงที่ 1 ปรับปรุงผลเฉลยโดยขั้นตอนวิธีค้นหาเฉพาะที่แบบกำหนดค่าแลมด้า (λ-LSD)

ขั้นตอนวิธีการ λ-LSD เป็นขั้นตอนวิธีการค้นหาค่าเหมาะเฉพาะที่ (Local Search) มีความหมายเดียวกับวิธีการค้นหาข้างเคียง (Neighborhood Search) หรือวิธีการปรับปรุงวนซ้ำ (Iterative Improvement) เป็นการหาค่าฟังชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุดในขอบเขตที่กำหนด ในกรณีของงานวิจัยนี้ ใช้ขั้นตอนวิธีการ λ-LSD สำหรับค้นหาผลเฉลยปรับปรุงโดยการสลับสับเปลี่ยนระหว่าง 2 เส้นทาง วิธีการนี้อาจทำให้เสียเวลามากเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น แต่ผลเฉลยที่ได้อาจเป็นค่าเหมาะที่สุด หรือค่าเหมาะที่สุดใกล้เคียง

เมื่อได้ผลเฉลยเริ่มต้นจากวิธี MPFIHSD แล้ว ขั้นตอนต่อไป คือ การปรับปรุงผลเฉลยที่ได้จากการค้นหาในแต่ละรอบการวนซ้ำให้มีคุณภาพ หรือมีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ดีขึ้นเรื่อยๆ การค้นหาผลเฉลยจะกระทำต่อไปเรื่อยๆ จนกว่าคุณภาพของผลเฉลยจะไม่เปลี่ยนแปลง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

หรือไม่สามารถปรับปรุงให้ดีขึ้นอีกได้ หรือครบจำนวนรอบการวนซ้ำที่กำหนด ซึ่งผลเฉลยที่ได้ต้องมีการปรับปรุงค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ หรืออย่างน้อยต้องเท่ากับค่าเดิมที่ได้จากผลเฉลยเริ่มต้น

ขั้นตอนวิธีเริ่มจากผลเฉลยเริ่มต้น $X = \{R_1,...R_p,...R_q,..., R_k\}$ โดยที่ R แทนเส้นทางในแต่ละแถวของผลเฉลย X หรืออาจแสดงในรูปของเมทริกซ์ดังสมการที่ 3.21

$$X = \begin{bmatrix} C_{11} & C_{12} & \cdots & C_{1n} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{p1} & C_{p2} & \cdots & C_{pn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{q1} & C_{q2} & \cdots & C_{qn} \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ C_{k1} & C_{k2} & \cdots & C_{kn} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_1 \\ \vdots \\ R_p \\ \vdots \\ R_q \\ \vdots \\ R_k \end{bmatrix} \qquad (3.21)$$

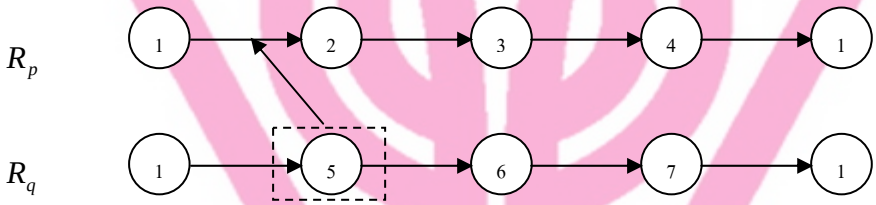
โดยที่ R_p คือ เซตของกลุ่มลูกค้าที่ให้บริการโดยรถขนส่ง p และ R_q คือ เซตของกลุ่มลูกค้าที่ให้บริการโดยรถขนส่ง q ตามลำดับ การหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ สร้างจากการสลับสับเปลี่ยนปมลูกค้าระหว่างคู่ของแถว R_p และ R_q (R_p, R_q) ซึ่งแทนที่เซตย่อย $X_1 \subseteq R_p$ ที่มีขนาด $|X_1| \leq \lambda$ ด้วยเซตย่อย $X_2 \subseteq R_q$ ที่มีขนาด $|X_2| \leq \lambda$ เพื่อให้เกิดเซตของเส้นทางใหม่จำนวน 2 เส้นทาง คือ $R_p' = (R_p - X_1) \cup X_2, R_q' = (R_q - X_2) \cup X_1$ และผลเฉลยข้างเคียงใหม่ คือ $X = \{R_1,...R_p',...R_q',..., R_k\}$ ซึ่งผลเฉลยข้างเคียง $N_\lambda(X)$ ทั้งหมด คือ เซตของผลเฉลย X' ที่เป็นไปได้ และถูกสร้างขึ้นโดยวิธี LSD ซึ่งมีการกำหนดค่าจำนวนเต็ม λ

ลำดับการค้นหาผลเฉลยถูกเลือกจากการจัดคู่ที่เป็นไปได้ทั้งหมด (All Possible Combination) ของคู่ลำดับ (R_p, R_q) ซึ่งจำนวนที่เป็นไปได้ในการจับคู่ทั้งหมดเท่ากับ $\frac{K \times (K-1)}{2}$ ทางเลือก โดยที่ K คือ จำนวนเส้นทางทั้งหมด ตัวอย่างเช่น กรณีมี 3 เส้นทาง ประกอบด้วย R_1, R_2 และ R_3 เพราะฉะนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ $\frac{3 \times (3-1)}{2} = 3$ ได้แก่คู่ลำดับ (R_1, R_2), (R_1, R_3) และ (R_2, R_3) นอกจากนี้ในแต่ละคู่ลำดับ (R_p, R_q) ต้องกำหนดลำดับในการค้นหาผลเฉลย (Search Order) สำหรับการย้ายลูกค้าจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง หรือสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งกันในแต่ละคู่ลำดับ โดยเลือกใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่มีค่า $\lambda = 1$ และ $\lambda = 2$ สาเหตุที่ไม่เลือกค่าที่มากไปกว่านี้เนื่องจากอาจทำให้ขั้นตอนวิธีการเสียเวลามาก เมื่อผลเฉลยที่เป็นไปได้มีจำนวนเพิ่มมากขึ้น การดำเนินการของวิธี λ-LSD

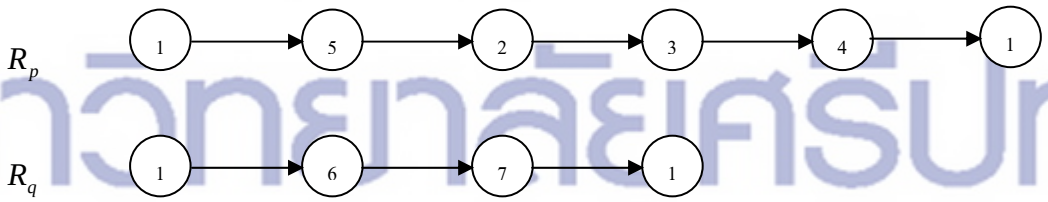
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ประกอบด้วย 2 กระบวนการหลักๆ ที่ดำเนินการระหว่าง 2 เส้นทาง คือ การย้ายลูกค้าบางปมออกจากเส้นทางหนึ่ง ไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง (Shift Operation) และ การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าบางปมระหว่างเส้นทาง 2 เส้นทาง (Exchange Operation) โดยการดำเนินการกำหนดด้วยคู่ลำดับ (0, 1) , (1, 0), (1, 1), (0, 2), (2, 0), (1, 2), (2, 1) และ (2, 2) หรือเรียกคู่ลำดับเหล่านี้ว่า “ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (Move Operator)” โดยจำนวนของตัวดำเนินการขึ้นอยู่กับการกำหนดค่า λ ซึ่งในกรณีนี้กำหนดค่า $\lambda = 1$ และ $\lambda = 2$ จึงเกิดตัวดำเนินการทั้งสิ้น 8 ตัวด้วยกัน ซึ่งแต่ละตัวมีการดำเนินการที่แตกต่างกันดังต่อไปนี้

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1) สำหรับเส้นทาง (R_p, R_q) หมายถึง การย้ายลูกค้าจำนวน 1 ปม ออกจากเส้นทาง R_q ไปแทรกยังเส้นทาง R_p แสดงดังภาพประกอบ 8



ก่อนการเคลื่อนย้าย

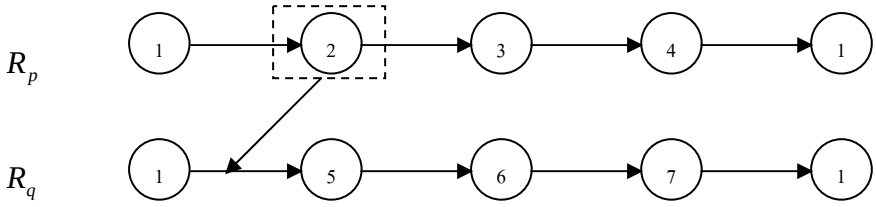


หลังการเคลื่อนย้าย

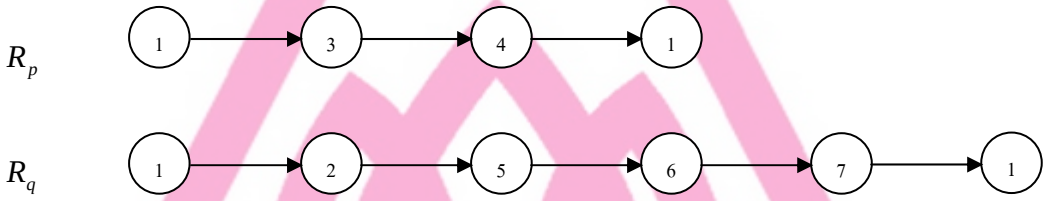
ภาพประกอบ 8 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 0) หมายถึง การย้ายลูกค้าจำนวน 1 ปม ออกจากเส้นทาง R_p ไปแทรกยังเส้นทาง R_q

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



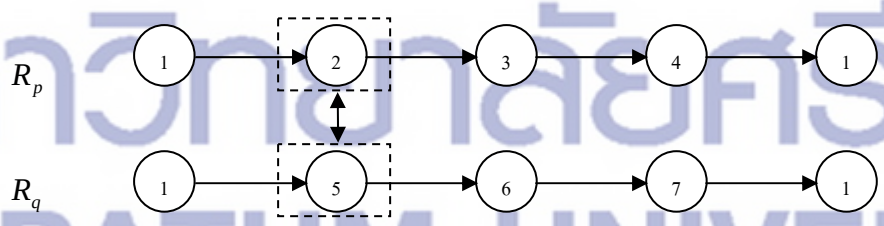
ก่อนการเคลื่อนย้าย



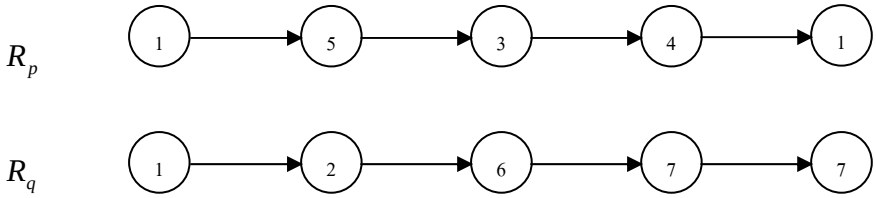
หลังการเคลื่อนย้าย

ภาพประกอบ 9 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 0)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 1) หมายถึง การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าจำนวน 1 ปม ระหว่างเส้นทาง R_p และเส้นทาง R_q



ก่อนการเคลื่อนย้าย

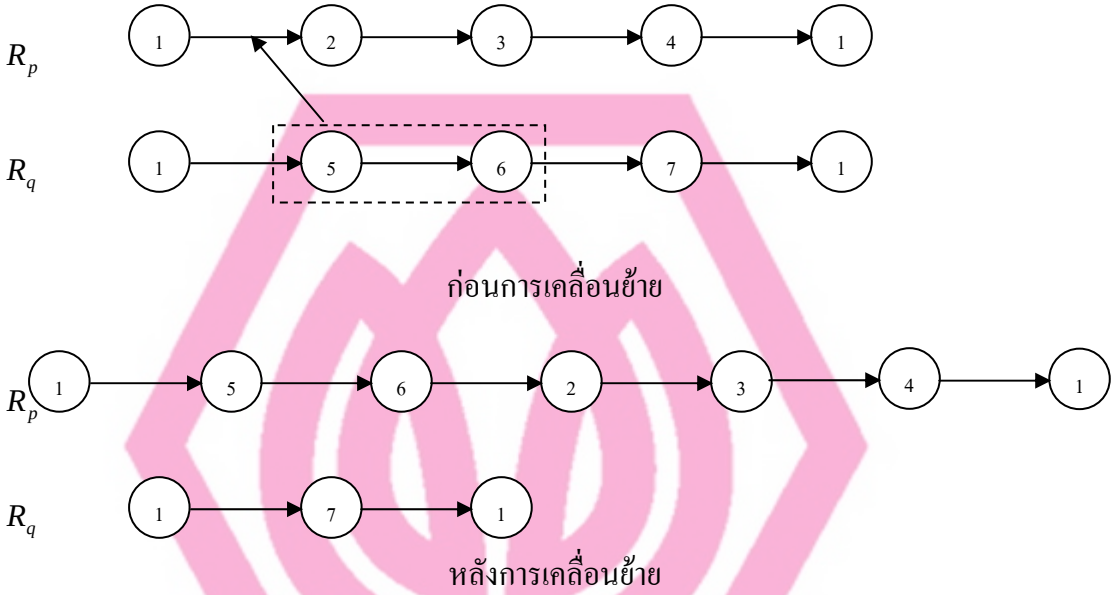


หลังการเคลื่อนย้าย

ภาพประกอบ 10 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 1)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

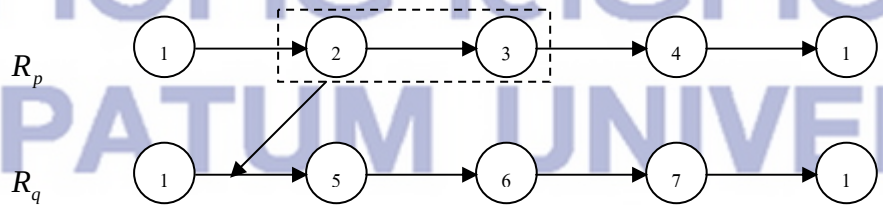
ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 2) หมายถึง การย้ายลูกค้าจำนวน 2 ปม ออกจากเส้นทาง R_q ไปแทรกยังเส้นทาง R_p



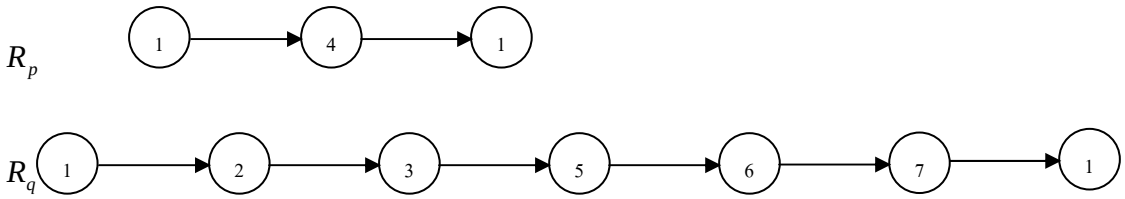
ภาพประกอบ 11 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 2)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 0) หมายถึง การย้ายลูกค้าจำนวน 2 ปม ออกจากเส้นทาง R_p ไปแทรกยังเส้นทาง R_q

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



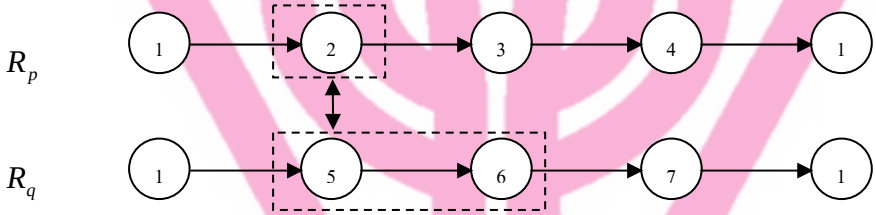
ก่อนการเคลื่อนย้าย



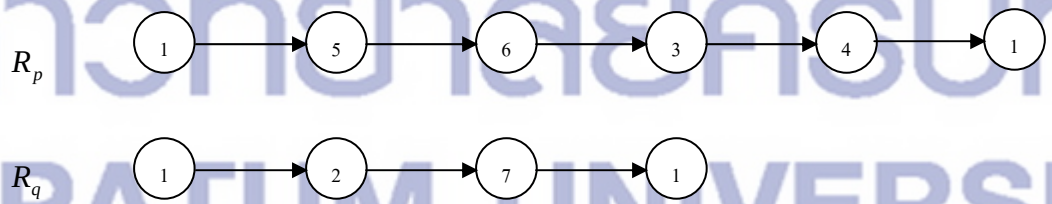
หลังการเคลื่อนย้าย

ภาพประกอบ 12 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 0)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 2) หมายถึง การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าจำนวน 2 ปม จากเส้นทาง R_q และลูกค้าจำนวน 1 ปมจากเส้นทาง R_p



ก่อนการเคลื่อนย้าย

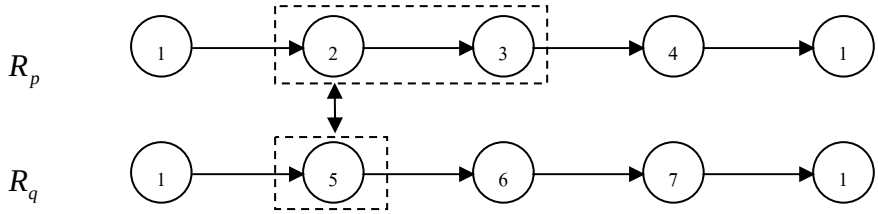


มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

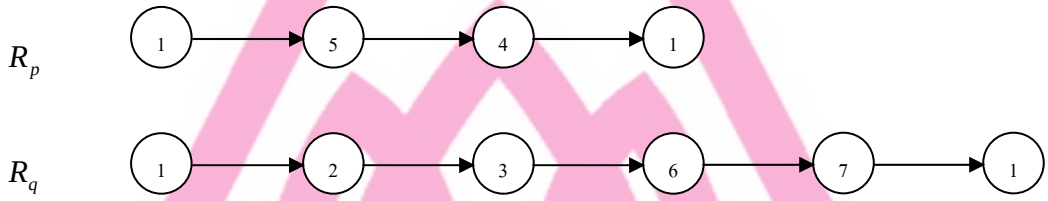
หลังการเคลื่อนย้าย

ภาพประกอบ 13 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (1, 2)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 1) หมายถึง การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าจำนวน 1 ปม จากเส้นทาง R_q และลูกค้าจำนวน 2 ปมจากเส้นทาง R_p



ก่อนการเคลื่อนย้าย

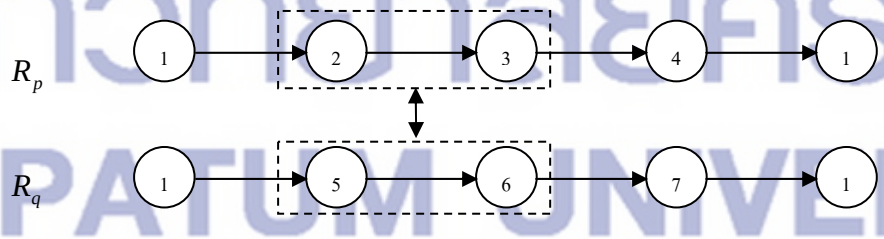


หลังการเคลื่อนย้าย

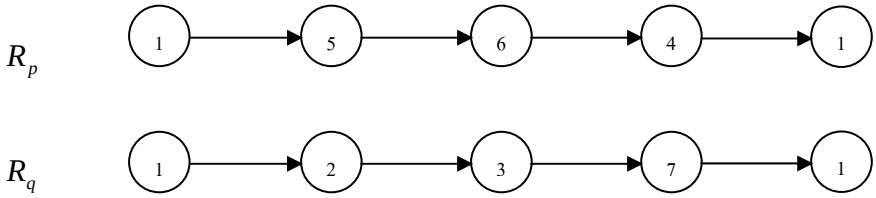
ภาพประกอบ 14 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 1)

ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 2) หมายถึง การสลับสับเปลี่ยนลูกค้าจำนวน 2 ปม จากเส้นทาง R_q และลูกค้าจำนวน 2 ปมจากเส้นทาง R_p

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ก่อนการเคลื่อนย้าย



หลังการเคลื่อนย้าย

ภาพประกอบ 15 ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (2, 2)

จากลักษณะการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนของตัวดำเนินการดังภาพประกอบ 8-15 ในแต่ละครั้งของการดำเนินการ จะได้เส้นทางใหม่เกิดขึ้น 2 เส้น โดยทั้งสองเส้นทางจะต้องเป็นไปตามเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$ สังเกตได้ว่าการใช้ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย (0, 1), (1, 0) และ (1, 1) น่าจะมีประสิทธิภาพเพียงพอแล้วสำหรับการเคลื่อนย้ายผลเฉลยจากหนึ่งไปยังอีกตัวหนึ่งภายในผลเฉลยข้างเคียงที่กำหนด อย่างไรก็ตามการใช้ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย ที่มีทั้งการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนจำนวนปมลูกค้าระหว่างเส้นทาง 2 เส้น เช่น (0, 2), (2, 0), (1, 2), (2, 1) และ (2, 2) จะช่วยเพิ่มโอกาสในการหาผลเฉลยที่ดีขึ้นโดยไม่ขัดแย้งกับเงื่อนไข และไม่ทำให้ขั้นตอนวิธีการใช้เวลาในการค้นหาผลเฉลยมากเกินไป ในงานวิจัยนี้จึงนำหลักการการผสมผสานระหว่างตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายแบบต่างๆ มาดำเนินการตามลำดับที่กำหนด โดยจัดลำดับการทำงานดังตารางที่ 5

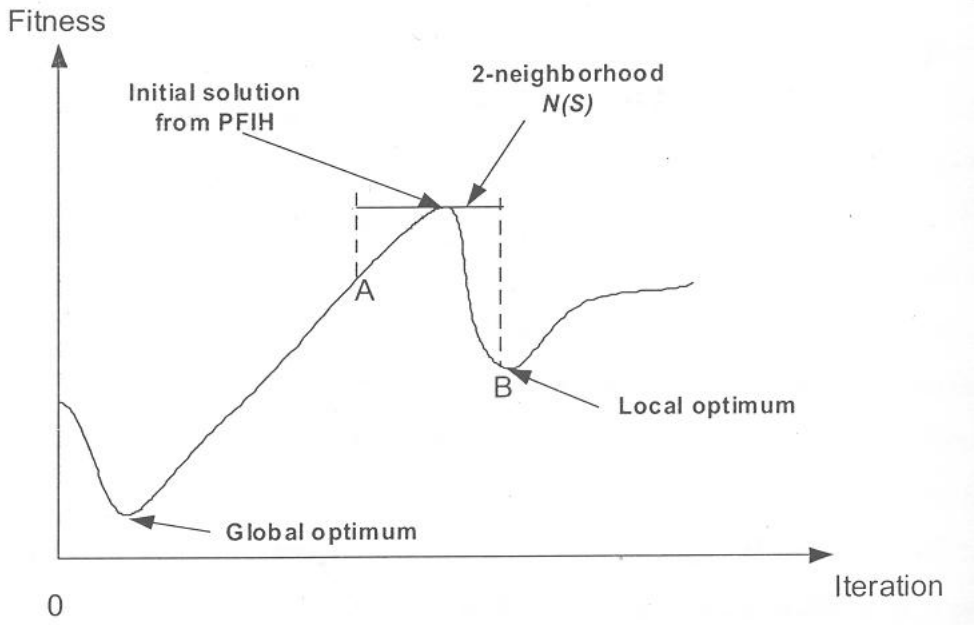
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 1 ลำดับการทำงานของตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย

ลำดับ	1	2	3	4	5	6	7	8
ตัวดำเนินการเคลื่อนย้าย	(0, 1)	(1, 0)	(1, 1)	(0, 2)	(2, 0)	(2, 1)	(1, 2)	(2, 2)

ตัวดำเนินการเหล่านี้จะถูกใช้ในการโยกย้ายและสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกค้าระหว่างเส้นทาง (R_p, R_q) เพื่อสร้างกลุ่มเส้นทางใหม่ หรือผลเฉลยใหม่ ขั้นตอนต่อไป คือ การเลือกผลเฉลยที่มีการเคลื่อนย้ายโดยตัวดำเนินการทั้ง 8 ตัว วิธีการเลือกผลเฉลยที่ได้จากตัว

ดำเนินการที่ดีที่สุดจากกลุ่มของผลเฉลยที่มีอยู่ (Candidate Move) นั้นมีหลายวิธี อย่างไรก็ตามในงานวิจัยนี้เลือกใช้กลยุทธ์ในการเลือกตัวดำเนินการตัวแรกที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าผลเฉลยปัจจุบัน (ในกรณีนี้หมายถึงค่าเดินทางรวมที่ต่ำลง) 2 วิธี คือ กลยุทธ์ที่เรียกว่า “ดีที่สุดเป็นตัวแรก (First Best: FB)” ซึ่งกลยุทธ์นี้ ถึงแม้ไม่ได้ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุดจากตัวดำเนินการทั้งหมด แต่ให้ผลเฉลยที่ยอมรับได้ภายในระยะเวลาอันรวดเร็ว และอีกกลยุทธ์หนึ่งเรียกว่า “ดีที่สุดจากทั้งหมด (Global Best: GB) ที่ต้องดำเนินการให้ครบทุกตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายและเลือกผลเฉลยที่ดีที่สุด กลยุทธ์นี้ถึงแม้จะให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการค้นหาค่อนข้างยาวนาน ซึ่งทำให้เสียเวลาโดยไม่จำเป็น อย่างไรก็ตามการเลือกกลยุทธ์แบบ FB อาจไม่ได้ให้คำตอบที่แย่กว่ากลยุทธ์แบบ GB เสมอไป แสดงดังภาพประกอบ 3.11



ภาพประกอบ 16 เปรียบเทียบวิธี FB และวิธี GB
ที่มา: ณกร (2548)

จากภาพสังเกตได้ว่าในกรณีที่เลือกใช้กลยุทธ์แบบ GB ทิศทางการหาผลเฉลย (Search Direction) จะค่อยๆ เคลื่อยย้ายจากจุด A มาที่จุด B ซึ่งผลเฉลยที่ได้ให้ค่าเหมาะสุดเฉพาะที่ขั้นตอนวิธีการไม่สามารถหาผลเฉลยที่ดีกว่านี้ได้อีกภายในผลเฉลยข้างเคียงที่กำหนด $N(S)$ และเมื่อทำหาค้นหาจนครบรอบการวนซ้ำที่กำหนด ขั้นตอนวิธีการจะประกาศว่าจุด B คือ ผลเฉลยที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่สุด ซึ่งจากภาพประกอบ 18 พบว่าจุด B ไม่ใช่ผลเฉลยที่ให้ค่าเหมาะ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ที่สุด เป็นเพียงค่าเหมาะสุดเฉพาะที่เท่าทั้น ในอีกกรณีหนึ่ง หากเลือกใช้กลยุทธ์แบบ FB ขั้นตอนวิธีการอาจจะยอมรับผลเฉลยที่จุด A เป็นจุดแรกที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีกว่าผลเฉลยปัจจุบัน (Current Solution) จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะค้นหาผลเฉลยที่ดีขึ้นต่อไป และเคลื่อนเข้าสู่ค่าเหมาะที่สุดแบบวงกว้าง (Global Optimum) ได้ ขั้นตอนวิธี λ-LSD แสดงรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ผลเฉลย X สำหรับ HFVRPTWSD ที่ได้จากขั้นตอนวิธี MPFIHSD เป็นผลเฉลยปัจจุบัน

ขั้นตอนที่ 2 เลือกผลเฉลย $X' \in N_\lambda(X)$ ตามกลยุทธ์การเคลื่อนย้ายตัวดำเนินการแบบ FB หรือ GB

ขั้นตอนที่ 3 ถ้า $F(X') < F(X)$, ให้ยอมรับผลเฉลย X' และดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 2 ถ้าไม่ใช่ ให้ดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 4

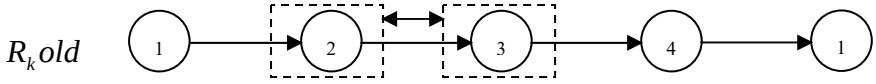
ขั้นตอนที่ 4 ถ้าผลเฉลยข้างเคียงภายในพื้นที่ $N_\lambda(X)$ ถูกค้นหาจนครบทุกความเป็นไปได้ และไม่มีผลเฉลยใดให้ค่า $F(X')$ ที่ต่ำกว่าผลเฉลยปัจจุบัน ให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 5 ถ้าไม่ใช่ให้ดำเนินการต่อในขั้นตอนที่ 2

ขั้นตอนที่ 5 สิ้นสุดวิธีการ λ-LSD

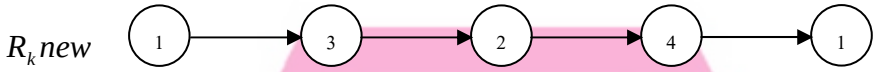
ช่วงที่ 2 ปรับปรุงผลเฉลยโดยขั้นตอนวิธีค้นหาทาบู (Tabu Search: TS)

หลังจากได้ผลเฉลยที่ดีที่สุดจากตัวดำเนินการเคลื่อนย้ายระหว่าง 2 เส้นทาง (R_p, R_q) แล้ว ขั้นตอนวิธีการจะทำการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าทีละ 1 คู่ หรือ 2 ปมใดๆ ภายในเส้นทางเดียวกันตั้งแต่ $R_1, R_2, ..., R_k$ เพื่อเพิ่มโอกาสในการหาผลเฉลยที่ดีกว่า โดยขั้นตอนนี้ไม่จำเป็นต้องคำนึงถึงเงื่อนไข $D_k = \sum_{i=l}^{m} d_i \le q_k$ เนื่องจากผลเฉลยที่ได้จากขั้นตอนการเคลื่อนย้ายตัวดำเนินการ ได้จำกัดเงื่อนไขนี้ไว้ในแต่ละเส้นทางแล้ว ขั้นตอนนี้จึงเป็นการทดลองสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าภายในเส้นทางเดียวกันเท่านั้น แสดงดังภาพประกอบ 17

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ก่อนการสลับสับเปลี่ยน



หลังการสลับสับเปลี่ยน

ภาพประกอบ 17 การสลับสับเปลี่ยนภายในเส้นทาง

จากภาพประกอบ 17 จำนวนผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดในพื้นที่การค้นหาผลเฉลย คือ $n!$ โดยที่ n คือ จำนวนลูกค้าทั้งหมด ที่ต้องการสลับสับเปลี่ยนภายในเส้นทาง R_k ตัวอย่างเช่น กรณีมีลูกค้าจำนวน 3 ปม ที่ต้องการสลับสับเปลี่ยน เพราะฉะนั้นทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมด คือ $3! = 3 \times 2 \times 1 = 6$ อย่างไรก็ตาม ในการเพิ่มประสิทธิภาพในการค้นหาผลเฉลยของขั้นตอนวิธีการต้องใช้โครงสร้างผลเฉลยข้างเคียงที่ดีด้วย อันได้แก่ โครงสร้างต้องง่ายต่อการทำงานในเชิงการเขียนโปรแกรม การประมวลผล และโครงสร้างจะต้องครอบคลุมผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมด และนำไปสู่ค่าเหมาะที่สุด หรือค่าเหมาะที่สุดใกล้เคียง

ในกระบวนการทำงานจริงของขั้นตอนวิธีการ อาจไม่สามารถสร้างพื้นที่ในการค้นหาผลเฉลยที่เป็นไปได้ทั้งหมดได้ เนื่องจากจำนวนทางเลือกที่เพิ่มขึ้นแบบแฟคทอเรียล ซึ่งอาจต้องใช้เวลายาวนานในการหาผลเฉลยเมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น แนวคิดในการลดพื้นที่ผลเฉลยจึงเป็นส่วนหนึ่งที่สำคัญ โดยกำหนดเป็นโครงสร้างในการสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งของลูกค้าภายในเส้นทาง ในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการสลับสับเปลี่ยนแบบทีละคู่ (Pair-Wise Exchange) นั่น คือ การสลับสับเปลี่ยนตำแหน่งระหว่างลูกค้า 2 ปมใดๆ ภายในเส้นทางเดียวกัน ซึ่งจำนวนทางเลือกของผลเฉลยเท่ากับ $\frac{n(n-1)}{2}$ จากปัญหาเดิมที่มีลูกค้าจำนวน 3 ปม ภายในเส้นทาง ทางเลือกที่เป็นไปได้ทั้งหมดเท่ากับ $\frac{3(3-1)}{2} = 3$ ซึ่งในกรณีสามารถลดพื้นที่ในการค้นหาผลเฉลยได้ถึง 50% จากนั้นขั้นตอนวิธีการจะทำการสลับเปลี่ยนตำแหน่งลูกค้าทีละคู่ไปเรื่อยๆ จนกว่าจะได้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น หากไม่สามารถปรับปรุงผลเฉลยได้ ขั้นตอนวิธีการจะยังคงผลเฉลยปัจจุบันไว้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ในช่วงที่ 2 ของการปรับปรุงผลเฉลยนี้ ใช้ขั้นตอนวิธี TS จากปัญหาที่มักพบในขั้นตอนการค้นหาผลเฉลยข้างเคียง คือ การยอมรับค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ ในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการ TS ในการป้องกันการเกิดค่าเหมาะที่สุดเฉพาะที่ หรือค่าต่ำสุดเฉพาะที่ เนื่องจากวิธีการ TS เป็นเทคนิคการประมาณค่าสำหรับการคำนวณเชิงคณิตศาสตร์ที่ดี เมื่อเทียบกับเทคนิคอื่นๆ ด้วยความยืดหยุ่น และมีประสิทธิภาพเหนือกว่าวิธีการคลาสสิกอื่นๆ ดังที่ได้นำเสนอไว้ในการตรวจเอกสาร จากงานวิจัยของ Glover (1989) ใช้วิธีการ TS ในการป้องกันเพื่อไม่ให้เกิดการเลือกซ้ำผลเฉลยเดิมที่ให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แย่ แต่สำหรับในงานวิจัยนี้ นำมาประยุกต์ใช้ในวิธีการที่ตรงกันข้ามเพื่อเป้าหมายที่แตกต่างกัน ซึ่ง Golver (1989) ต้องการลดเวลาในการค้นหาผลเฉลย โดยการทาบูผลเฉลยที่ไม่ดีไว้ ซึ่งขั้นตอนวิธีการจะไม่เลือกผลเฉลยนั้นเลยจนกว่าจะครบรอบการทาบูที่กำหนดไว้ ในทางตรงข้าม งานวิจัยนี้ต้องการใช้วิธีการ TS ในการเปิดโอกาสให้ผลเฉลยอื่นๆ ได้รับการคัดเลือก ถึงแม้จะมีค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่แย่ลงก็ตาม ทั้งนี้เพื่อป้องกันการเกิดปัญหาค่าต่ำสุดเฉพาะที่ดังที่ได้กล่าวไว้ในเบื้องต้น โดยใช้งานร่วมกับการค้นหาผลเฉลยแบบ λ-LSD คือ เมื่อเจอค่าต่ำสุดเฉพาะที่แล้วจึงเลื่อนไปตามผลเฉลยข้างเคียงอื่นๆ ใน $N_{\lambda}(X)$ หากพบว่าผลเฉลยนั้นให้ค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีขึ้น จะทำการปรับปรุงให้เป็นผลเฉลยปัจจุบัน และผลเฉลยนั้นจะถูกป้องกันด้วยวิธีการทาบู เพื่อไม่ให้มีการเลือกซ้ำได้อีกจนกว่าจะครบรอบการทาบูที่กำหนด หรือตามเงื่อนไขในปล่อยค่าทาบู หรือครบรอบการวนซ้ำที่กำหนด ซึ่งเป็นไปตามเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้

ส่วนสำคัญที่สุดของขั้นตอนวิธีการ TS คือ การออกแบบหน่วยความทรงจำ (History Record; H) เพื่อใช้ในการบันทึกค่าที่ถูกทาบูไว้ในรายการทาบู ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้นำเสนอโครงสร้างหน่วยความทรงจำทาบูแบบระยะยาว (Long-Term Memory) ประกอบด้วย ส่วนของการบันทึกตัวแปรที่ถูกทาบูในรอบการวนซ้ำที่ผ่านมา (Recently-Based Memory) และส่วนของการบันทึกความถี่ที่ตัวแปรนั้นๆ ถูกเลือกจากรอบการวนซ้ำทั้งหมด (Frequency-Based Memory) ตัวอย่างการทำงานของหน่วยความทรงจำทาบู ในการสลับสับเปลี่ยน (Swap) ลูกค้าจำนวน 7 ปม ในเส้นทางเดียวกัน โดยกำหนดจำนวนรอบการทาบูเท่ากับ 3 เป็นดังนี้

เริ่มต้น X_0 = [4, 7, 12, 26, 5, 23, 15] โดยที่ $F(X_0)$= 391 และสร้างหน่วยความทรงจำในรูปของเมทริกซ์ว่างขนาด 7x7

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

Recently

	1(4)	2(7)	3(12)	4(26)	5(5)	6(23)	7(15)
1(4)	-						
2(7)		-					
3(12)			-				
4(26)				-			
5(5)					-		
6(23)						-	
7(15)							-

Frequency

ภาพประกอบ 18 โครงสร้างหน่วยความทรงจำทาบู (เริ่มต้น)

รอบที่ 1 ดำเนินการสลับเปลี่ยนดังตารางที่ 2 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น (Fitness Function) ที่ดีที่สุด คือ 3 ซึ่งเป็นการสลับสับเปลี่ยนระหว่างลูกค้าปมที่ 4 และ 15 โดยที่ X_1= [15, 7, 12, 26, 5, 23, 4] และ $F(X_1)$=388 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น f^*=391-388=3 หน่วยความทรงจำทาบูจะเริ่มบันทึกตัวแปรที่ถูกเลือก โดยในส่วนสามเหลี่ยมบน (Recently) สำหรับบันทึกจำนวนรอบการทาบูตัวแปรที่ถูกเลือก และสามเหลี่ยมล่าง (Frequency) สำหรับการบันทึกความถี่ที่ตัวแปรนั้นๆ ถูกเลือก แสดงดังภาพประกอบ 18

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 2 ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 1

ปมที่ทำการสลับสับเปลี่ยน	ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น $f^* = F(X) - F(X')$
(4,15)	3
(4,5)	-13
(7,15)	-13
(7,26)	-21
(12,5)	-31
(26,23)	-45

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ปมที่ทำการสลับสับเปลี่ยน	ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น $f^* = F(X) - F(X')$
(23,15)	-61
(5,15)	-66
(7,23)	-69
(5,23)	-92
(7,5)	-119
(4,12)	-120
(12,26)	-122
(4,7)	-130
(7,12)	-131
(12,15)	-140
(26,15)	-149
(26,5)	-158
(4,23)	-172
(12,23)	-207
(4,26)	-224

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Recently

Frequency	1(4)	2(7)	3(12)	4(26)	5(5)	6(23)	7(15)
1(4)	-						3
2(7)		-					
3(12)			-				
4(26)				-			
5(5)					-		
6(23)						-	
7(15)	1						-

ภาพประกอบ 19 หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 1)

รอบที่ 2 ดำเนินการสลับเปลี่ยนดังตารางที่ 7 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่นที่ดีที่สุด คือ 3 ซึ่งเป็นการสลับสับเปลี่ยนระหว่างลูกค้าปมที่ 26 และ 23 โดยที่ X_2 = [15, 7, 12, 23, 5, 26, 4] และ $F(X_2)$ = 385 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น f^* = 388-385 = 3 หน่วยความทรงจำทาบูจะบันทึกตัวแปรที่ถูกเลือกตัวใหม่ และลดจำนวนรอบการทาบูของตัวแปรที่ถูกเลือกในรอบก่อนหน้าลง 1 รอบ ส่วนการบันทึกความถี่ยังคงดำเนินการเช่นเดิม โดยไม่มีการลดลงสำหรับตัวแปรที่ถูกเลือกก่อนหน้า และจะต้องเพิ่มขึ้นเมื่อในรอบการวนซ้ำอื่นๆ ย้อนกลับมาเลือกตัวแปรนั้นๆ อีกครั้งหนึ่ง

Recently

	1(4)	2(7)	3(12)	4(26)	5(5)	6(23)	7(15)
1(4)	-						2
2(7)		-					
3(12)			-				
4(26)				-		3	
5(5)					-		
6(23)				1		-	
7(15)	1						-

Frequency

ภาพประกอบ 20 หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 2)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 3 ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 2

ปมที่ทำการสลับสับเปลี่ยน	ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น $f^* = F(X) - F(X')$
(4,7)	-45
(4,12)	-3
(4,26)	-228
(4,5)	-5
(4,23)	-89
(4,15)	รอบการทาบู = 3-1=2
(7,12)	-99

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ปมที่ทำการสลับสับเปลี่ยน	ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น $f^* = F(X) - F(X')$
(7,26)	-28
(7,5)	-138
(7,23)	-22
(7,15)	-150
(12,26)	-123
(12,5)	-31
(12,23)	-246
(12,15)	-270
(26,5)	-159
(26,23)	3
(26,15)	-150
(5,23)	-109
(5,15)	-79
(23,15)	-145

รอบที่ 3 ดำเนินการสลับเปลี่ยนดังตารางที่ 4 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น (Fitness Function) ที่ดีที่สุด คือ -3 ซึ่งเป็นการสลับสับเปลี่ยนระหว่างลูกค้าปมที่ 4 และ 12 โดยที่ X_3 = [15, 7, 4, 23, 5, 26, 12] และ $F(X_3)$ =388 ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น f^*=385-388= -3 สังเกตได้ว่า ขั้นตอนวิธีการจะยอมเลือกค่าฟิตเนสฟังก์ชั่นที่แย่ลงในแต่ละรอบการวนซ้ำ เพื่อเปิดโอกาสในการเลือกผลเฉลยข้างเคียงอื่นๆ ที่อาจนำไปสู่ผลเฉลยที่ดีกว่าปัจจุบัน และการบันทึกความทรงจำทาบูจะดำเนินการเช่นเดิมไปเรื่อยๆ จนกว่าจะเป็นไปตามเงื่อนไขของการหยุด

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 4 ผลการสลับสับเปลี่ยนในรอบที่ 3

ปมที่ทำการสลับสับเปลี่ยน	ค่าฟิตเนสฟังก์ชั่น $f^* = F(X) - F(X')$
(4,7)	-61
(4,12)	-3
(4,26)	-83
(4,5)	-23
(4,23)	-237
(4,15)	รอบการทาบู = 2-1=1
(7,12)	-74
(7,26)	-25
(7,5)	-138
(7,23)	-28
(7,15)	-150
(12,26)	-252
(12,5)	-9
(12,23)	-120
(12,15)	-187
(26,5)	-132
(26,23)	รอบการทาบู = 3-1=2
(26,15)	-141
(5,23)	-138
(5,15)	-73
(23,15)	-156

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Recently

	1(4)	2(7)	3(12)	4(26)	5(5)	6(23)	7(15)
1(4)	-		3				1
2(7)		-					
3(12)	1		-				
4(26)				-		2	
5(5)					-		
6(23)				1		-	
7(15)	1						-

Frequency

ภาพประกอบ 21 หน่วยความทรงจำทาบู (รอบที่ 3)

จากตัวอย่างแสดงรอบการวนซ้ำเพียง 3 รอบ ในการทำงานจริงอาจกำหนดรอบการวนซ้ำให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด และเงื่อนไขในการหยุดขั้นตอนวิธีการ มี 2 กรณีด้วยกัน คือ เมื่อครบรอบการวนซ้ำที่กำหนด และเมื่อค่า f^* ของการสลับสับเปลี่ยนลูกค้าคู่ใดคู่หนึ่ง มีค่าที่ดีกว่าการสลับสับเปลี่ยนในคู่อื่นๆ เป็นจำนวนรอบที่กำหนด ถึงแม้ว่าระหว่างรอบนั้นตัวแปรดังกล่าวจะถูกทาบูไว้ ก็สามารถเลือกให้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุดได้ โดยขั้นตอนวิธีการ TS มีรายละเอียดดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดจำนวนรอบการวนซ้ำ, r, จำนวนรอบการทาบู, r_{ts} และจำนวนรอบในการปล่อยผลเฉลยที่ดีออกจากการทาบู, r_{rel}

ขั้นตอนที่ 2 สร้างผลเฉลยเริ่มต้น X ที่ได้จากวิธีการ λ-LSD และสร้างโครงสร้างหน่วยความจำ H เพื่อการบันทึกค่าทาบู

ขั้นตอนที่ 3 กำหนดค่า $r = r + 1$ และสร้างเซตย่อย V^* ของผลเฉลยใน $N(X, r)$ เป็นผลเฉลยข้างเคียงสำหรับการวนซ้ำครั้งที่ r

ขั้นตอนที่ 4 เลือกผลเฉลย $X' \in N(X, r)$ จากพื้นที่ค้นหาผลเฉลยที่กำหนดเลือกค่า $Y \in V^*$ ที่เป็นไปตามฟังก์ชันวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไข ปรับปรุงผลเฉลย และกำหนดให้ $X = Y$

ขั้นตอนที่ 5 ถ้า $F(X') < F(X)$, ให้ยอมรับผลเฉลย X'

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 6 สิ้นสุดวิธีการ TS เมื่อเป็นไปตามเงื่อนไขของการหยุด ไม่เช่นนั้นให้กลับไปดำเนินตามขั้นตอนที่ 3

3.3 อุปกรณ์การวิจัย

3.3.1 คอมพิวเตอร์ส่วนตัว (Personal Computer) Dual Core D925 3.00 GHz. หน่วยความจำ 1.00 Gb. ความจุฮาร์ดดิสก์ 80 Gb.

3.3.2 เครื่องคอมพิวเตอร์โน๊ตบุ๊ค (Notebook Computer) Core 2 T7300 2.00 GHz. หน่วยความจำ 2.00 Gb. ความจุฮาร์ดดิสก์ 160 Gb.

3.3.3 โปรแกรม MATLAB

3.3.4 โปรแกรม MS-EXCEL

3.4 การรวบรวมข้อมูลวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ ข้อมูลจำลอง และกรณีศึกษา

3.4.1 ข้อมูลจำลอง งานวิจัยนี้เลือกใช้ข้อมูลจากปัญหาเทียบเคียง (Benchmarking Problem) สำหรับปัญหา VRPTW ที่สร้างขึ้นโดย Marius Solomon (Solomon, 2005) จำนวน 18 ตัวอย่าง แบ่งเป็น 6 ประเภท คือ R1, R2, C1, C2, RC1, และ RC2 ซึ่งในแต่ละตัวอย่างประกอบด้วยคลังสินค้าจำนวน 1 เมือง และลูกค้าจำนวน 25, 50 และ 100 เมือง สำหรับปัญหา VRPTW ของ Solomon นี้เป็นที่นิยมสำหรับนักวิจัยที่พัฒนาขั้นตอนวิธีการและต้องการเปรียบเทียบผล โดย Solomon ได้ออกแบบปัญหานี้ออกเป็น 6 ประเภท ตามปัจจัยต่างๆ ที่ส่งผลต่อพฤติกรรมของขั้นตอนวิธีในการจัดเส้นทาง และการจัดตารางการเดินรถขนส่ง ซึ่งปัจจัยต่างๆ ประกอบด้วยตำแหน่งและการกระจายของข้อมูล ข้อจำกัดความสามารถของรถขนส่งในการให้บริการลูกค้าเปอร์เซ็นต์ข้อจำกัดทางด้านเวลาที่กำหนดโดยลูกค้า ความเข้มงวดและตำแหน่งของกรอบเวลา โดยที่ปัญหาในกลุ่ม R1 และ R2 ถูกกำหนดตำแหน่งและการกระจายอย่างสุ่ม กลุ่ม C1 และ C2 มีการแบ่งกลุ่มลูกค้าแล้ว และกลุ่ม RC1 และ RC2 เป็นการผสมผสานระหว่างแบบสุ่มและแบบจัดกลุ่มแล้ว ปัญหาในกลุ่ม R1, C1 และ RC1 เป็นลักษณะการจัดตารางเดินรถแบบสั้น (Short Scheduling Horizon) โดยมีจำนวนลูกค้าไม่มากภายในเส้นทางหนึ่งๆ (ประมาณ 5 ถึง 10 เมือง) ส่วนในกลุ่ม R2, C2 และ RC2 เป็นลักษณะการจัดตารางเดินรถแบบยาว (Long Scheduling Horizon) โดยมาลูกค้าจำนวนมากอยู่ในเส้นทางหนึ่งๆ (มากกว่า 30 เมือง) ที่ให้บริการโดยรถขนส่งเพียงคันเดียว

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าจะเหมือนกันสำหรับปัญหาเดียวกันในแต่ละกลุ่ม R, C และ RC ต่างกันที่การกำหนดช่วงกว้างของกรอบเวลา ซึ่งบางกลุ่มจะมีช่วงของกรอบเวลาแคบมาก โดยกำหนดเป็นเปอร์เซ็นต์ของกรอบเวลา คือ 25%, 50%, 75% และ 100% สำหรับเวลาเดินทางในแต่ละเมืองกำหนดให้เท่ากับระยะทางแบบยุคลิด (Euclidean Distance) $t_{ij} = \sqrt{x^2 + y^2}$ ในกรณีที่ต้องการพิจารณาปัญหาที่มีขนาดเล็กลง เช่น 25 หรือ 50 เมือง สามารถเลือกได้จากลูกค้าในลำดับที่ 25 และ 50 เมืองแรกตามลำดับ โดยทุกปัญหาถูกจัดให้อยู่ในรูปแบบเดียวกัน คือ มีจำนวนแถวเท่ากับจำนวนคลังสินค้าและจำนวนลูกค้า และ 7 สดมภ์

สำหรับปัญหา HFVRPTWSD ในงานวิจัยนี้เป็นปัญหาที่เพิ่มเงื่อนไขที่ซับซ้อนขึ้น ดังนั้นการใช้ข้อมูลจำลองของ Solomon จึงต้องมีการดัดแปลงเพื่อให้มีความเหมาะสมกับปัญหา วิธีการดัดแปลงปัญหาเทียบเคียงของ Solomon จากปัญหา VRPTW พื้นฐานให้เป็น VRPTWSD ได้ถูกนำเสนอไว้โดย Ho and Haugland (2004) โดยการดัดแปลงความต้องการสินค้าของลูกค้าให้มีจำนวนมากขึ้น เพื่อให้เกิดกรณีที่มีการส่งสินค้าโดยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน กำหนดให้ m คือ ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง w_i คือ ความต้องการสินค้าของลูกค้า ($i = 1,...,n$) โดยจำนวนความต้องการสินค้าจากปัญหาเดิมจะถูกคำนวณใหม่ให้อยู่ในช่วง $[lm, um]$, เมื่อ $l < u$ และอยู่ในช่วง [0,1] จากนั้นกำหนดให้ความต้องการสินค้าใหม่ คือ

$w_i' = lm + m((u-l)/(\overline{w} - \underline{w}))(w_i - \underline{w})$, เมื่อ $\underline{w} = \min\{w_i : i \in C\}$

และ $\overline{w} = \max\{w_i : i \in C\}$ โดยที่ค่าความต้องการสินค้าใหม่ w_i' จะต้องถูกปรับให้อยู่ในรูปจำนวนเต็มเสมอ การทดลองในงานวิจัยนี้กำหนดช่วงค่าปรับความต้องการสินค้า (Demand values) $[l,u]$ = [0.01,0.50]

จากการดัดแปลงความต้องการสินค้าดังกล่าวจะทำให้เกิดกรณีการแบ่งแยกส่งสินค้าได้ แต่ไม่เกิดกรณีสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของรถขนส่งขนาดใหญ่ และใช้รถขนส่งขนาดเท่ากันเท่ากันเท่านั้น ซึ่งยังคงไม่เป็นไปตามเงื่อนไขในงานวิจัยนี้ จึงจำเป็นต้องมีการดัดแปลงเพิ่มเติมโดยสุ่มลูกค้าให้มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งขนาดใหญ่สุดจำนวน 2 ราย และกำหนดให้รถขนส่งมี 2 ขนาด โดยขนาดใหญ่สุดมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าเท่ากับปัญหา VRPTW ของ Solomon และขนาดรองลงมาให้มีขนาดเท่ากับ 50% ของรถขนส่งขนาดใหญ่ แสดงตัวอย่างการจัดรูปแบบปัญหา HFVRPTWSD ดังตารางที่ 5 และแสดงรายละเอียดของปัญหาทั้งหมดดังภาคผนวก ก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 5 ตัวอย่างปัญหา HFVRPTWSD จำนวนลูกค้า 25 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	200
2	200
3	200
4	200
5	200
6	200
7	100
8	100
9	100
รวม	1500

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	35	35	0	0	230	0
2	41	49	31	161	171	10
3	35	17	20	50	60	10
4	55	45	*242	116	126	10
5	55	20	64	149	159	10
6	15	30	89	34	44	10
7	25	30	6	99	109	10
8	20	50	13	81	91	10
9	10	43	27	95	105	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
10	55	60	53	97	107	10
11	30	60	53	124	134	10
12	20	65	38	67	77	10
13	50	35	64	63	73	10
14	30	25	78	159	169	10
15	15	10	67	32	42	10
16	30	5	24	61	71	10
17	10	20	64	75	85	10
18	5	30	2	157	167	10
19	20	40	*238	87	97	10
20	15	60	56	76	86	10
21	45	65	27	126	136	10
22	45	20	35	62	72	10
23	45	10	60	97	107	10
24	55	5	100	68	78	10
25	65	35	6	153	163	10
26	65	20	17	172	182	10

หมายเหตุ * หมายถึง ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของรถขนส่งขนาดใหญ่

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3.4.2 กรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลจริงของบริษัทที่มีการขนส่งสินค้าในลักษณะเดียวกับปัญหาในงานวิจัย คือ โรงงานผลิตน้ำดื่มแห่งหนึ่ง ในเขตจังหวัดชลบุรี และบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร ในเขตกรุงเทพมหานคร

1) โรงงานผลิตน้ำดื่ม โรงงานแห่งนี้ ตั้งอยู่เลขที่ 103 ต.แสนสุข อ.เมือง จ.ชลบุรี รหัสไปรษณีย์ 20130 เปิดกิจการมาแล้วเป็นเวลา 24 ปี ผลิตสินค้าประเภทน้ำดื่ม และจำหน่ายเครื่องเย็น โรงงานมีรถขนส่งจำนวน 9 คัน แบ่งเป็นรถขนส่งขนาดใหญ่มีขีดจำกัดในการบรรทุกน้ำ

ได้ 3,440 ลิตร (โดยเฉลี่ยทุกขนาดถังบรรจุ) จำนวน 4 คัน และรถขนส่งขนาดเล็กมีขีดจำกัด 1,720 ลิตร จำนวน 5 คัน

ภาพประกอบ 22 รถขนส่งน้ำดื่ม

ปัจจุบันโรงงานมีลูกค้าประจำจำนวน 30 ราย กระจายอยู่ในเขตจังหวัดชลบุรี โดยมีรายละเอียดตำแหน่งที่ตั้ง ปริมาณความต้องการสินค้าในแต่ละจุด กรอบเวลาในการให้บริการและเวลาในการให้บริการดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 ข้อมูลโรงงานผลิตน้ำดื่ม

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (ลิตร)
1	3,440
2	3,440
3	3,440
4	3,440
5	1,720
6	1,720
7	1,720
8	1,720
9	1,720
รวม	22,360

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	13.2861	100.9390	0	0	540	0
2	13.2865	100.9323	133	161	171	15
3	13.2847	100.9181	200	50	160	15
4	13.2743	100.9218	102	116	126	15
5	13.2729	100.9232	158	149	159	15
6	13.2638	100.9302	123	34	440	15
7	13.2662	100.9391	152	99	109	15
8	13.2620	100.9393	161	81	91	15
9	13.2599	100.9377	*3500	95	105	15
10	13.2554	100.9366	530	97	107	15
11	13.2534	100.9310	1153	124	134	15
12	13.2455	100.9323	337	67	177	15
13	13.2417	100.9352	*3640	63	173	15
14	13.2357	100.9381	278	159	169	15
15	13.2278	100.9345	267	32	42	15
16	13.2236	100.9352	224	61	71	15
17	13.2188	100.9368	164	75	85	15
18	13.2158	100.9457	200	157	167	15
19	13.2118	100.9436	238	87	97	15
20	13.2097	100.9417	566	76	86	15
21	13.2078	100.9448	1227	126	136	15

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

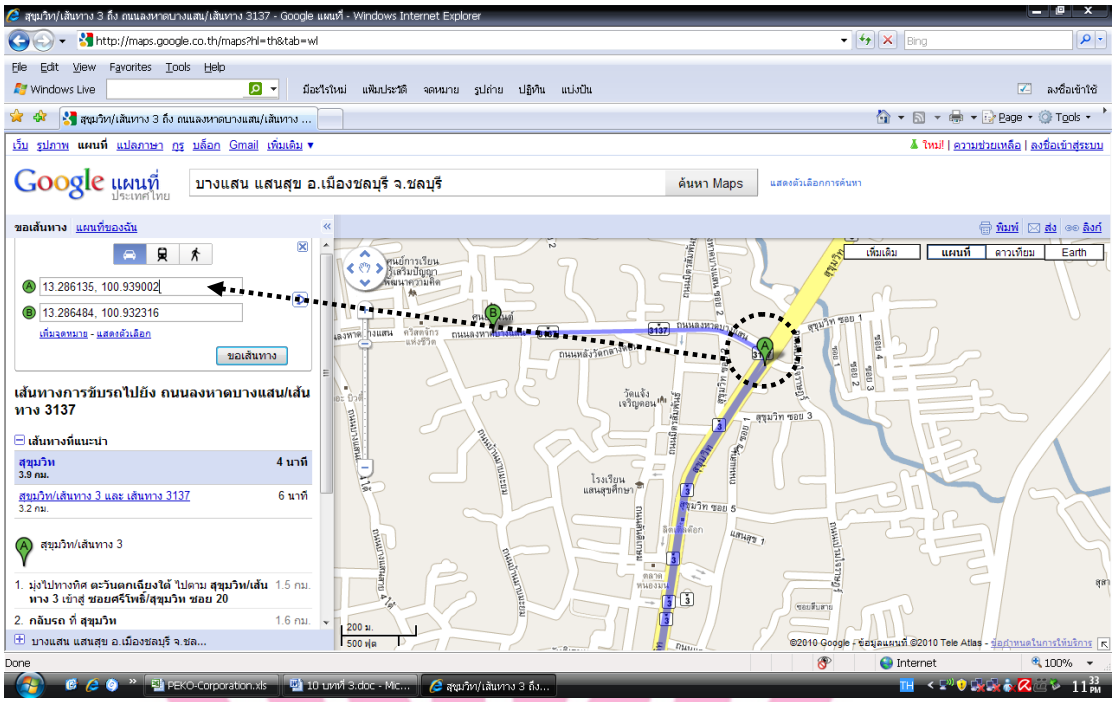
ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
22	13.1932	100.9395	1135	62	72	15
23	13.1894	100.9358	600	97	107	15
24	13.1870	100.9364	1156	68	78	15
25	13.1779	100.9306	1136	153	163	15
26	13.1676	100.9255	700	172	182	15
27	13.1643	100.9250	500	200	540	15
28	13.1622	100.9395	800	153	340	15
29	13.1633	100.9545	450	258	450	15
30	13.2856	100.9222	750	150	540	15
31	13.1790	100.9256	1460	125	178	15

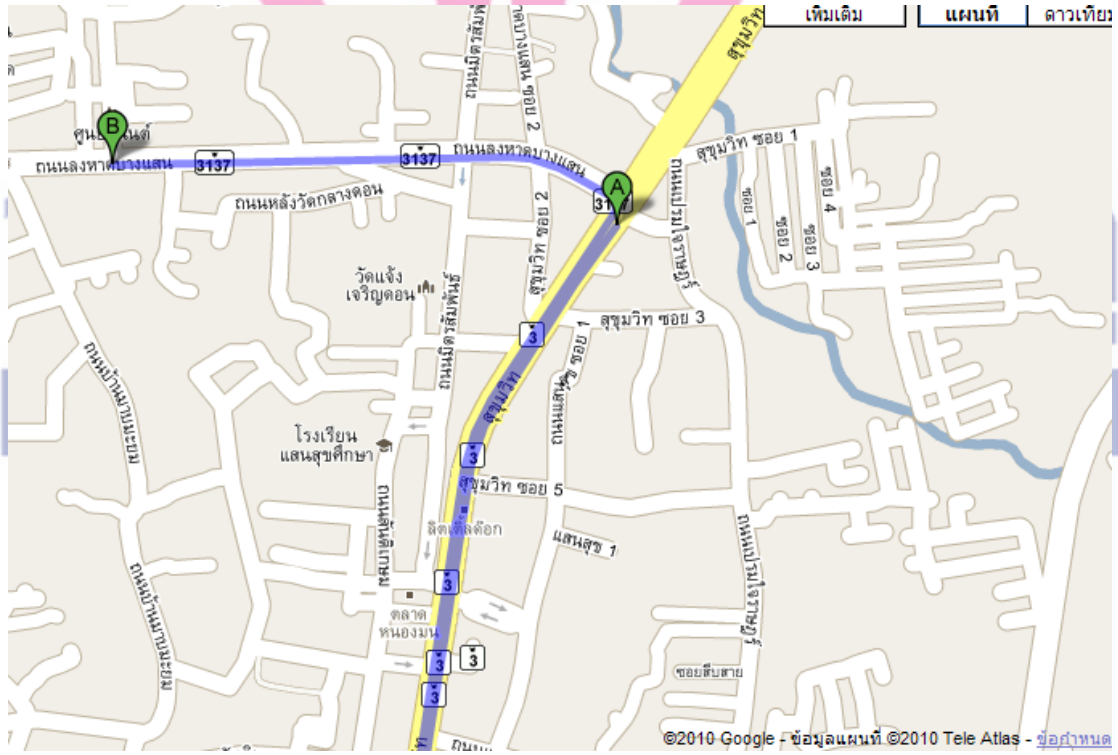
หมายเหตุ * หมายถึง ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของรถขนส่งขนาดใหญ่

ตำแหน่งที่ตั้ง X และ Y กำหนดได้โดยใช้ Google Map เพื่อแสดงตำแหน่งที่ตั้งของโรงงาน และลูกค้าแต่ละรายที่กระจายอยู่ตามตำแหน่งต่างๆ บนแผนที่ แสดงตัวอย่างดังภาพประกอบ 23

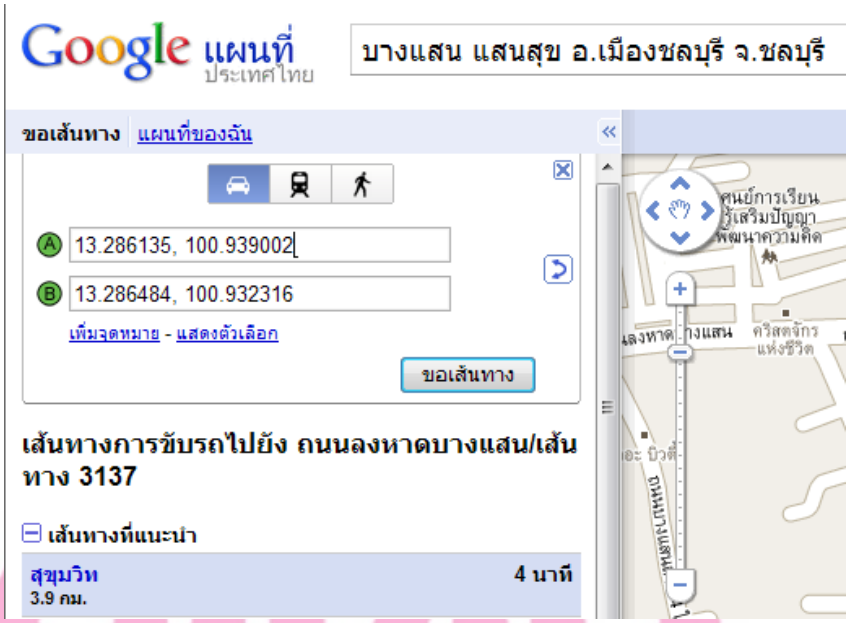
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 23 การใช้ Google Map เพื่อค้นหาตำแหน่งที่ตั้ง X และ Y



ภาพประกอบ 24 ตำแหน่งที่ตั้งโรงงาน (A) และลูกค้า (B)



ภาพประกอบ 25 การขอเส้นทางที่แนะนำบน Google Map

การใช้ Google Map ช่วยในการหาพิกัดจุด X และ Y รวมทั้งการหาเส้นทางแนะนำ เพื่อนำข้อมูลเวลาการเดินทางมาใช้เป็นข้อมูลนำเข้า (Input Parameter) ในการประมวลผลด้วยขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ ซึ่งผลหาพิกัดจุด X และ Y แสดงดังตารางที่ 6 คอลัมภ์ที่ 2 และ 3 ส่วนข้อมูลเวลาในการเดินทางระหว่างจุดลูกค้า แสดงดังตารางที่ 7

2) บริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร บริษัทมีการจัดส่งสินค้าให้แก่ซุปเปอร์มาร์เก็ตทั่วไปในเขตกรุงเทพมหานคร ปัจจุบันบริษัททำการค้ากับ 4 ซุปเปอร์มาร์เก็ตขนาดใหญ่ คือ บริษัทสยาม-จัสโก้ จำนวน 7 สาขา บริษัทฟู้ดแลนด์ จำกัด จำนวน 8 สาขา บริษัทเดอะมอลล์กรุ๊ป จำกัด จำนวน 6 สาขา บริษัท ซี อาร์ ซี เอโฮลด์ จำกัด (ท็อปส์ ซุปเปอร์มาร์เก็ต) จำนวน 38 สาขา และร้านค้าย่อยรายอื่นๆ จำนวน 2 สาขา รวมจำนวนลูกค้าทั้งสิ้น 61 ราย (นลินี, 2546) แสดงรายละเอียดข้อมูลลูกค้าทั้งหมดดังภาคผนวก ค

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 7 เวลาเดินทางสำหรับโรงงานผลิตน้ำดื่ม (นาที)

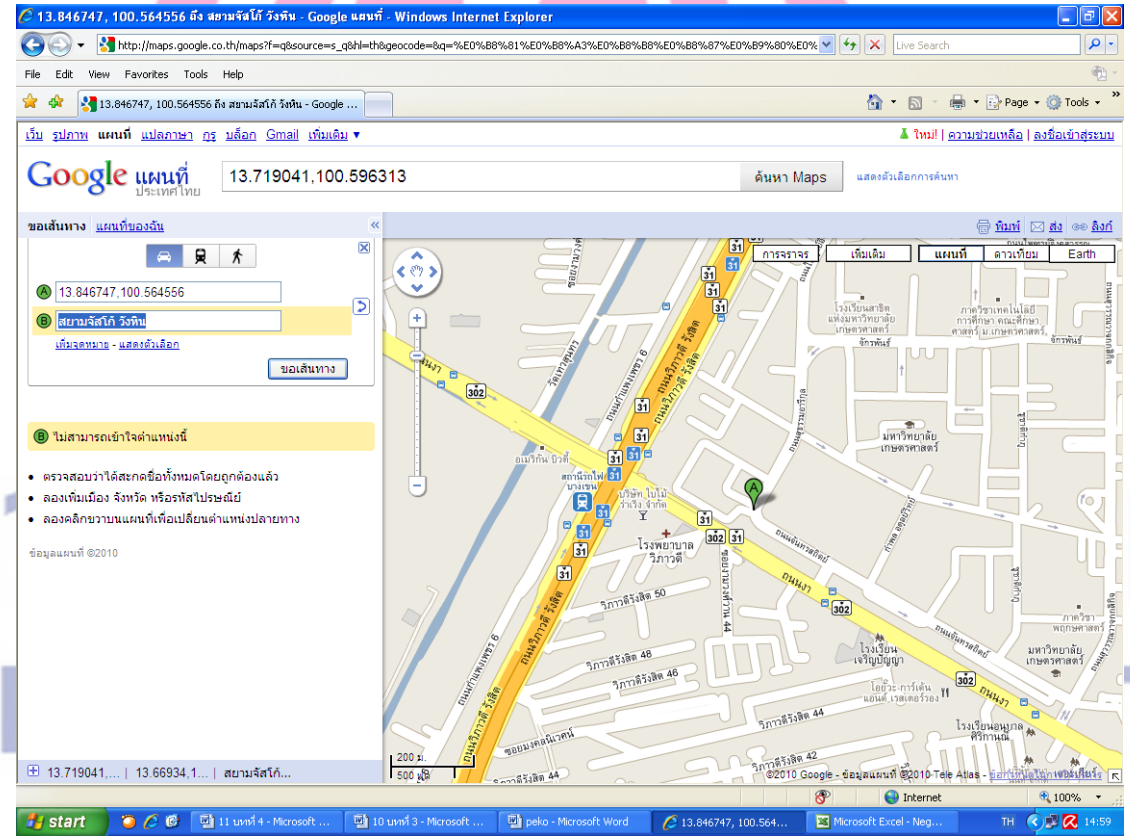
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
1	0	4	8	7	6	6	4	4	5	4	4	5	4	5	8	13	13	13	9	10	4	10	6	5	7	13	13	9	10	8	10
2	4	0	8	9	5	10	8	5	13	6	8	10	13	7	13	9	4	7	8	12	9	9	4	13	13	11	10	13	8	9	4
3	8	8	0	8	11	12	5	9	9	11	9	9	5	4	9	10	4	6	8	8	11	13	5	10	5	10	4	11	10	10	11
4	7	9	8	0	6	10	7	12	7	4	4	5	4	7	7	13	4	9	9	13	9	10	10	6	10	4	5	12	9	5	7
5	6	5	11	6	0	6	9	6	10	9	13	10	11	13	6	11	6	7	7	11	4	10	8	13	4	10	13	13	9	4	6
6	6	10	12	10	6	0	4	4	8	9	9	12	9	6	6	12	12	4	7	7	6	13	4	11	7	4	6	6	9	6	4
7	4	8	5	7	9	4	0	12	13	12	11	13	11	6	12	9	13	6	12	7	7	7	12	13	9	6	5	10	8	9	13
8	4	5	9	12	6	4	12	0	5	5	8	6	12	6	6	6	13	12	13	11	12	10	13	13	4	5	9	11	9	6	4
9	5	13	9	7	10	8	13	5	0	5	4	9	12	7	11	5	10	4	11	10	6	10	10	11	8	10	10	10	4	11	7
10	4	6	11	4	9	9	12	5	5	0	4	6	7	9	8	9	12	6	12	13	5	10	11	9	8	5	8	11	6	12	4
11	4	8	9	4	13	9	11	8	4	4	0	9	8	13	13	9	9	4	8	12	12	9	12	7	8	5	9	11	6	6	10
12	5	10	9	5	10	12	13	6	9	6	9	0	4	7	4	11	13	6	8	7	9	11	6	6	5	12	6	12	9	12	11
13	4	13	5	4	11	9	11	12	12	7	8	4	0	4	12	7	9	9	11	13	8	12	11	13	10	10	13	4	4	13	8
14	5	7	4	7	13	6	6	6	7	9	13	7	4	0	5	12	9	6	9	8	12	7	13	11	8	13	4	7	5	8	4
15	8	13	9	7	6	6	12	6	11	8	13	4	12	5	0	9	4	11	7	11	8	9	5	10	11	12	9	8	5	5	6
16	13	9	10	13	11	12	9	6	5	9	9	11	7	12	9	0	10	11	6	8	11	13	4	9	8	13	13	13	11	11	8
17	13	4	4	4	6	12	13	13	10	12	9	13	9	9	4	10	0	8	8	8	10	10	6	6	8	9	12	10	9	13	6
18	13	7	6	9	7	4	6	12	4	6	4	6	9	6	11	11	8	0	4	10	12	9	11	4	9	8	9	5	10	4	10
19	9	8	8	9	7	7	12	13	11	12	8	8	11	9	7	6	8	4	0	7	12	9	7	12	13	7	11	6	8	7	11
20	10	12	8	13	11	7	7	11	10	13	12	7	13	8	11	8	8	10	7	0	5	7	13	12	8	7	4	4	5	10	12

ตารางที่ 7 (ต่อ)

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
21	4	9	11	9	4	6	7	12	6	5	12	9	8	12	8	11	10	12	12	5	0	10	7	11	9	11	10	6	13	9	9
22	10	9	13	10	10	13	7	10	10	10	9	11	12	7	9	13	10	9	9	7	10	0	10	13	7	5	9	13	10	10	13
23	6	4	5	10	8	4	12	13	10	11	12	6	11	13	5	4	6	11	7	13	7	10	0	13	7	6	8	6	4	7	9
24	5	13	10	6	13	11	13	13	11	9	7	6	13	11	10	9	6	4	12	12	11	13	13	0	11	12	7	4	9	10	7
25	7	13	5	10	4	7	9	4	8	8	8	5	10	8	11	8	8	9	13	8	9	7	7	11	0	7	7	10	11	10	7
26	13	11	10	4	10	4	6	5	10	5	5	12	10	13	12	13	9	8	7	7	11	5	6	12	7	0	11	12	6	6	12
27	13	10	4	5	13	6	5	9	10	8	9	6	13	4	9	13	12	9	11	4	10	9	8	7	7	11	0	8	11	10	4
28	9	13	11	12	13	6	10	11	10	11	11	12	4	7	8	13	10	5	6	4	6	13	6	4	10	12	8	0	8	7	9
29	10	8	10	9	9	9	8	9	4	6	6	9	4	5	5	11	9	10	8	5	13	10	4	9	11	6	11	8	0	6	11
30	8	9	10	5	4	6	9	6	11	12	6	12	13	8	5	11	13	4	7	10	9	10	7	10	10	6	10	7	6	0	8
31	10	4	11	7	6	4	13	4	7	4	10	11	8	4	6	8	6	10	11	12	9	13	9	7	7	12	4	9	11	8	0

ปัจจุบันเส้นทางการจัดส่งสินค้าถูกกำหนดจากประสบการณ์ของพนักงานขาย จึงไม่สามารถตรวจสอบได้ว่าเป็นการจัดส่งตามลำดับเส้นทางที่คุ้มค่าที่สุดหรือไม่ ซึ่งขัดแย้งกับความต้องการของบริษัทที่ต้องการให้เกิดความคุ้มค่าในระบบการจัดส่งสินค้าให้ได้มากที่สุด เพื่อประหยัดเวลา และค่าใช้จ่ายของบริษัท

บริษัทมีรถขนส่งจำนวน 9 คัน แบ่งเป็นรถขนาดใหญ่จำนวน 2 คัน รถขนาดกลางจำนวน 3 คัน และรถขนาดเล็กจำนวน 4 คัน สำหรับข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผลแสดงดังตารางที่ โดยพิกัด X และ Y สามารถสืบค้นได้จากการกำหนดจุดบน Google Map เช่นเดียวกับกรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม โดยเวลาที่ใช้ในการเดินทาง เลือกจากเวลาที่สั้นที่สุดที่ Google Map แนะนำเส้นทาง



ภาพประกอบ 26 ตำแหน่งที่ตั้งบริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร

ตารางที่ 8 ข้อมูลบริษัทผลิตและจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (กล่อง)
1	5000
2	5000
3	2000
4	2000
5	2000
6	1000
7	1000
8	1000
9	1000
รวม	20000

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	13.8467	100.5646	100	0	540	0
2	13.7381	100.5956	500	0	480	20
3	13.7971	100.5738	200	0	480	20
4	13.6540	100.5050	100	0	480	20
5	13.6580	100.3855	600	0	480	20
6	13.8155	100.5925	300	0	480	20
7	13.9057	100.5496	400	0	480	20

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
8	13.7461	100.6492	400	0	480	20
9	13.6240	100.6231	300	0	540	25
10	13.8693	100.6235	200	0	540	25
11	13.7461	100.5991	100	0	540	25
12	13.7347	100.5321	500	0	540	25
13	13.7812	100.6255	300	0	540	25
14	13.7220	100.5603	200	0	540	25
15	13.7521	100.5833	350	0	540	25
16	13.7707	100.4743	800	0	540	25
17	13.7637	100.6337	700	0	480	20
18	13.7177	100.4782	200	0	480	20
19	13.7801	100.6403	320	0	480	20
20	13.7180	100.4071	530	0	480	20
21	13.8572	100.5411	100	0	480	20
22	13.7307	100.5647	500	0	480	20
23	13.7240	100.5139	360	60	540	25
24	13.8011	100.5934	200	60	540	25
25	13.8286	100.6785	150	60	540	25
26	13.7557	100.4693	260	60	540	25
27	13.8412	100.5744	320	60	540	25
28	13.8345	100.5708	250	60	540	25

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
29	13.6540	100.4116	280	60	540	25
30	13.7334	100.4964	700	60	540	25
31	13.7474	100.5297	450	60	540	25
32	13.6620	100.5175	620	60	540	25
33	13.7897	100.4662	320	60	540	25
34	13.6388	100.5001	150	60	540	25
35	13.7297	100.5249	260	60	540	25
36	13.6973	100.5373	230	60	540	25
37	13.8685	100.6234	500	60	540	25
38	13.7655	100.5372	220	60	540	25
39	13.7701	100.5723	100	60	540	25
40	13.7541	100.5788	100	60	540	25
41	13.7238	100.5204	600	60	540	25
42	13.7067	100.6530	320	60	540	25
43	13.7804	100.6979	450	60	540	25
44	13.7291	100.5719	260	60	540	25
45	13.7449	100.5017	320	60	540	25
46	13.7105	100.5421	150	60	540	25
47	13.8410	100.5485	230	60	540	25
48	13.7442	100.5449	140	60	540	25
49	13.7414	100.5713	280	60	540	25

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 8 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
50	13.6793	100.6169	290	60	540	25
51	13.7324	100.5658	320	60	540	25
52	13.7377	100.5644	400	60	540	25
53	13.7337	100.5359	300	60	540	25
54	13.7487	100.5404	600	60	540	25
55	13.9877	100.6173	250	60	540	25
56	13.7417	100.5462	100	60	540	25
57	13.8651	100.4966	150	60	540	25
58	13.9257	100.5895	300	60	540	25
59	13.9228	100.6372	150	60	540	25
60	13.7863	100.4625	230	60	540	25
61	13.7537	100.5321	260	300	540	25
62	13.8469	100.5612	400	0	540	30

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

3.5 การออกแบบการทดลอง

3.5.1 การทดลองโดยใช้ข้อมูลจำลอง ทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ R1, R2, C1, C2, RC1 และ RC2 โดยการทดลองแบ่งออกเป็น 2 ขั้นตอน คือ

1) การทดลองเพื่อเปรียบเทียบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น แบ่งเป็น วิธีที่ 1: การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดเป็นตัวแรกผสมการค้นหาทาบู (FBTS), วิธีที่ 2: การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดเป็นตัวแรกผสมการค้นหาทาบู (GBTS) และวิธีที่ 3: การค้นหาทาบู (TS)

การเปรียบเทียบสมรรถนะนี้ ใช้ตัวชี้วัดที่สำคัญ คือ คุณภาพของผลเฉลย (Quality of Solution) โดยพิจารณาค่าต่ำสุด และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (Computer Run Time)

2) การทดลองเพิ่มจำนวนลูกค้า โดยใช้ข้อมูลจำลองทั้ง 6 ประเภท และจำนวนลูกค้าแต่ละประเภทแบ่งออกเป็น 25, 50 และ 100 ราย โดยเลือกใช้ขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมที่ได้จากขั้นตอนที่ 1) ในการประมวลผล เพื่อทดสอบว่าขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้ประมวลผลได้ในกรณีที่ลูกค้ามีจำนวนเพิ่มมากขึ้น โดยกำหนดไว้สูงสุดที่จำนวนลูกค้า 100 ราย และทำการวิเคราะห์เวลาที่ใช้ในการประมวลผลสำหรับข้อมูลแต่ละประเภทว่าใช้เวลาในการประมวลผลที่มีอัตราเพิ่มขึ้นเป็นอย่างไร เมื่อจำนวนลูกค้าเพิ่มมากขึ้น

3.5.2 การทดลองโดยใช้ข้อมูลจริงจากภาคธุรกิจอุตสาหกรรม ประกอบด้วย 2 กรณีศึกษา ได้แก่ โรงงานผลิตน้ำดื่ม และบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร เพื่อเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และการใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

จากผลการทดลองโดยใช้ข้อมูลจำลอง และข้อมูลจากกรณีศึกษา พบว่าขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นสามารถแก้ปัญหาได้ โดยแสดงผลการทดลองดังต่อไปนี้

4.1 การทดลองโดยใช้ข้อมูลจำลอง ทั้ง 6 ประเภท ได้แก่ R1, R2, C1, C2, RC1 และ RC2 โดยแบ่งวิธีการทดลอง 2 ลักษณะ ได้แก่

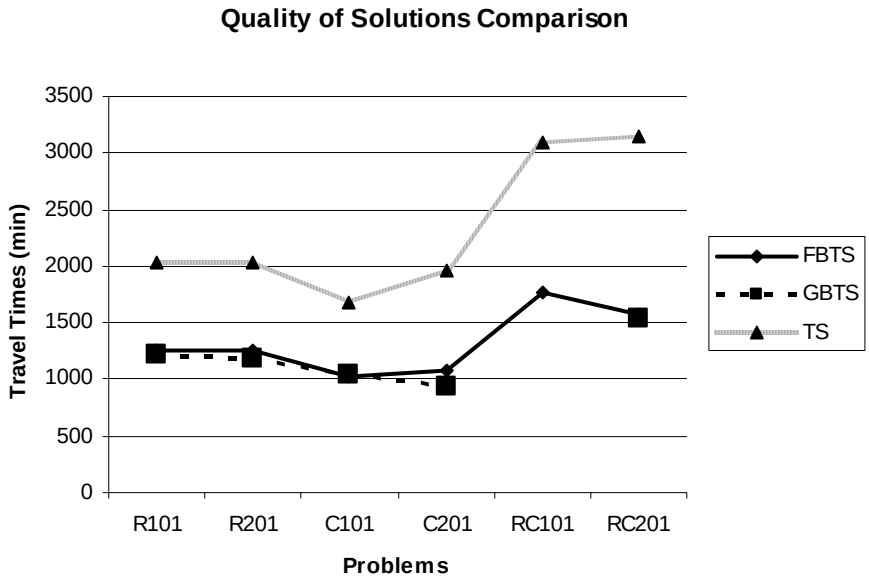
4.1.1 เปรียบเทียบขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น เพื่อเลือกขั้นตอนวิธีที่เหมาะสมที่สุดไปประยุกต์กับข้อมูลจริง ซึ่งขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่นำเสนอ แบ่งเป็น วิธีที่ 1: การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดเป็นตัวแรกร่วมกับวิธีค้นหาทาบู (FBTS), วิธีที่ 2: การค้นหาเฉพาะที่แบบพบค่าดีที่สุดจากทั้งหมดร่วมกับวิธีค้นหาทาบู (GBTS) และวิธีที่ 3: วิธีค้นหาทาบู (TS) โดยตัวชี้วัดที่สำคัญ คือ คุณภาพของผลเฉลย (Quality of Solutions) และเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (Computer Run Time) ผลการทดลองที่ได้แสดงดังตารางที่ 9

ตารางที่ 9 ผลการเปรียบเทียบสมรรถนะของขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์

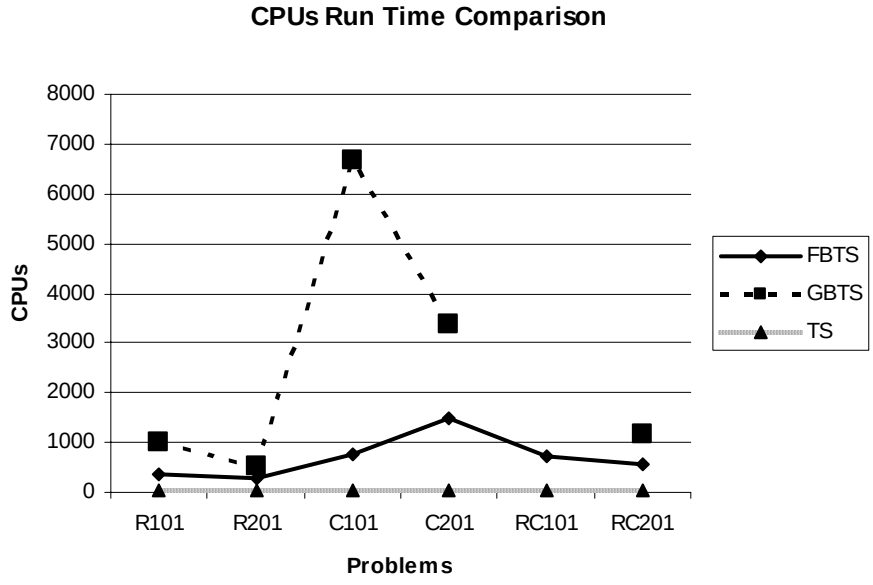
Problems	FBTS		GBTS		TS	
	TT	CPUs	TT	CPUs	TT	CPUs
R101.50	1255	368	1217	992	2025	24
R201.50	1263	267	1190	516	2039	26
C101.50	1033	775	1036	6673	1674	23
C201.50	1085	1497	931	3386	1969	22
RC101.50	1768	726	N/a	N/a	3091	23
RC201.50	1572	575	1546	1150	3153	21

หมายเหตุ: Problems = ตัวอย่างปัญหา MFVRPTWSD
TT = เวลาเดินทางโดยรวม (Total Travel Times)
CPU(s) = เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์
N/a = ไม่มีข้อมูล

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 27 การเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลย



ภาพประกอบ 28 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล

จากภาพประกอบ 27-28 เมื่อเปรียบเทียบคุณภาพของผลเฉลย โดยพิจารณาจากเวลาเดินทางโดยรวมต่ำสุด ผลที่ได้แสดงให้เห็นว่าวิธี GBTS ให้ค่าเวลาเดินทางโดยรวมต่ำสุด หรือ

คุณภาพผลเฉลยดีที่สุด แต่พบว่าปัญหาประเภท RC101 ไม่สามารถหาผลเฉลยได้ ส่วนวิธี FBTS ให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับวิธี GBTS และสามารถหาผลเฉลยสำหรับปัญหาทุกประเภท

และเมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยพิจารณาจากเวลา CUPs ที่เร็วที่สุด พบว่าวิธี TS ให้ผลที่ดีที่สุด ในขณะที่วิธี GBTS ใช้เวลาในการประมวลผลนานที่สุด โดยเฉพาะปัญหาประเภท C101 ใช้เวลาประมวลผลนานถึง 6673 วินาที เมื่อพิจารณาสมรรถนะร่วมกันทั้ง 2 ตัวชี้วัด โดยมีเป้าหมายสำหรับงานวิจัยนี้ คือ คุณภาพผลเฉลยที่ดี โดยไม่จำเป็นต้องเป็นค่าเหมาะที่สุด (Optimum) และใช้เวลาในการประมวลผลที่ยอมรับได้ หากต้องการประหยัดเวลาในการประมวลผล สามารถกระทำได้โดยเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์ ซึ่งเทคโนโลยีในปัจจุบันนี้ทำให้คอมพิวเตอร์มีความเร็วสูงมากขึ้น ซึ่งทำให้ตัวดัชนีชี้วัดทางด้านเวลาค่อนข้างมีความสำคัญน้อยลง

ดังนั้นจากผลการวิเคราะห์เปรียบเทียบ ผู้ทำวิจัยจึงเลือกใช้วิธี FBTS ในการประมวลผลหัวข้อถัดไป เนื่องจากวิธี FBTS ให้ผลเฉลยที่เหมาะสม ในขณะที่ใช้เวลาในการประมวลผลที่ยอมรับได้

4.1.2 ผลการทดลองใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ในการประมวลผลกับข้อมูลจำลองทั้ง 6 ประเภท โดยแบ่งจำนวนลูกค้าแต่ละประเภทออกเป็น 25, 50 และ 100 ราย และเลือกใช้วิธี FBTS ที่ได้จากผลการทดลองจากขั้นตอนที่ 4.1.1 ในการประมวลผล ซึ่งผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าวิธี FBTS สามารถหาผลเฉลยได้สำหรับปัญหาทั้ง 6 ประเภท โดยมีจำนวนลูกค้าสูงสุด 100 ราย แสดงตัวอย่างในการประมวลผลสำหรับปัญหา HFVRPTWSD ประเภท R101 และจำนวนลูกค้า 25 ราย รายละเอียดข้อมูลแสดงไว้ในบทที่ 3 ตารางที่ 6 ซึ่งการประมวลผลที่ได้ให้ผลเฉลยดังต่อไปนี้

มหาวิทยาลัยศริปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 10 ตัวอย่างผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101 (จำนวนลูกค้า 25 ราย)

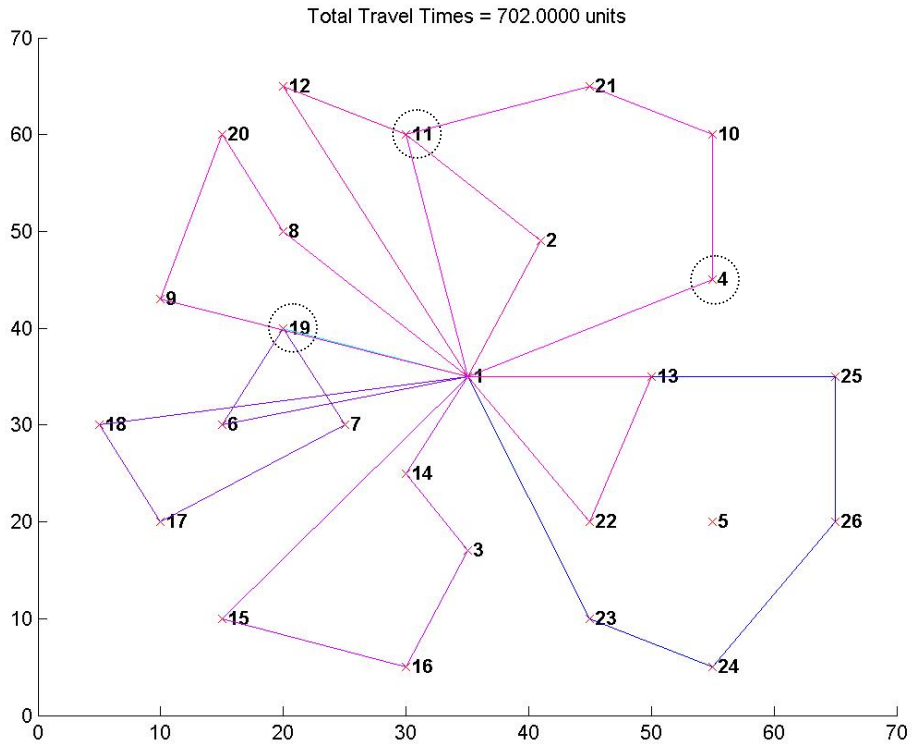
Vehicles	Capacity	Results		Total
1	200	Route	1 ---> 4 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 200 ---> 0	200
2	200	Route	1 ---> 19 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 200 ---> 0	200

ตารางที่ 10 (ต่อ)

Vehicles	Capacity	Results		Total
3	200	Route	1 ---> 23 ---> 24 ---> 26 ---> 25 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 60 ---> 100 ---> 17 ---> 6 ---> 0	183
4	200	Route	1 ---> 6 ---> 19 ---> 7 ---> 17 ---> 18 ---> 1	5
		Demand	0 ---> 89 ---> 38 ---> 6 ---> 64 ---> 2 ---> 0	199
5	200	Route	1 ---> 15 ---> 16 ---> 3 ---> 14 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 67 ---> 24 ---> 20 ---> 78 ---> 0	189
6	200	Route	1 ---> 4 ---> 10 ---> 21 ---> 11 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 42 ---> 53 ---> 27 ---> 43 ---> 0	165
7	100	Route	1 ---> 8 ---> 20 ---> 9 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 13 ---> 56 ---> 27 ---> 0	96
8	100	Route	1 ---> 22 ---> 13 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 35 ---> 64 ---> 0	99
9	100	Route	1 ---> 12 ---> 11 ---> 2 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 38 ---> 10 ---> 31 ---> 0	79

หมายเหตุ: Vehicle = รถขนส่งคันที่
Capacity = ความสามารถในการบรรทุกสินค้า
Results = ผลการจัดเส้นทาง
Total = ผลรวมจำนวนลูกค้าในแต่ละเส้นทาง และผลรวมปริมาณสินค้าที่จัดส่งให้แก่ลูกค้า
Route = เส้นทางเดินรถขนส่ง
Demand = จำนวนสินค้าที่จัดส่งให้ลูกค้าแต่ละราย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 29 เส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101

ตารางที่ 11 รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับปัญหา R101

หัวข้อ	ผลที่ได้
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	1
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	64
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	702
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	3
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	39

จากผลการทดลองในตารางที่ 10 และภาพประกอบ 29 เป็นการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งในแต่ละวัน ซึ่งขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ สามารถแสดงผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแต่ละคันและรายงานผลเพื่อให้ทราบข้อมูลโดยรวม เช่น จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ 1 ราย ได้แก่ลูกค้า ณ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตำแหน่งที่ 5 โดยจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบเป็นจำนวน 64 หน่วย ในกรณีนี้ทำให้ผู้ประกอบการสามารถวางแผนการแก้ไขเบื้องต้นได้ ดังต่อไปนี้

1) ใช้รถขนส่งสำรอง (ถ้ามี) ในกรณีฉุกเฉิน
2) ใช้บริการรถขนส่งจากแหล่งบริการภายนอก (Outsourcing)
3) แบ่งแยกส่งสินค้าโดยใช้รถขนส่งมากกว่า 2 คัน ในกรณีที่ลูกค้ายินยอม

สำหรับกรณีที่ 3) นั้นหากลูกค้ายินยอมให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าโดยใช้รถขนส่งมากกว่า 2 คันได้ ผู้ประกอบการต้องมีการปรับแผนการเดินรถขนส่งใหม่อีกครั้งหนึ่ง (Re-Scheduling) โดยใช้ผลการจัดเส้นทางที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น และดำเนินการดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 หาความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลือ (Remaining Capacity) สำหรับรถบรรทุกแต่ละคัน
ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าคงเหลือจากมากไปน้อย
ขั้นตอนที่ 3 เลือกรถขนส่งในลำดับแรกจนถึงลำดับที่มีผลรวมของขีดความสามารถคงเหลือเท่ากับหรือมากกว่าความต้องการสินค้าที่ไม่ได้จัดส่ง
ขั้นตอนที่ 4 จัดเส้นทางเดินรถขนส่งใหม่เพื่อให้บริการลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ (Unmet Customer) เพิ่มเติม

ตัวอย่างการคำนวณในกรณีที่ 3) สำหรับปัญหา R101

ขั้นตอนที่ 1

ตารางที่ 12 ความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลือสำหรับปัญหา R101

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)	จำนวนสินค้าที่จัดส่งได้	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าคงเหลือ (หน่วย)
1	200	200	0
2	200	200	0
3	200	183	17
4	200	199	1
5	200	189	11

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 12 (ต่อ)

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)	จำนวนสินค้าที่จัดส่งได้	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าคงเหลือ (หน่วย)
6	200	165	35
7	100	96	4
8	100	99	1
9	100	79	21

ขั้นตอนที่ 2

ตารางที่ 13 ผลการเรียงลำดับขีดความสามารถสำหรับปัญหา R101

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าคงเหลือ (หน่วย)	ขีดความสามารถคงเหลือสะสม
6	200	35	35
9	100	21	56
3	200	17	*73
5	200	11	84
7	100	4	88
4	200	1	89
8	100	1	90
1	200	0	90
2	200	0	90

ขั้นตอนที่ 3 สำหรับปัญหา R101 ลูกค้ารายที่ 5 ที่ไม่ได้รับบริการ มีความต้องการสินค้าจำนวน 64 หน่วย เพราะฉะนั้นขีดความสามารถคงเหลือที่เท่ากับหรือมากกว่า 64 คือ 73 หน่วย จึงเลือกรถขนส่ง 3 คันแรก เพื่อให้บริการลูกค้ารายดังกล่าว ประกอบด้วย รถขนส่งคันที่ 6 จำนวน 35 หน่วย, รถขนส่งคันที่ 9 จำนวน 21 หน่วย และรถขนส่งคันที่ 3 จำนวน 8 หน่วย รวมทั้งสิ้น 64 หน่วย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ขั้นตอนที่ 4 จัดเส้นทางเดินรถขนส่งใหม่ดังตารางที่ 14

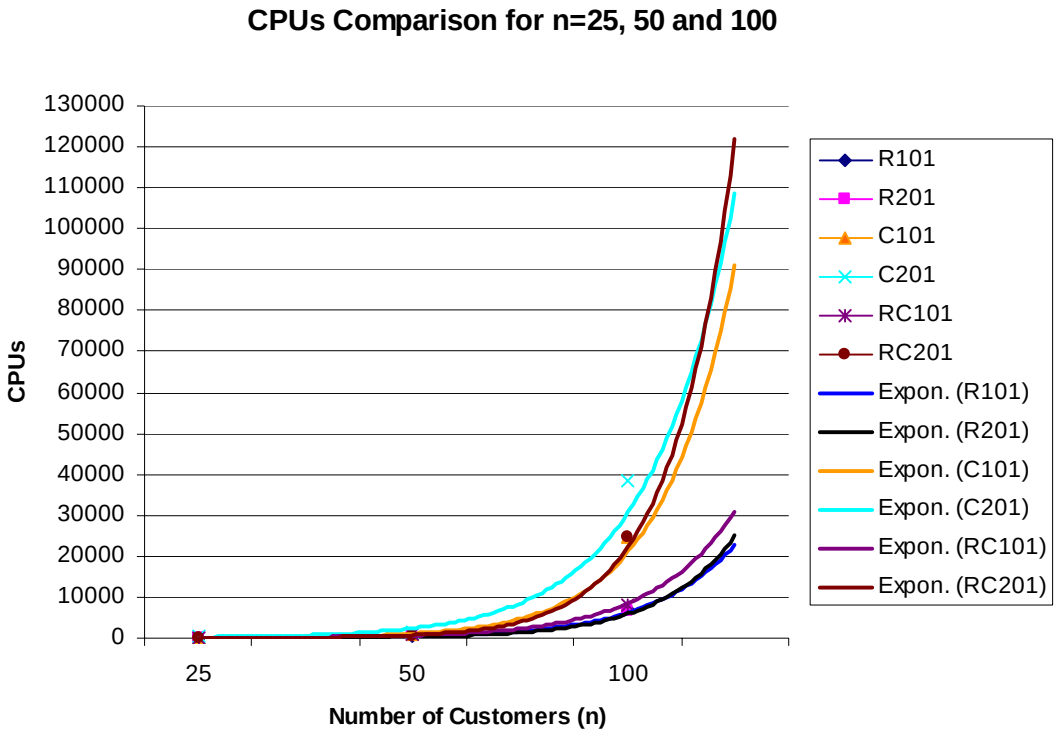
ตารางที่ 14 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งใหม่สำหรับปัญหา R101

Vehicles	Capacity	Results		Total
1	200	Route	1 ---> 4 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 200 ---> 0	200
2	200	Route	1 ---> 19 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 200 ---> 0	200
***3**	**200**	**Route**	**1 ---> 23 ---> 24 ---> 26 ---> 25 ---> 5 ---> 1**	**5**
		Demand	**0 ---> 60 ---> 100 ---> 17 ---> 6 ---> 8 ---> 0**	**191**
4	200	Route	1 ---> 6 ---> 19 ---> 7 ---> 17 ---> 18 ---> 1	5
		Demand	0 ---> 89 ---> 38 ---> 6 ---> 64 ---> 2 ---> 0	199
5	200	Route	1 ---> 15 ---> 16 ---> 3 ---> 14 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 67 ---> 24 ---> 20 ---> 78 ---> 0	189
***6**	**200**	**Route**	**1 ---> 4 ---> 10 ---> 21 ---> 11 ---> 5 ---> 1**	**5**
		Demand	**0 ---> 42 ---> 53 ---> 27 ---> 43 ---> 35 ---> 0**	**200**
7	100	Route	1 ---> 8 ---> 20 ---> 9 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 13 ---> 56 ---> 27 ---> 0	96
8	100	Route	1 ---> 22 ---> 13 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 35 ---> 64 ---> 0	99
***9**	**100**	**Route**	**1 ---> 12 ---> 11 ---> 2 ---> 5 ---> 1**	**4**
		Demand	**0 ---> 38 ---> 10 ---> 31 --->21 ---> 0**	**100**

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งใหม่ ทำให้ผู้ประกอบการสามารถใช้รถขนส่งได้อย่างมีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้บริการลดลงจากเดิม 1 ราย เหลือ 0 ราย ในขณะที่มีจำนวนลูกค้าที่ต้องแบ่งแยกส่งสินค้าเพิ่มขึ้นจาก 3 รายเดิม คือ ลูกค้ารายที่ 4, 11 และ 19 แสดงตำแหน่งการแบ่งแยกส่งสินค้าดังภาพประกอบ 29 และเพิ่มเติมลูกค้ารายที่ 5 อีก 1 ราย รวมเป็น 4 ราย สำหรับขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นไม่ครอบคลุมในส่วนของการจัดเส้นทางใหม่นี้ เนื่องจากผู้ประกอบการแต่ละรายอาจมีนโยบายในการจัดการส่งสินค้าที่แตกต่างกัน การแบ่งแยกส่งสินค้าด้วยรถขนส่งจำนวนหลายคันอาจไม่เหมาะสมสำหรับบางธุรกิจ

สำหรับผลการทดลองใช้วิธีเมต้าฮิวริสติกส์ในการประมวลผลกับข้อมูลจำลองที่เหลือ คือ R201, C101, C201, RC101 และ RC201 โดยแบ่งจำนวนลูกค้าออกเป็น 25, 50 และ 100 ราย โดยผลการทดลองที่ได้แสดงดังภาคผนวก ข และแสดงผลการเปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลดังภาพประกอบ 30



ภาพประกอบ 30 เปรียบเทียบเวลาในการประมวลผลสำหรับลูกค้าจำนวน 25, 50 และ 100 ราย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

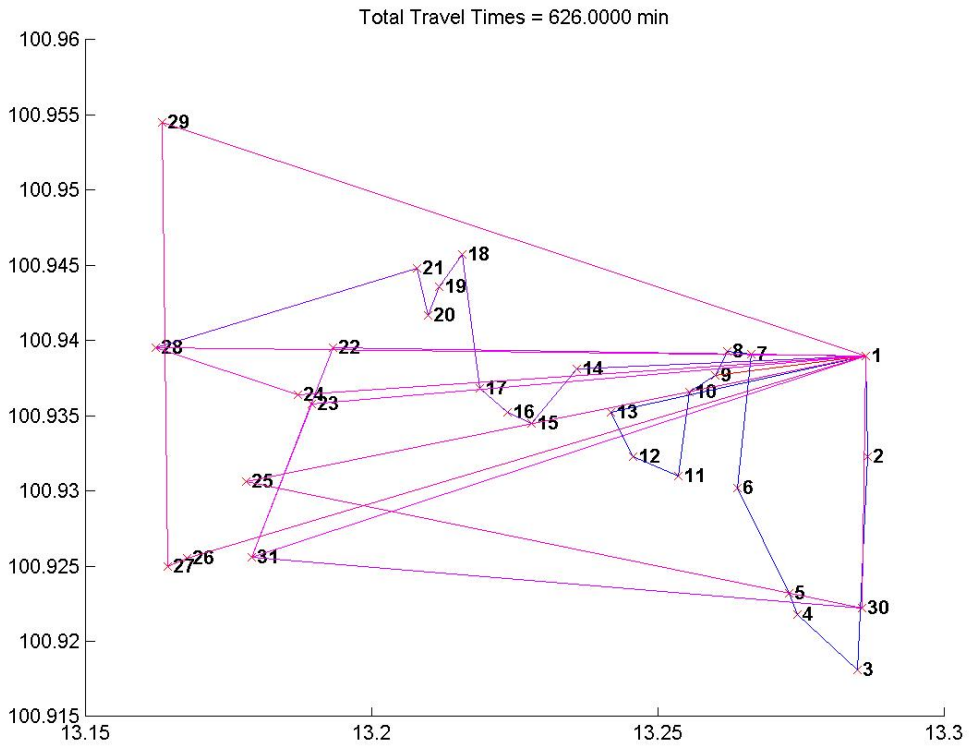
4.2 ผลการทดลองโดยใช้กรณีศึกษา และเปรียบเทียบผลระหว่างวิธีการเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน และการใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น

4.2.1 โรงงานผลิตน้ำดื่ม จังหวัดชลบุรี ในบทนี้ได้เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งด้วยวิธีเดิมของโรงงานกับวิธีใหม่ที่ได้จากการประมวลผลด้วยขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น ผลที่ได้แสดงดังตารางที่ 15 และภาพประกอบ 31

ตารางที่ 15 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม)

Vehicles	Capacity	Results		Total
1	3440	Route	1 ---> 9 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 3440 ---> 0	3440
2	3440	Route	1 ---> 13 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 3440 ---> 0	3440
3	3440	Route	1 ---> 2 ---> 3 ---> 4 ---> 5 ---> 6 ---> 7 --->8 ---> 9 ---> 10 ---> 11 ---> 12 ---> 13 ---> 1	12
		Demand	0 ---> 133 ---> 200 ---> 102 ---> 158 ---> 123 ---> 152 ---> 161 ---> 60 ---> 530 ---> 1153 --->337 ---> 200 ---> 0	3309
4	3440	Route	1 ---> 14 ---> 15 ---> 16 ---> 17 ---> 18 ---> 19 ---> 20 ---> 21 ---> 28 ---> 1	9
		Demand	0 ---> 278 ---> 267 ---> 224 ---> 164 ---> 200 ---> 238 ---> 566 ---> 1227 ---> 236 ---> 0	3400
5	1720	Route	1 ---> 22 ---> 31 ---> 30 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 1135 ---> 340 ---> 166 ---> 0	1641
6	1720	Route	1 ---> 23 ---> 31 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 600 ---> 1120 ---> 0	1720
7	1720	Route	1 ---> 24 ---> 28 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 1156 ---> 564 ---> 0	1720
8	1720	Route	1 ---> 25 ---> 30 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 1136 ---> 584 ---> 0	1720
9	1720	Route	1 ---> 26 ---> 27 ---> 29---> 1	3
		Demand	0 ---> 700 ---> 500 ---> 450 ---> 0	1650

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 31 เส้นทางการเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม)

ตารางที่ 16 รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีเดิม)

หัวข้อ	ผลที่ได้
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	0
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	0
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	626
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	5
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	N/a

หมายเหตุ: N/a = ไม่มีข้อมูล

วิธีเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน โรงงานมุ่งเน้นการจัดเส้นทางตามความสะดวก คือ ถึงร้านค้าใดก่อนก็แวะส่งก่อน โดยมิได้คำนึงการประหยัดเวลาในการขนส่ง ข้อดีที่สำคัญของวิธีเดิม คือ ไม่พบลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ ส่วนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า มีจำนวน 5 ราย ประกอบด้วย

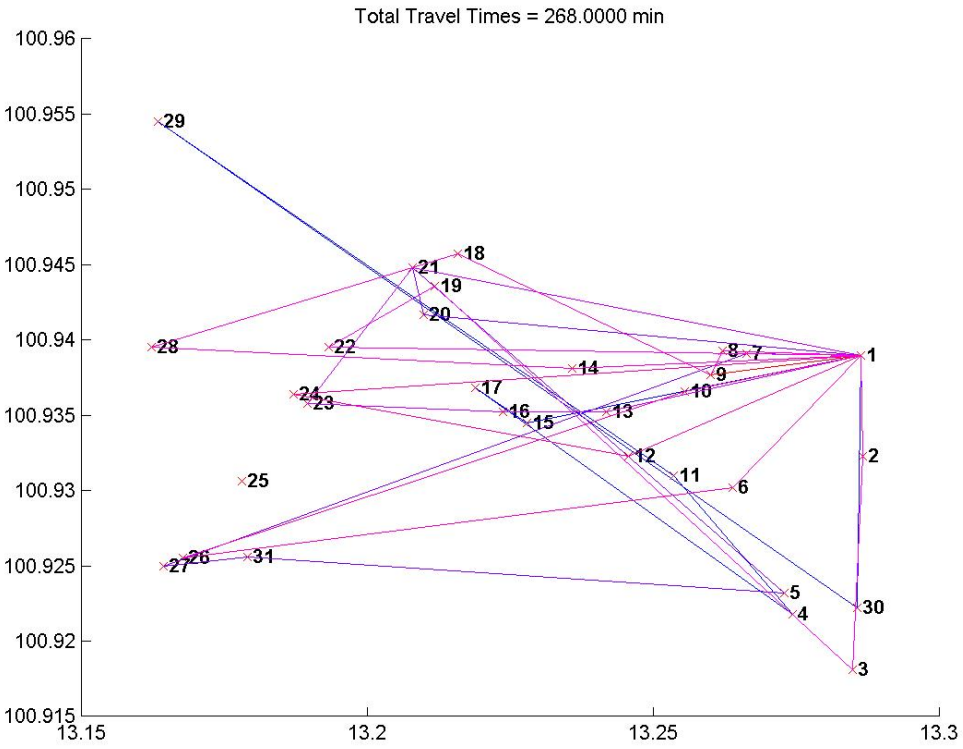
มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ลูกค้ารายที่ 9, 13, 28, 30 และ 31 โดยต้องใช้รถขนส่งจำนวน 2 คันในการส่งสินค้า สำหรับวิธีใหม่ที่นำเสนอ แสดงดังตารางต่อไปนี้

ตารางที่ 17 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่)

Vehicles	Capacity	Results		Total
1	3440	Route	1 ---> 9 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 3440 ---> 0	3440
2	3440	Route	1 ---> 13 ---> 1	1
		Demand	0 ---> 3440 ---> 0	3440
3	3440	Route	1--->15 ---> 17 ---> 4 ---> 11 ---> 29 --->30---> 1	6
		Demand	0 ---> 267 ---> 164 ---> 102 ---> 1153 ---> 450 ---> 750 ---> 0	2886
4	3440	Route	1 ---> 20 ---> 21 ---> 5 ---> 31 ---> 27 --->7---> 1	6
		Demand	0 ---> 566 ---> 562 ---> 158 ---> 1460 ---> 500 ---> 152 ---> 0	3398
5	1720	Route	1 ---> 13 ---> 16 ---> 23 ---> 21 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 200 ---> 224 ---> 600 ---> 665 ---> 0	1689
6	1720	Route	1 ---> 22 ---> 19 ---> 3 ---> 2 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 1135 ---> 238 ---> 200 ---> 133 ---> 0	1706
7	1720	Route	1 ---> 8 ---> 9 ---> 18 ---> 28 ---> 14 ---> 1	5
		Demand	0 ---> 161 ---> 60 ---> 200 ---> 800 ---> 278 ---> 0	1499
8	1720	Route	1 ---> 10 ---> 26 ---> 6 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 530 ---> 700 ---> 123 ---> 0	1353
9	1720	Route	1 ---> 24 ---> 12 ---> 1	2
		Demand	0 ---> 1156 ---> 337 ---> 0	1493

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 32 เส้นทางการเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่)

ตารางที่ 18 รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม (วิธีใหม่)

หัวข้อ	ผลที่ได้
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	1
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	1136
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	268
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	3
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	72

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 19 เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งโรงงานผลิตน้ำดื่ม

หัวข้อ	วิธีเดิม	วิธีใหม่	ผลแตกต่าง
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	0	1	1
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	0	1136	1136
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	626	268	358
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	5	3	2
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	N/a	72	N/a

ผลแตกต่างที่ได้พบว่าวิธีใหม่สามารถประหยัดเวลาเดินทางโดยรวมได้ 358 นาที จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้าลดลง 2 ราย แต่มีจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการเพิ่มขึ้น 1 ราย และจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบจำนวน 1,136 ซึ่งในกรณีนี้ทางโรงงานไม่ต้องการให้มีการสูญเสียลูกค้า และไม่มีนโยบายจ้างเหมาช่วง จึงต้องหาวิธีการจัดส่งให้แก่ลูกค้ารายนี้ ซึ่งการตัดสินใจในกรณีนี้ สามารถดำเนินการได้ดังต่อไปนี้

1) ใช้รถขนส่งคันใหญ่ คันที่ 1 ซึ่งให้บริการลูกค้าเพียงรายเดียวและเดินทางกลับมายังโรงงาน จึงสามารถมอบหมายให้บริการต่อแก่ลูกค้า ณ จุดที่ 25 จำนวนความต้องการสินค้า 1,136 ลิตรได้

2) ใช้รถขนส่งคันเล็ก ที่กลับมาถึงโรงงานก่อนเวลามาถึงเร็วที่สุดของลูกค้า ณ จุดที่ 25 และมอบหมายให้รถขนส่งคันดังกล่าวไปบริการลูกค้าต่อ

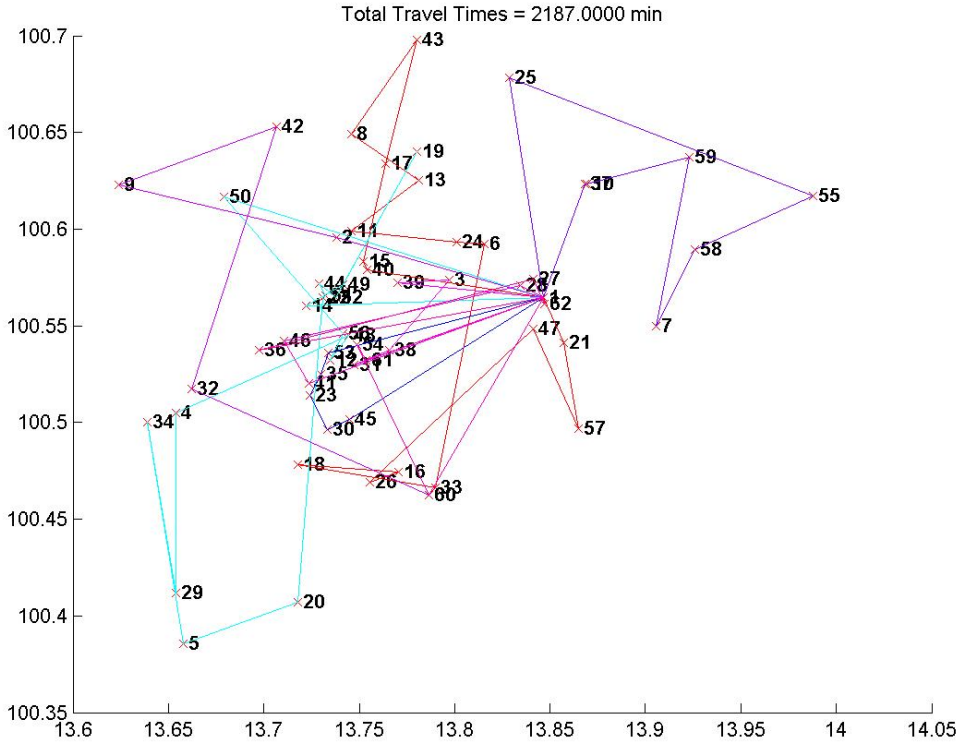
4.2.2 บริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร ในเขตกรุงเทพมหานคร ผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งด้วยวิธีเดิมของบริษัทกับวิธีใหม่ที่ได้จากการประมวลผลด้วยขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น แสดงดังตารางที่ 20 และภาพประกอบ 31

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 20 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม)

Vehicles	Capacity	Results		Total
1	5000	Route	1 --->21-->57-->47-->26-->16-->18-->33-->6 -->24-->11-->13-->8-->43-->17-->15-->40--> 1	16
		Demand	0--->100-->150-->230-->260-->800-->200 -->320-->300-->200-->100-->300-->400-->450 -->700-->350-->100 ---> 0	4960
2	5000	Route	1 ---> 14-->49-->19-->52-->44-->51-->22-->20 -->5-->34-->29-->4-->48-->12-->56-->50 ---> 1	16
		Demand	0 --->200-->280-->320-->400-->260-->320 -->500-->530-->600-->150-->280-->100-->140 -->500-->100-->290 ---> 0	4970
3	2000	Route	1 ---> 45-->30-->23-->35-->53 ---> 1	5
		Demand	0 ---> 320-->700-->360-->260-->300---> 0	1940
4	2000	Route	1 ---> 37-->10-->59-->7-->58-->55-->25---> 1	7
		Demand	0--->500-->200-->150-->400-->300-->250 -->150---> 0	1950
5	2000	Route	1 ---> 2-->9-->42-->32-->60 ---> 1	5
		Demand	0 ---> 500-->300-->320-->620-->90---> 0	1830
6	1000	Route	1 ---> 39-->3-->38-->31 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 100-->200-->220-->450 ---> 0	970
7	1000	Route	1 ---> 28-->46-->41 ---> 1	3
		Demand	0 ---> 250-->150-->600---> 0	1000
8	1000	Route	1 ---> 61-->54-->60 ---> 1	3
		Demand	0 --->260-->600-->140---> 0	1000
9	1000	Route	1 ---> 62-->27-->36---> 1	3
		Demand	0 --->400-->320-->230 ---> 0	950

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY



ภาพประกอบ 31 เส้นทางการเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม)

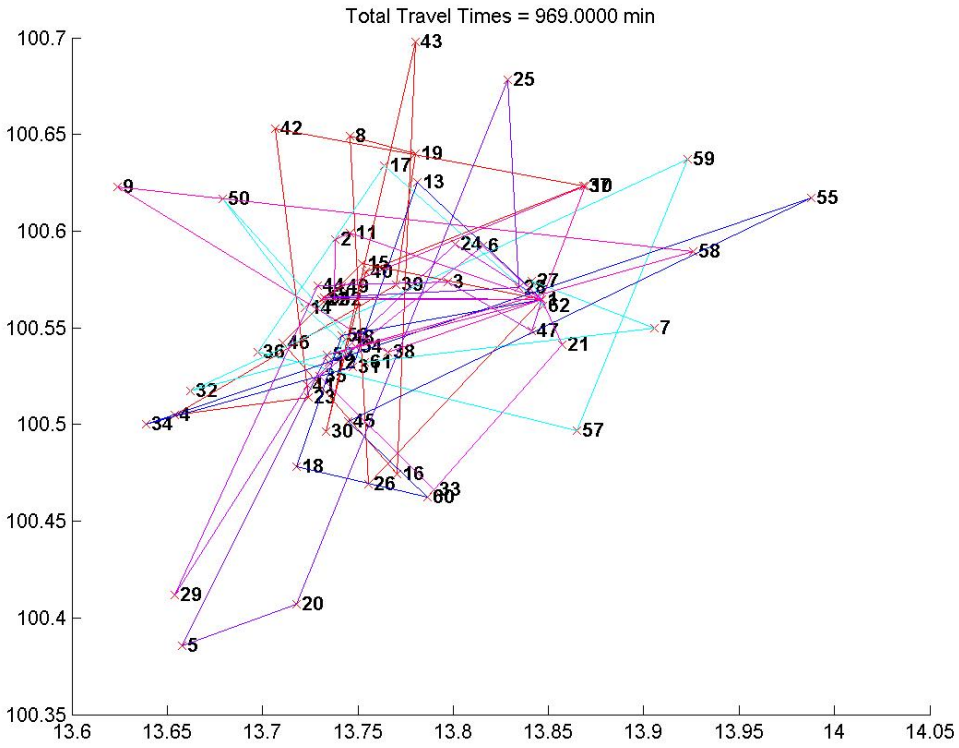
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 21 รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีเดิม)

หัวข้อ	ผลที่ได้
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	0
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	0
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	2187
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	1
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	N/a

หมายเหตุ: N/a = ไม่มีข้อมูล

วิธีเดิมที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน อาศัยประสบการณ์ของพนักงานขับรถ โดยมุ่งเน้นการจัดเส้นทางตามความสะดวก โดยมิได้คำนึงการประหยัดเวลาในการขนส่ง ข้อดีที่สำคัญของวิธีเดิม คือ ไม่พบลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ ส่วนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า มีจำนวน 1 ราย คือ ลูกค้ารายที่ 60 โดยต้องใช้รถขนส่งคันที่ 5 (ขนาดกลาง) จัดส่งสินค้าจำนวน 90 กล่อง และใช้รถขนส่งคันที่ 8 (ขนาดเล็ก) จัดส่งเพิ่มอีก 140 กล่อง สำหรับวิธีใหม่ที่นำเสนอ แสดงดังภาพประกอบ 32 และตารางที่ 22



UK SRIPATUM UNIVERSITY

ภาพประกอบ 32 เส้นทางการเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่)

ตารางที่ 22 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่)

Vehicles	Capacity		Results	Total
1	5000	Route	1 --->15-->46-->16-->43-->30-->40-->37-->42 -->23-->4-->39-->19-->8-->26 ---> 1	14
		Demand	0 ---> 350-->150-->800-->450-->700-->100-->500 -->320-->360-->100-->100-->320-->400-->260--> 0	4910
2	5000	Route	1 ---> 62-->17-->36-->57-->59-->32-->54-->12 -->48-->50-->14-->61-->7-->27 ---> 1	14
		Demand	0 --->400-->700-->230-->150-->150-->620-->600 -->500-->140-->290-->200-->260-->400-->320-->0	4960
3	2000	Route	1--->56-->18-->60-->45-->55-->34-->31-->13---> 1	8
		Demand	0 --->100-->200-->230-->320-->250-->150-->450 -->300---> 0	2000
4	2000	Route	1 --->53-->5-->20-->25-->28-->51---> 1	6
		Demand	0 --->140-->600-->530-->150-->250-->320---> 0	1990
5	2000	Route	1 ---> 24-->41-->29-->44-->3-->47---> 1	6
		Demand	0 --->200-->600-->280-->260-->200-->230---> 0	1770
6	1000	Route	1 ---> 6-->35-->33-->21 ---> 1	4
		Demand	0 --->300-->260-->320-->100---> 0	980
7	1000	Route	1 --->11-->2-->52---> 1	3
		Demand	0 ---> 100-->500-->400---> 0	1000
8	1000	Route	1 --->53-->58-->9-->38 ---> 1	4
		Demand	0 ---> 160-->300-->300-->220---> 0	980
9	1000	Route	1 --->22-->49-->10---> 1	3
		Demand	0 --->500-->280-->200---> 0	980

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางที่ 23 รายงานผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร (วิธีใหม่)

หัวข้อ	ผลที่ได้
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	0
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	0
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	969
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	1
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	390

ตารางที่ 24 เปรียบเทียบผลการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร

หัวข้อ	วิธีเดิม	วิธีใหม่	ผลแตกต่าง
จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	0	0	0
จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ	0	0	0
เวลาเดินทางโดยรวม (นาที)	2187	969	1218
จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้า	1	1	0
เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ (วินาที)	N/a	390	N/a

ผลแตกต่างที่ได้พบว่าวิธีใหม่สามารถประหยัดเวลาเดินทางโดยรวมได้ถึง 1,218 นาที จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกส่งสินค้ามีจำนวน 1 ราย เท่ากันทั้งสองวิธี เพราะฉะนั้นวิธีที่นำเสนอใหม่ จึงเป็นวิธีที่ดีกว่าอย่างชัดเจน

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุป อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

5.1 สรุป

จากผลการวิเคราะห์ข้อมูล สรุปได้ว่าขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีรถขนส่งหลายขนาด และแบ่งแยกส่งสินค้าได้ หรือ “HFVRPTWSD” ที่พัฒนาขึ้นทั้ง 3 วิธี ซึ่งประกอบด้วยวิธี FBTS, GBTS และ TS ซึ่งให้ผลเฉลยและใช้เวลาในการประมวลผลที่แตกต่างกันไป จากผลการทดลองพบว่า วิธี FBTS เป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด คือ ให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงค่าเหมาะที่สุด โดยใช้เวลาในการประมวลผลที่ยอมรับได้ และเมื่อนำขั้นตอนวิธีดังกล่าวมาใช้ในการหาผลเฉลยกับข้อมูลจำลอง หรือการดัดแปลงปัญหาเทียบเคียงของ Solomon (Solomon's Benchmark Problems) ทั้ง 6 ประเภท ที่มีจำนวนลูกค้าขนาด 25, 50 และ 100 ราย พบว่าขั้นตอนวิธีสามารถหาผลเฉลยได้ทั้งหมด โดยใช้เวลาประมวลผลสูงสุด คือ 38,539 วินาที หรือประมาณ 643 นาที สำหรับปัญหา C201 ที่จำนวนลูกค้า 100 ราย

เมื่อทดลองใช้ขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นกับกรณีศึกษา สามารถแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งให้มีความเหมาะสมมากขึ้น โดยมุ่งเน้นที่การลดเวลาในการเดินทางให้น้อยที่สุด สำหรับกรณีศึกษาที่ 1 โรงงานผลิตน้ำดื่ม สามารถลดเวลาในการเดินทางลงได้ 358 นาที และลดจำนวนลูกค้าที่มีการแบ่งแยกส่งสินค้า จากจำนวน 5 ราย เหลือเพียง 3 ราย และกรณีศึกษาที่ 2 บริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร สามารถลดเวลาในการเดินทางลงได้ถึง 1,218 นาที ในขณะที่จำนวนลูกค้าที่มีการแบ่งแยกส่งสินค้ามีจำนวนเท่ากัน ซึ่งในส่วนนี้ช่วยให้ผู้ประกอบการทั้งสองกรณีศึกษา ลดความสูญเสียเวลาลงได้

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

5.2 อภิปรายผล

สำหรับขั้นตอนวิธี FBTS, GBTS และ TS ที่พัฒนาขึ้นนั้น หากพิจารณาถึงความเหมาะสมต่อการใช้งาน อาจขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของผู้ประกอบการ หรือนักวางแผน เนื่องจากทั้ง 3 วิธีมีคุณสมบัติการใช้งานที่แตกต่างกันไป เช่น หากผู้ประกอบการต้องการหาผลเฉลยที่ใกล้เคียงค่าเหมาะที่สุด หรือค่าที่ดีที่สุดจากวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ทั้ง 3 วิธีนี้ โดยไม่สนใจเวลาที่ใช้ในการประมวลผล ควรเลือกวิธี GBTS เนื่องจากวิธีนี้ให้ผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผล

ยาวนานที่สุดเช่นกัน ในกรณีตรงข้ามหากผู้ประกอบการสนใจเวลาในการประมวลผลที่รวดเร็ว โดยให้ค่าผลเฉลยที่พอยอมรับได้ วิธี TS จะมีความเหมาะสมมากที่สุด เนื่องจากวิธี TS ใช้เวลาในการประมวลผลเร็วที่สุด ในขณะที่ผลเฉลยที่ได้มีค่าแย่กว่าอีก 2 วิธี ส่วนวิธีสุดท้าย คือ วิธี FBTS สามารถให้ผลเฉลยที่ใกล้เคียงกับวิธี GBTS แต่ใช้เวลาในการประมวลผลที่รวดเร็วกว่า ด้วยโครงสร้างของขั้นตอนวิธีมีความซับซ้อนน้อยกว่า ดั้งนั้นการเลือกวิธีการที่เหมาะสม จึงขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งานเป็นหลัก

5.3 ข้อเสนอแนะ

ในการประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นนี้เหมาะสำหรับผู้ประกอบการที่มีลักษณะการขนส่งสินค้าที่เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด เช่น มีคลังสินค้าเดียว มีรถขนส่งจำนวนหลายคันและหลายขนาด ลูกค้าส่วนมากยินยอมให้มีการแบ่งแยกส่งสินค้าได้ และมีกรอบเวลาในการให้บริการ เป็นต้น หากผู้ประกอบการมีเงื่อนไขเพิ่มเติมจากนี้ ขั้นตอนวิธีจำเป็นต้องมีการดัดแปลงให้เหมาะสมต่อไป สำหรับจำนวนลูกค้าที่สามารถประมวลผลได้สูงสุดในงานวิจัยนี้ คือ 100 ราย เนื่องด้วยข้อจำกัดของขีดความสามารถคอมพิวเตอร์ที่ใช้ประมวลผล หากผู้ประกอบการ หรือการขยายผลงานวิจัยในอนาคต มีคอมพิวเตอร์ที่มีขีดความสามารถสูงขึ้น ขั้นตอนวิธีนี้จะสามารถประมวลผลในกรณีที่มีจำนวนลูกค้ามากกว่า 100 รายได้

สำหรับอุปสรรคที่สำคัญในการนำผลงานวิจัยไปประยุกต์ใช้จริงในภาคอุตสาหกรรม คือ การซื้อโปรแกรมลิขสิทธิ์เพื่อติดตั้ง ณ สถานประกอบการณ์ ปัจจุบันขั้นตอนวิธีได้พัฒนาขึ้นบนโปรแกรม MATLAB ซึ่งส่วนใหญ่ใช้ในสถาบันการศึกษา และไม่เหมาะกับการนำไปติดตั้ง ณ สถานประกอบการ ด้วยราคาลิขสิทธิ์โปรแกรมที่ค่อนข้างสูง และการใช้งานค่อนข้างยุ่งยาก จำเป็นต้องมีผู้เชี่ยวชาญการเขียนโปรแกรมประจำอยู่ แนวทางการแก้ปัญหาเพื่อให้ผลงานวิจัยมีประโยชน์ต่อภาคธุรกิจอุตสาหกรรมอย่างแท้จริง คือ การให้ความร่วมมือระหว่างสถานประกอบการณ์และมหาวิทยาลัยในการให้บริการวิชาการ เพื่อช่วยกันแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง นอกจากช่วยให้ผู้ประกอบการลดความสูญเสียเวลาแล้ว ยังช่วยลดมลภาวะทางอากาศ ซึ่งสาเหตุหลักส่วนหนึ่งมาจากภาคธุรกิจการขนส่งเป็นสำคัญ

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

บรรณานุกรม

ณกร อินทร์พยุง. 2548. **การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์**. กรุงเทพฯ: บริษัทซีเอ็ดยูเคชั่น.

ธรินี มณีศรี. 2552. "ขั้นตอนวิธีการสำหรับการหาผลเฉลยเชิงทนทานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและเวลาเดินทางไม่แน่นอน." ปริญญาวิศวกรรมศาสตรดุษฎีบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

นลินี อุดมสมบัติมีชัย. 2548. "การประยุกต์วิธีศึกษาสำนึกสำหรับการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา." ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมอุตสาหการ) สาขาวิศวกรรมอุตสาหการ วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

Aarts, E. and J.K. Lenstra. 1997. **Local Search in Combinatorial Optimization**. Wiley and Sons, Inc.

Agarwal, Y., K. Mathur and H.M. Salkin. 1989. "A set-partitioning-based exact algorithm for the vehicle routing problem." **Networks.** 19, 7: 731-749.

Belfiore, P. and H.T.Y. Yoshizaki. 2009. "Scatter search for a real-life heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows and split deliveries in Brazil." **European Journal of Operational Research.** 199:750-758.

Bent, R. and V. Hentenryck. 2006. "A two-stage hybrid algorithm for pickup and delivery vehicle routing problems with time windows." **Computers and Operations Research.** 33: 875-893.

Brysy, O., P.P. Porkka, W. Dullaert, P.P. Repoussis and C.D. Tarantilis. 2009. "A well-scalable metaheuristic for the fleet size and mix vehicle routing problem with time windows." **Expert Systems with Applications.** 36: 8460-8475.

Christofides, N., A. Mingozzi and P. Toth. 1981. "State space relaxation procedures for the computation of bounds to routing problems." **Networks.** 11: 145-164.

Christofides, N. 1985. Vehicle routing, pp. 431-448. *In* The traveling salesman problem, Lawler, Lenstra, R. Kan and Shmoys, eds. **A Guided Tour of Combinatorial Optimization**. John Wiley.

Clarke, G. and J. Wright. 1964. "Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points." **Operations Research.** 12, 4: 568-581.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม SRIPATUM UNIVERSITY

Dantzig, G. B. and J. H. Ramser. 1959. " The truck dispatching problem." **Management Science.** 6, 1: 80–91.

Dror, M. and P. Trudeau. 1990. "Savings by split delivery routing." **Transportation Science.** 23: 141-145.

Dorigo, M., V. Maniezzo and A. Colorni. 1996. "The ant system: Optimization by a colony of cooperating agents." **IEEE Trans. on Systems.** 26, 1: 1-13.

Eksioglu, B., A.V. Vural and A. Reisman. 2009. "The vehicle routing problem: A taxonomic review." **Computers and Industrial Engineering.** 57, 4: 1472-1483.

Fisher, M.L. and R. Jaikumar. 1981. "A generalized assignment heuristic for vehicle routing." **Networks.** 11, 2: 109-124.

Fisher, M.L. 1993. "Vehicle routing." pp. 1-33. *In* M.O. Ball, T.L. Magnanti, C.L. Monma and G.L. Nemhauser, eds. **Handbooks in Operations Research and Management Science.** Elsevier Science.

Flisberg, P., B. Lidn and M. Ronnqvist. 2009. "A hybrid method based on linear programming and tabu search for routing of logging trucks." **Computers and Operations Research.** 36: 1122-1144.

Frizzellt, P.W. and J.W. Giffin. 1995. " The split delivery vehicle scheduling problem with time windows and grid network distances." **Computers and Operations Research.** 22: 655-667.

Gendreau, M., G. Laporte, C. Musaraganyi and E.D. Taillard. 1999. "A tabu search heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem." **Computers and Operations Research.** 26: 1153-1173.

Gillett, B. and L. Miller. 1974. "A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem." **Operations Research.** 22, 2: 340-349.

Glover, F. 1989. "Tabu Search-Part I." **ORSA Journal on Computing.** 1, 3: 190-206.

Golden, B.L., A.A. Assad and M.O. Ball. 1983. "Routing and scheduling of vehicles and crews." **Computer and Operations Research.** 10, 2: 63-211.

Hashimoto, H., M. Yagiura and T. Ibaraki. 2008. "An iterated local search algorithm for the time-dependent vehicle routing problem with time windows." **Discrete Optimization.** 5: 434-456.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Ho, S.C. and D. Haugland. 2004. "A tabu search heuristic for the vehicle routing problem with time windows and split deliveries." **Computers and Operations Research.** 31: 1947-1964.

Homberger, J.and H. Gehring. 2005. "A two-phase hybrid metaheuristic for the vehicle routing problem with time windows." **European Journal of Operational Research.** 162: 220-238.

Imran, A., S. Salhi and N.A. Wassan. 2009. "A variable neighborhood-based heuristic for the heterogeneous fleet vehicle routing problem." **European Journal of Operational Research.** 197: 509-518.

Laporte G., F.V. Louveaux and H. Mecure. 1992. "The vehicle routing problem with stochastic travel times." **Transportation Science.** 26, 3: 161-170.

Metropolis, N., A.W. Rosenbluth, M.N. Rosenbluth, A.H. Teller and E. Teller. 1953. "Equations of state calculations by fast computing machine." **Journal of Chemical Physic.** 21, 6: 1087-1092.

Muhlenbein, H. 1997. "Genetic algorithm." pp. 137-172. *In* E. Aarts and J.K. Lenstra, eds. **Local Search in Combinatorial Optimization.** Wiley and Sons, Inc.

Potvin, J.Y. and J.M. Rousseau. 1995. "An exchange heuristic for routing problems with time windows." **Journal of the Operations Research Society.** 46, 12: 1433–1446.

Savelsbergh, M.W.P. 1985. "Local search for routing problems with time windows." **Annals of Operations Research.** 4, 1-4: 285-305.

Solomon, M.M. 2005. "VRPTW benchmark problems." Available March 2010 from http://web.cba.neu.edu/~msolomon/problems.htm

Tan, K.C., Lee, L.H., Zhu, Q.L., & Ou, K. 2001. "Heuristic method for vehicle routing problem with time window." **Artificial Intelligence in Engineering.** 15: 281-295.

Tarantilis, C.D., C.T. Kiranoudis and V.S. Vassiliadis. 2004. "A threshold accepting metaheuristic for the heterogeneous fixed fleet vehicle routing problem." **European Journal of Operational Research.** 152: 148-158.

Thangiah, S.R. 1995. "An Adaptive Clustering Method Using a Geometric Shape for Vehicle Routing Problems with Time Windows." **Proceedings of the 6th International Conference on Genetic Algorithms.** 536-545.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

Thangiah, S.R. 1999. Complex Structures, pp. 347-381. *In* L. Chambers, ed. **Practical Handbook of Genetic Algorithms.** Australia: CRC Press.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก
ข้อมูลจำลอง

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก1 ปัญหา R101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	200
2	200
3	200
4	200
5	200
6	200
7	200
8	200
9	200
10	200
11	200
12	200
13	200
14	200
15	100
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100
25	100
รวม	3900

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	35	35	0	0	230	0
2	41	49	10	161	171	10
3	35	17	7	50	60	10
4	55	45	13	116	126	10
5	55	20	19	149	159	10
6	15	30	26	34	44	10
7	25	30	3	99	109	10
8	20	50	5	81	91	10
9	10	43	9	95	105	10
10	55	60	16	97	107	10
11	30	60	16	124	134	10
12	20	65	12	67	77	10
13	50	35	19	63	73	10
14	30	25	23	159	169	10
15	15	10	20	32	42	10
16	30	5	8	61	71	10
17	10	20	19	75	85	10
18	5	30	2	157	167	10
19	20	40	12	87	97	10
20	15	60	17	76	86	10
21	45	65	9	126	136	10
22	45	20	11	62	72	10
23	45	10	18	97	107	10
24	55	5	29	68	78	10
25	65	35	3	153	163	10
26	65	20	6	172	182	10
27	45	30	17	132	142	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
28	35	40	16	37	47	10
29	41	37	16	39	49	10
30	64	42	9	63	73	10
31	40	60	21	71	81	10
32	31	52	27	50	60	10
33	35	69	23	141	151	10
34	53	52	11	37	47	10
35	65	55	14	117	127	10
36	63	65	8	143	153	10
37	2	60	5	41	51	10
38	20	20	8	134	144	10
39	5	5	16	83	93	10
40	60	12	31	44	54	10
41	40	25	9	85	95	10
42	42	7	5	97	107	10
43	24	12	5	31	41	10
44	23	3	7	132	142	10
45	11	14	18	69	79	10
46	6	38	16	32	42	10
47	2	48	1	117	127	10
48	8	56	27	51	61	10
49	13	52	36	165	175	10
50	6	68	30	108	118	10
51	47	47	13	124	134	10
52	49	58	10	88	98	10
53	27	43	9	52	62	10
54	37	31	14	95	105	10
55	57	29	18	140	150	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
56	63	23	2	136	146	10
57	53	12	6	130	140	10
58	32	12	7	101	111	10
59	36	26	18	200	210	10
60	21	24	28	18	28	10
61	17	34	3	162	172	10
62	12	24	13	76	86	10
63	24	58	19	58	68	10
64	27	69	10	34	44	10
65	15	77	9	73	83	10
66	62	77	20	51	61	10
67	49	73	25	127	137	10
68	67	5	25	83	93	10
69	56	39	36	142	152	10
70	37	47	6	50	60	10
71	37	56	5	182	192	10
72	57	68	15	77	87	10
73	47	16	25	35	45	10
74	44	17	9	78	88	10
75	46	13	8	149	159	10
76	49	11	18	69	79	10
77	49	42	13	73	83	10
78	53	43	14	179	189	10
79	61	52	3	96	106	10
80	57	48	23	92	102	10
81	56	37	6	182	192	10
82	55	54	26	94	104	10
83	15	47	16	55	65	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
84	14	37	11	44	54	10
85	11	31	7	101	111	10
86	16	22	41	91	101	10
87	4	18	35	94	104	10
88	28	18	26	93	103	10
89	26	52	9	74	84	10
90	26	35	15	176	186	10
91	31	67	3	95	105	10
92	15	19	1	160	170	10
93	22	22	2	18	28	10
94	18	24	22	188	198	10
95	26	27	27	100	110	10
96	25	24	20	39	49	10
97	22	27	11	135	145	10
98	25	21	12	133	143	10
99	19	21	10	58	68	10
100	20	26	9	83	93	10
101	18	18	17	185	195	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก2 ปัญหา R201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	1000
2	1000
3	1000
4	1000
5	1000
6	1000
7	1000
8	1000
9	1000
10	1000
11	1000
12	1000
13	1000
14	1000
15	500
16	500
17	500
18	500
19	500
20	500
21	500
22	500
23	500
24	500
25	500
รวม	19500

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	35	35	0	0	1000	0
2	41	49	10	707	848	10
3	35	17	7	143	282	10
4	55	45	13	527	584	10
5	55	20	19	678	801	10
6	15	30	26	34	209	10
7	25	30	3	415	514	10
8	20	50	5	331	410	10
9	10	43	9	404	481	10
10	55	60	16	400	497	10
11	30	60	16	577	632	10
12	20	65	12	206	325	10
13	50	35	19	228	345	10
14	30	25	23	690	827	10
15	15	10	20	32	243	10
16	30	5	8	175	300	10
17	10	20	19	272	373	10
18	5	30	2	733	870	10
19	20	40	12	377	434	10
20	15	60	17	269	378	10
21	45	65	9	581	666	10
22	45	20	11	214	331	10
23	45	10	18	409	494	10
24	55	5	29	206	325	10
25	65	35	3	704	847	10
26	65	20	6	817	956	10
27	45	30	17	588	667	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
28	35	40	16	104	255	10
29	41	37	16	114	255	10
30	64	42	9	190	313	10
31	40	60	21	259	354	10
32	31	52	27	152	275	10
33	35	69	23	660	777	10
34	53	52	11	45	200	10
35	65	55	14	529	614	10
36	63	65	8	686	813	10
37	2	60	5	41	208	10
38	20	20	8	606	693	10
39	5	5	16	302	405	10
40	60	12	31	33	224	10
41	40	25	9	360	437	10
42	42	7	5	396	511	10
43	24	12	5	25	172	10
44	23	3	7	620	705	10
45	11	14	18	233	340	10
46	6	38	16	29	189	10
47	2	48	1	515	628	10
48	8	56	27	85	250	10
49	13	52	36	773	906	10
50	6	68	30	501	540	10
51	47	47	13	547	642	10
52	49	58	10	348	453	10
53	27	43	9	174	299	10
54	37	31	14	414	489	10
55	57	29	18	641	734	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
56	63	23	2	620	739	10
57	53	12	6	585	692	10
58	32	12	7	421	530	10
59	36	26	18	849	980	10
60	21	24	28	17	229	10
61	17	34	3	721	862	10
62	12	24	13	290	377	10
63	24	58	19	163	302	10
64	27	69	10	34	191	10
65	15	77	9	214	333	10
66	62	77	20	49	188	10
67	49	73	25	592	693	10
68	67	5	25	294	401	10
69	56	39	36	637	752	10
70	37	47	6	162	293	10
71	37	56	5	788	968	10
72	57	68	15	268	367	10
73	47	16	25	31	208	10
74	44	17	9	308	399	10
75	46	13	8	681	802	10
76	49	11	18	236	345	10
77	49	42	13	290	373	10
78	53	43	14	817	952	10
79	61	52	3	384	499	10
80	57	48	23	388	465	10
81	56	37	6	839	968	10
82	55	54	26	411	456	10
83	15	47	16	162	289	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
84	14	37	11	96	249	10
85	11	31	7	436	511	10
86	16	22	41	376	461	10
87	4	18	35	388	465	10
88	28	18	26	420	447	10
89	26	52	9	279	388	10
90	26	35	15	755	920	10
91	31	67	3	392	487	10
92	15	19	1	739	866	10
93	22	22	2	18	181	10
94	18	24	22	811	969	10
95	26	27	27	436	503	10
96	25	24	20	92	231	10
97	22	27	11	607	690	10
98	25	21	12	612	673	10
99	19	21	10	183	306	10
100	20	26	9	333	432	10
101	18	18	17	798	965	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก3 ปัญหา C101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	200
2	200
3	200
4	200
5	200
6	200
7	200
8	200
9	100
10	100
11	100
12	100
13	100
14	100
15	100
16	100
17	100
18	100
รวม	2600

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	40	50	0	0	1236	0
2	45	68	10	912	967	90
3	45	70	30	825	870	90
4	42	66	10	65	146	90
5	42	68	10	727	782	90
6	42	65	10	15	67	90
7	40	69	20	621	702	90
8	40	66	20	170	225	90
9	38	68	20	255	324	90
10	38	70	10	534	605	90
11	35	66	10	357	410	90
12	35	69	10	448	505	90
13	25	85	20	652	721	90
14	22	75	30	30	92	90
15	22	85	10	567	620	90
16	20	80	40	384	429	90
17	20	85	40	475	528	90
18	18	75	20	99	148	90
19	15	75	20	179	254	90
20	15	80	10	278	345	90
21	30	50	10	10	73	90
22	30	52	20	914	965	90
23	28	52	20	812	883	90
24	28	55	10	732	777	90
25	25	50	10	65	144	90
26	25	52	40	169	224	90
27	25	55	10	622	701	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
28	23	52	10	261	316	90
29	23	55	20	546	593	90
30	20	50	10	358	405	90
31	20	55	10	449	504	90
32	10	35	20	200	237	90
33	10	40	30	31	100	90
34	8	40	40	87	158	90
35	8	45	20	751	816	90
36	5	35	10	283	344	90
37	5	45	10	665	716	90
38	2	40	20	383	434	90
39	0	40	30	479	522	90
40	0	45	20	567	624	90
41	35	30	10	264	321	90
42	35	32	10	166	235	90
43	33	32	20	68	149	90
44	33	35	10	16	80	90
45	32	30	10	359	412	90
46	30	30	10	541	600	90
47	30	32	30	448	509	90
48	30	35	10	1054	1127	90
49	28	30	10	632	693	90
50	28	35	10	1001	1066	90
51	26	32	10	815	880	90
52	25	30	10	725	786	90
53	25	35	10	912	969	90
54	44	5	20	286	347	90
55	42	10	40	186	257	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
56	42	15	10	95	158	90
57	40	5	30	385	436	90
58	40	15	40	35	87	90
59	38	5	30	471	534	90
60	38	15	10	651	740	90
61	35	5	20	562	629	90
62	50	30	10	531	610	90
63	50	35	20	262	317	90
64	50	40	50	171	218	90
65	48	30	10	632	693	90
66	48	40	10	76	129	90
67	47	35	10	826	875	90
68	47	40	10	12	77	90
69	45	30	10	734	777	90
70	45	35	10	916	969	90
71	95	30	30	387	456	90
72	95	35	20	293	360	90
73	53	30	10	450	505	90
74	92	30	10	478	551	90
75	53	35	50	353	412	90
76	45	65	20	997	1068	90
77	90	35	10	203	260	90
78	88	30	10	574	643	90
79	88	35	20	109	170	90
80	87	30	10	668	731	90
81	85	25	10	769	820	90
82	85	35	30	47	124	90
83	75	55	20	369	420	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก3 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
84	72	55	10	265	338	90
85	70	58	20	458	523	90
86	68	60	30	555	612	90
87	66	55	10	173	238	90
88	65	55	20	85	144	90
89	65	60	30	645	708	90
90	63	58	10	737	802	90
91	60	55	10	20	84	90
92	60	60	10	836	889	90
93	67	85	20	368	441	90
94	65	85	40	475	518	90
95	65	82	10	285	336	90
96	62	80	30	196	239	90
97	60	80	10	95	156	90
98	60	85	30	561	622	90
99	58	75	20	30	84	90
100	55	80	10	743	820	90
101	55	85	20	647	726	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก4 ปัญหา C201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	700
2	700
3	700
4	700
5	700
6	700
7	700
8	700
9	350
10	350
11	350
12	350
13	350
14	350
15	350
16	350
17	350
18	350
รวม	9100

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	40	50	0	0	3390	0
2	52	75	10	311	471	90
3	45	70	30	213	373	90
4	62	69	10	1167	1327	90
5	60	66	10	1261	1421	90
6	42	65	10	25	185	90
7	16	42	20	497	657	90
8	58	70	20	1073	1233	90
9	34	60	20	2887	3047	90
10	28	70	10	2601	2761	90
11	35	66	10	2791	2951	90
12	35	69	10	2698	2858	90
13	25	85	20	2119	2279	90
14	22	75	30	2405	2565	90
15	22	85	10	2026	2186	90
16	20	80	40	2216	2376	90
17	20	85	40	1934	2094	90
18	18	75	20	2311	2471	90
19	15	75	20	1742	1902	90
20	15	80	10	1837	1997	90
21	30	50	10	10	170	90
22	30	56	20	2983	3143	90
23	28	52	20	22	182	90
24	14	66	10	1643	1803	90
25	25	50	10	116	276	90
26	22	66	40	2504	2664	90
27	8	62	10	1545	1705	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
28	23	52	10	209	369	90
29	4	55	20	1447	1607	90
30	20	50	10	398	558	90
31	20	55	10	303	463	90
32	10	35	20	781	941	90
33	10	40	30	593	753	90
34	8	40	40	685	845	90
35	8	45	20	1346	1506	90
36	5	35	10	876	1036	90
37	5	45	10	1253	1413	90
38	2	40	20	971	1131	90
39	0	40	30	1063	1223	90
40	0	45	20	1158	1318	90
41	36	18	10	1819	1979	90
42	35	32	10	2758	2918	90
43	33	32	20	2666	2826	90
44	33	35	10	2573	2733	90
45	32	20	10	1913	2073	90
46	30	30	10	2105	2265	90
47	34	25	30	2009	2169	90
48	30	35	10	2480	2640	90
49	36	40	10	2856	3016	90
50	48	20	10	967	1127	90
51	26	32	10	2292	2452	90
52	25	30	10	2200	2360	90
53	25	35	10	2385	2545	90
54	44	5	20	1256	1416	90
55	42	10	40	1160	1320	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
56	42	15	10	1065	1225	90
57	40	5	30	1350	1510	90
58	38	15	40	1725	1885	90
59	38	5	30	1442	1602	90
60	38	10	10	1630	1790	90
61	35	5	20	1535	1695	90
62	50	30	10	401	561	90
63	50	35	20	120	280	90
64	50	40	50	25	185	90
65	48	30	10	493	653	90
66	44	25	10	871	1031	90
67	47	35	10	588	748	90
68	47	40	10	12	172	90
69	42	30	10	776	936	90
70	45	35	10	680	840	90
71	95	30	30	2321	2481	90
72	95	35	20	2226	2386	90
73	53	30	10	308	468	90
74	92	30	10	2414	2574	90
75	53	35	50	213	373	90
76	45	65	20	118	278	90
77	90	35	10	2131	2291	90
78	72	45	10	2900	3060	90
79	78	40	20	2802	2962	90
80	87	30	10	2608	2768	90
81	85	25	10	2513	2673	90
82	85	35	30	2703	2863	90
83	75	55	20	1925	2085	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก4 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
84	72	55	10	1832	1992	90
85	70	58	20	1641	1801	90
86	86	46	30	2029	2189	90
87	66	55	10	1736	1896	90
88	64	46	20	3097	3257	90
89	65	60	30	1546	1706	90
90	56	64	10	1355	1515	90
91	60	55	10	3119	3279	90
92	60	60	10	1451	1611	90
93	67	85	20	694	854	90
94	42	58	40	8	168	90
95	65	82	10	788	948	90
96	62	80	30	881	1041	90
97	62	40	10	3001	3161	90
98	60	85	30	597	757	90
99	58	75	20	978	1138	90
100	55	80	10	407	567	90
101	55	85	20	502	662	90

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 ปัญหา RC101 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	200
2	200
3	200
4	200
5	200
6	200
7	200
8	200
9	200
10	200
11	200
12	200
13	200
14	200
15	200
16	100
17	100
18	100
19	100
20	100
21	100
22	100
23	100
24	100
25	100
26	100
27	100

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
28	100
29	100
30	100
31	100
รวม	4600

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	40	50	0	0	240	0
2	25	85	20	145	175	10
3	22	75	30	50	80	10
4	22	85	10	109	139	10
5	20	80	40	141	171	10
6	20	85	20	41	71	10
7	18	75	20	95	125	10
8	15	75	20	79	109	10
9	15	80	10	91	121	10
10	10	35	20	91	121	10
11	10	40	30	119	149	10
12	8	40	40	59	89	10
13	8	45	20	64	94	10
14	5	35	10	142	172	10
15	5	45	10	35	65	10
16	2	40	20	58	88	10
17	0	40	20	72	102	10
18	0	45	20	149	179	10
19	44	5	20	87	117	10
20	42	10	40	72	102	10
21	42	15	10	122	152	10
22	40	5	10	67	97	10
23	40	15	40	92	122	10
24	38	5	30	65	95	10
25	38	15	10	148	178	10
26	35	5	20	154	184	10
27	95	30	30	115	145	10
28	95	35	20	62	92	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
29	92	30	10	62	92	10
30	90	35	10	67	97	10
31	88	30	10	74	104	10
32	88	35	20	61	91	10
33	87	30	10	131	161	10
34	85	25	10	51	81	10
35	85	35	30	111	141	10
36	67	85	20	139	169	10
37	65	85	40	43	73	10
38	65	82	10	124	154	10
39	62	80	30	75	105	10
40	60	80	10	37	67	10
41	60	85	30	85	115	10
42	58	75	20	92	122	10
43	55	80	10	33	63	10
44	55	85	20	128	158	10
45	55	82	10	64	94	10
46	20	82	10	37	67	10
47	18	80	10	113	143	10
48	2	45	10	45	75	10
49	42	5	10	151	181	10
50	42	12	10	104	134	10
51	72	35	30	116	146	10
52	55	20	19	83	113	10
53	25	30	3	52	82	10
54	20	50	5	91	121	10
55	55	60	16	139	169	10
56	30	60	16	140	170	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
57	50	35	19	130	160	10
58	30	25	23	96	126	10
59	15	10	20	152	182	10
60	10	20	19	42	72	10
61	15	60	17	155	185	10
62	45	65	9	66	96	10
63	65	35	3	52	82	10
64	65	20	6	39	69	10
65	45	30	17	53	83	10
66	35	40	16	11	41	10
67	41	37	16	133	163	10
68	64	42	9	70	100	10
69	40	60	21	144	174	10
70	31	52	27	41	71	10
71	35	69	23	180	210	10
72	65	55	14	65	95	10
73	63	65	8	30	60	10
74	2	60	5	77	107	10
75	20	20	8	141	171	10
76	5	5	16	74	104	10
77	60	12	31	75	105	10
78	23	3	7	150	180	10
79	8	56	27	90	120	10
80	6	68	30	89	119	10
81	47	47	13	192	222	10
82	49	58	10	86	116	10
83	27	43	9	42	72	10
84	37	31	14	35	65	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก5 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
85	57	29	18	96	126	10
86	63	23	2	87	117	10
87	21	24	28	87	117	10
88	12	24	13	90	120	10
89	24	58	19	67	97	10
90	67	5	25	144	174	10
91	37	47	6	86	116	10
92	49	42	13	167	197	10
93	53	43	14	14	44	10
94	61	52	3	178	208	10
95	57	48	23	95	125	10
96	56	37	6	34	64	10
97	55	54	26	132	162	10
98	4	18	35	120	150	10
99	26	52	9	46	76	10
100	26	35	15	77	107	10
101	31	67	3	180	210	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 ปัญหา RC201 สำหรับลูกค้าจำนวน 100 ราย

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
1	1000
2	1000
3	1000
4	1000
5	1000
6	1000
7	1000
8	1000
9	1000
10	1000
11	1000
12	1000
13	1000
14	1000
15	1000
16	1000
17	500
18	500
19	500
20	500
21	500
22	500
23	500
24	500
25	500
26	500

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

รถขนส่งคันที่	ขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้า (หน่วย)
27	500
28	500
29	500
30	500
รวม	23000

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
1	40	50	0	0	960	0
2	25	85	20	673	793	10
3	22	75	30	152	272	10
4	22	85	10	471	591	10
5	20	80	40	644	764	10
6	20	85	20	73	193	10
7	18	75	20	388	508	10
8	15	75	20	300	420	10
9	15	80	10	367	487	10
10	10	35	20	371	491	10
11	10	40	30	519	639	10
12	8	40	40	195	315	10
13	8	45	20	223	343	10
14	5	35	10	653	773	10
15	5	45	10	35	155	10
16	2	40	20	174	294	10
17	0	40	20	255	375	10
18	0	45	20	703	823	10
19	44	5	20	335	455	10
20	42	10	40	254	374	10
21	42	15	10	537	657	10
22	40	5	10	215	335	10
23	40	15	40	375	495	10
24	38	5	30	201	321	10
25	38	15	10	681	801	10
26	35	5	20	784	904	10
27	95	30	30	529	649	10
28	95	35	20	146	266	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
29	92	30	10	149	269	10
30	90	35	10	194	314	10
31	88	30	10	246	366	10
32	88	35	20	165	285	10
33	87	30	10	621	741	10
34	85	25	10	80	200	10
35	85	35	30	487	607	10
36	67	85	20	657	777	10
37	65	85	40	43	163	10
38	65	82	10	557	677	10
39	62	80	30	278	398	10
40	60	80	10	64	184	10
41	60	85	30	329	449	10
42	58	75	20	376	496	10
43	55	80	10	33	153	10
44	55	85	20	574	694	10
45	55	82	10	217	337	10
46	20	82	10	37	157	10
47	18	80	10	489	609	10
48	2	45	10	105	225	10
49	42	5	10	732	852	10
50	42	12	10	440	560	10
51	72	35	30	507	627	10
52	55	20	19	326	446	10
53	25	30	3	175	295	10
54	20	50	5	375	495	10
55	55	60	16	601	721	10
56	30	60	16	599	719	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
57	50	35	19	557	677	10
58	30	25	23	397	517	10
59	15	10	20	782	902	10
60	10	20	19	42	162	10
61	15	60	17	694	814	10
62	45	65	9	258	378	10
63	65	35	3	167	287	10
64	65	20	6	39	159	10
65	45	30	17	191	311	10
66	35	40	16	11	131	10
67	41	37	16	566	686	10
68	64	42	9	268	388	10
69	40	60	21	612	732	10
70	31	52	27	157	277	10
71	35	69	23	810	930	10
72	65	55	14	241	361	10
73	63	65	8	60	180	10
74	2	60	5	286	406	10
75	20	20	8	645	765	10
76	5	5	16	232	352	10
77	60	12	31	268	388	10
78	23	3	7	764	884	10
79	8	56	27	365	485	10
80	6	68	30	352	472	10
81	47	47	13	822	942	10
82	49	58	10	355	475	10
83	27	43	9	152	272	10
84	37	31	14	105	225	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ก6 (ต่อ)

ลำดับที่	ตำแหน่งที่ตั้ง		ความต้องการสินค้า	กรอบเวลา		เวลาในการให้บริการ
	X	Y		เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด	
85	57	29	18	395	515	10
86	63	23	2	344	464	10
87	21	24	28	349	469	10
88	12	24	13	359	479	10
89	24	58	19	260	380	10
90	67	5	25	713	833	10
91	37	47	6	359	479	10
92	49	42	13	719	839	10
93	53	43	14	14	134	10
94	61	52	3	808	928	10
95	57	48	23	392	512	10
96	56	37	6	100	220	10
97	55	54	26	562	682	10
98	4	18	35	547	667	10
99	26	52	9	172	292	10
100	26	35	15	308	428	10
101	31	67	3	810	930	10

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข

ผลการเปรียบเทียบเมื่อลูกค้าเท่ากับ 25, 50 และ 100 ราย

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ข ผลการเปรียบเทียบเมื่อลูกค้าเท่ากับ 25, 50 และ 100 ราย

Problems	Capacity	# of Vehicles	Total	# of Unmet Customers	# of Unmet Demand	Travel Times	# of Split Delivery Customers	CPU(s)
R101.25	200	6	9	1	64	702	3	39
	100	3						
R101.50	200	7	15	1	56	1255	3	368
	100	8						
R101.100	200	14	25	0	0	1829	3	6975
	100	11						
R201.25	1000	4	8	1	231	731	3	20
	500	4						
R201.50	1000	8	14	0	0	1263	4	267
	500	6						
R201.100	1000	14	25	0	0	2056	5	6490
	500	11						
C101.25	200	2	8	0	0	756	2	67
	100	6						
C101.50	200	4	10	2	102	1033	2	775
	100	6						

ตารางผนวกที่ ข (ต่อ)

Problems	Capacity	# of Vehicles	Total	# of Unmet Customers	# of Unmet Demand	Travel Times	# of Split Delivery Customers	CPU(s)
C101.100	200	8	18	3	203	2578	3	24668
	100	10						
C201.25	700	3	7	1	264	662	3	239
	350	4						
C201.50	700	4	10	2	528	1085	2	1497
	350	6						
C201.100	700	8	18	3	622	2488	4	38539
	350	10						
RC101.25	200	5	14	0	0	1153	3	44
	100	9						
RC101.50	200	8	21	0	0	1768	5	726
	100	13						
RC101.100	200	15	31	0	0	2416	5	7918
	100	16						
RC201.25	1000	6	11	1	500	985	2	27
	500	5						

ตารางผนวกที่ ข (ต่อ)

Problems	Capacity	# of Vehicles	Total	# of Unmet Customers	# of Unmet Demand	Travel Times	# of Split Delivery Customers	CPU(s)
RC201.50	1000	10	17	0	0	1572	3	575
	500	7						
RC201.100	1000	16	30	1	500	2776	5	24876
	500	14						

หมายเหตุ : คำอธิบายตาราง

Problems = ตัวอย่างปัญหา MFVRPTWSD

Capacity = ความสามารถในการบรรทุกสินค้า

# of Vehicles = จำนวนรถขนส่ง

Total = จำนวนรถขนส่งทั้งหมด

# of Unmet Customers = จำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ

# of Unmet Demand = จำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้ส่งมอบ

Travel Times = เวลาเดินทางโดยรวม

# of Split Delivery Customers = จำนวนลูกค้าที่ถูกแบ่งแยกสินค้า

CPU(s) = เวลาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์

ภาคผนวก ค

ข้อมูลรายละเอียดลูกค้า

บริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ค ข้อมูลรายละเอียดลูกค้าบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	สาขา	ที่ตั้ง
1	คลังสินค้า		51/3 อาคารวิภาวดีทาวเวอร์ ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900
2	สยาม-จัสโก้	สุขุมวิท 71	เลขที่ 140 ถ.สุขุมวิท71 เขตวัฒนา แขวงพระโขนงเหนือ กรุงเทพฯ 10260
3	สยาม-จัสโก้	รัชดา	เลขที่ 129 ถ.รัชดาภิเษก แขวงดินแดง แขวงดินแดง กรุงเทพฯ 10320
4	สยาม-จัสโก้	ประชาอุทิศ	เลขที่ 11/12 หมู่ที่ 1 ถ.ประชาอุทิศ แขวงทุ่งครุ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ 10140
5	สยาม-จัสโก้	บางบอน	เลขที่ 48/21-22 หมู่ที่ 6 ถ.เอกชัย-บางบอน บางบอน กรุงเทพฯ 10150
6	สยาม-จัสโก้	วังหิน	เลขที่ 8 หมู่ที่ 14 ถ.สุขาภิบาล-บางกะปิ เขตลาดพร้าว กรุงเทพฯ 10230
7	สยาม-จัสโก้	ปากเกร็ด	เลขที่ 121/19 หมู่ที่ 3 ถ.แจ้งวัฒนะ ต.ปากเกร็ด อ. ปากเกร็ด จ.นนทบุรี 11000
8	สยาม-จัสโก้	ศรีนครินทร์	เลขที่ 2559 ถ.พัฒนาการ แขวงสวนหลวง เขตสวนหลวง กรุงเทพฯ
9	ฟู้ดแลนด์	ศรีนครินทร์	เลขที่ 336 หมู่ที่ 5 ถ.ศรีนครินทร์ อ.เมืองสมุทรปราการ จ.สมุทรปราการ 10270
10	ฟู้ดแลนด์	รามอินทรา	เลขที่ 78/5 หมู่ที่ 4 ถ.รามอินทรา แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ 10220
11	ฟู้ดแลนด์	รามคำแหง	เลขที่ 1851 ถ.สุขุมวิท 71 แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กรุงเทพฯ 10240
12	ฟู้ดแลนด์	พัฒน์พงษ์	เลขที่ 9 ชั้นล่าง ถ.พัฒน์พงศ์ 2 แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กรุงเทพฯ 10500
13	ฟู้ดแลนด์	ลาดพร้าว	เลขที่ 2675 หมู่ 9 ถ.ลาดพร้าว 95 เขตวังทองหลาง กรุงเทพฯ 10310
14	ฟู้ดแลนด์	สุขุมวิท	เลขที่ 87 อาคารนายเลิศ สุขุมวิท ซ.5 แขวงคลองเตย เขตคลองเตย กทม.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ค (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	สาขา	ที่ตั้ง
15	ฟู้ดแลนด์	เพชรบุรี	เลขที่ 2443 ถ.เพชรบุรีตัดใหม่ แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กรุงเทพฯ 10310
16	ฟู้ดแลนด์	จรัลสนิทวงศ์	เลขที่ 262 ถ.จรัลสนิทวงศ์ 30 บ้านช่างหล่อ เขตบางกอกน้อย กทม. 10700
17	เดอะมอลล์	รามคำแหง	1909 ถ.รามคำแหง แขวงหัวหมาก เขตบางกะปิ กทม.
18	เดอะมอลล์	ท่าพระ	99 ถ.รัชดาภิเษก แขวงบุคคโล เขตธนบุรี กทม.
19	เดอะมอลล์	บางกะปิ	3522 ถ.ลาดพร้าว แขวงคลองจั่น เขตบางกะปิ กทม.
20	เดอะมอลล์	บางแค	275 หมู่ 1 ถ.เพชรเกษม บางแคเหนือ เขตบางแค กทม.
21	เดอะมอลล์	งามวงศ์วาน	30/39-50 ถ.งามวงศ์วาน ต.บางเขน อ.เมือง จ.นนทบุรี
22	เดอะมอลล์	เอ็มโพเลี่ยม	622 ถ.สุขุมวิท แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กทม.
23	ท็อปส์	บางรัก	1522 ถ.เจริญกรุง แขวงบางรัก เขตบางรัก กทม. 10500
24	ท็อปส์	โชคชัย 4	139/28 ซอยโชคชัย 4 ถ.ลาดพร้าว วังทองหลาง เขตวังทองหลาง กทม. 10310
25	ท็อปส์	แฟชั่นไอซ์แลนด์	5/7 หมู่ 7 ถ.รามอินทรา แขวงคันนายาว เขตคันนายาว กทม. 10230
26	ท็อปส์	จรัญสนิทวงศ์	261/108 ถ.จรัญสนิทวงศ์ แขวงบางขุนศรี เขตบางกอกน้อย กทม. 10700
27	ท็อปส์	เกษตรศาสตร์	67 ถ.งามวงศ์วาน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900
28	ท็อปส์	ลาดพร้าว	1697 ถ.พหลโยธิน แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ค (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	สาขา	ที่ตั้ง
29	ท็อปส์	พระราม 2	1286 หมู่ 6 ถ.พระราม 2 แขวง แสมดำ เขตบางขุนเทียน กรุงเทพฯ 10110
30	ท็อปส์	ลาดหญ้า	99 ถ.ลาดหญ้า แขวงสมเด็จเจ้าพระยา เขตคลองสาน กทม.10600
31	ท็อปส์	มาบุญครอง	444 ถ.พญาไท แขวงวังใหม่ เขตปทุมวัน กทม.10330
32	ท็อปส์	เมเจอร์ พระประแดง	โรงภาพยนต์เมเจอร์ สาขาพระประแดง
33	ท็อปส์	ปิ่นเกล้า	7/1 ถ.บรมราชชนนี แขวงอรุณอมรินทร์ เขตบางกอกน้อย กทม. 10700
34	ท็อปส์	ประชาอุทิศ	808/10-11 หมู่ 1 แขวงทุ่งครุ เขตทุ่งครุ กรุงเทพฯ
35	ท็อปส์	พีเอส สีลม	2 ถ.สีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กทม. 10500
36	ท็อปส์	พระราม 3	79/3 ถ.สาธุประดิษฐ์ แขวงช่องนนทรีย์ เขตยานนาวา กทม. 10120
37	ท็อปส์	รามอินทรา	109/9 หมู่ 3 ถ.รามอินทรา แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กทม. 10220
38	ท็อปส์	ราชวิถี	423/4-6, 417/12-13 ถ.ราชวิถี แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี กทม. 10400
39	ท็อปส์	รัชดา	139 อาคารสรรพสินค้าชั้นใต้ดิน ถ.รัชดาภิเษก เขตดินแดง กทม. 10320
40	ท็อปส์	อาร์ ซี เอ	31/5 ซอยศูนย์วิจัย แขวงบางกะปิ เขตห้วยขวาง กทม. 10320
41	ท็อปส์	สีลม	306 ถ.สีลม แขวงสุริยวงศ์ เขตบางรัก กทม. 10500
42	ท็อปส์	ศรีนครินทร์	904/1 หมู่ 6 ถ.ศรีนครินทร์ แขวงหนองบอน เขตประเวศ กทม. 10260

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ค (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	สาขา	ที่ตั้ง
43	ท็อปส์	สุขาภิบาล 3	7/4 หมู่ที่ 1 ถ.รามคำแหง แขวงสะพานสูง เขตสะพานสูง กทม. 10240
44	ท็อปส์	สุขุมวิท 41	745 ถ.สุขุมวิท แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กทม. 10110
45	ท็อปส์	วังบูรพา	677-681 ถ.จักรเพชร แขวงวังบูรพาภิรมย์ เขตพระนคร กทม. 10200
46	ท็อปส์	นางลิ้นจี่	27 ถ.นางลิ้นจี่ แขวงช่องนนทรี เขตยานนาวา กทม.
47	ท็อปส์	ประชานิเวศน์	3/1 ถ.เทศบาลนิมิตรเหนือ แขวงลาดยาว เขตจตุจักร กทม. 10900
48	ท็อปส์	ชิดลม	22 ถ.เพลินจิต แขวงลุมพินี เขตปทุมวัน กทม.10330
49	ท็อปส์	สุขุมวิท	สุขุมวิท 259 ถ.สุขุมวิท แขวงคลองเตยเหนือ วัฒนา กทม. 10110
50	ท็อปส์	บางนา	1090 หมู่ 12 ถ.บางนาตราด แขวงบางนา เขตบางนา กทม. 10260
51	ท็อปส์	สุขุมวิท 24	99/397 ชั้นใต้ดิน ซอยสุขุมวิท 24 แขวงคลองตัน เขตคลองเตย กทม.10110
52	ท็อปส์	ทองหล่อ	ซอยสุขุมวิท 55 แขวงคลองตันเหนือ เขตวัฒนา กรุงเทพฯ 10110
53	ท็อปส์	สีลมคอมเพล็กซ์	191 ศูนย์การค้าสีลมคอมเพล็กซ์ ถ.สีลม แขวงสีลม เขตบางรัก กทม. 10500
54	ท็อปส์	เซ็นทรัลเวิลด์พลาซ่า	พลาซ่า 4 ถ.ราชดำริ แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กทม. 10330
55	ท็อปส์	รังสิต	161 หมู่ 2 ถ.พหลโยธิน ต.ประชาธิปัตย์ อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
56	ท็อปส์	ออลซีซั่นส์	อาคารออลซีซั่นเพลส ถ. วิทยุ กทม.

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ตารางผนวกที่ ค (ต่อ)

ลำดับที่	ชื่อลูกค้า	สาขา	ที่ตั้ง
57	ท็อปส์	รัตนาธิเบศร์	68/100 หมู่ 8 ถ.รัตนาธิเบศร์ ต.บางกระสอ อ.เมืองนนทบุรี 11000
58	ท็อปส์	สรงประภา	570/445-6 หมู่ 1 ถ.สรงประภา แขวงสีกัน เขตดอนเมือง กทม. 10210
59	ท็อปส์	สายไหม	99/9 หมู่ 5 แขวงสายไหม เขตสายไหม กทม. 10220
60	ท็อปส์	ตลิ่งชัน	28/8 หมู่ 6 แขวงตลิ่งชัน เขตตลิ่งชัน กทม.10170
61	กล้วย กล้วย	สยามสแควร์	ชั้นสอง โรงหนังลิโด สยามสแควร์ กทม.
62	รพ.วิภาวดี		อาคาร โรงพยาบาลวิภาวี ถ.วิภาวดี ลาดยาว จตุจักร กทม. 10900

ที่มา: นลินี (2548)

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY

ประวัติย่อผู้วิจัย

ชื่อ	นางธรินี มณีศรี
สถานที่เกิด	จังหวัดตราด
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	11/62 (หมู่บ้านนราวัลย์) ซอยสายไหม 56/1 แขวงสายไหม เขตสายไหม กรุงเทพมหานคร 10220 โทรศัพท์ 0-2990-5942
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	มหาวิทยาลัยศรีปทุม

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2552	วศ.ด. (วิศวกรรมอุตสาหการ) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2545	วศ.ม. (วิศวกรรมอุตสาหการ) จาก มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
พ.ศ. 2541	วศ.บ. (วิศวกรรมอุตสาหการ) จาก มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

มหาวิทยาลัยศรีปทุม
SRIPATUM UNIVERSITY