ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้

Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Demand Delivery Case study: Fruit Juice Beverage Factory

โรสนานี แวหะยี

Rosnanee Waehayee

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญา
วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร
มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements for the Degree of
Master of Science in Agro-Industry Technology Management
Prince of Songkla University
2557

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

ชื่อวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้

ผู้เขียน นางสาวโรสนานี แวหะยี

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	**คณะกรรมการสอบ**
.....	.....ประธานกรรมการ
(ดร.กันยา อัครอารีย์)	(ดร.เกรียงไกร ไวยกาญจน์)
	.....กรรมการ
	(ดร.กันยา อัครอารีย์)
	.....กรรมการ
	(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธรินี มณีศรี)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

.....

(รองศาสตราจารย์ ดร.ธีระพล ศรีชนะ)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

ขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้เป็นผลมาจากการศึกษาวิจัยของนักศึกษาเอง และได้แสดงความขอบคุณผู้มีส่วนช่วยเหลือแล้ว

ลงชื่อ.....
(ดร.กันยา อัครอารีย์)
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์

ลงชื่อ.....
(นางสาวโรสนานี แวหะยี)
นักศึกษา

ข้าพเจ้าขอรับรองว่า ผลงานวิจัยนี้ไม่เคยเป็นส่วนหนึ่งในการอนุมัติปริญญาในระดับใดมาก่อน และไม่ได้ถูกใช้ในการยื่นขออนุมัติปริญญาในขณะนี้

ลงชื่อ.....

(นางสาวโรสนานี แวหะยี)

นักศึกษา

ชื่อวิทยานิพนธ์ ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้

ผู้เขียน นางสาวโรสนานี แวหะยี

สาขาวิชา การจัดการเทคโนโลยีอุตสาหกรรมเกษตร

ปีการศึกษา 2556

บทคัดย่อ

การจัดรถขนส่งสินค้าเป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งในการดำเนินงานด้านโลจิสติกส์ที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าขนส่งสินค้าโดยตรง เนื่องจากความหลากหลายของประเภทยานพาหนะและเส้นทางการขนส่งสินค้า ทำให้การเลือกใช้ยานพาหนะและเส้นทางให้มีต้นทุนต่ำเป็นเรื่องยาก งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ เพื่อปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าให้มีต้นทุนต่ำ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด และออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จากการวิเคราะห์ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า มีต้นทุนการขนส่งสินค้าสูง เนื่องจากการจัดรถขนส่งสินค้าโดยใช้ประสบการณ์และความเคยชินของพนักงานแต่ละคน ไม่มีการเลือกใช้รถหรือเส้นทางการขนส่งที่ทำให้ต้นทุนต่ำ และต้นทุนจะพิจารณาการจัดส่งสินค้าในลักษณะเหมาจ่ายเพียงอย่างเดียว ทำให้ไม่สามารถประเมินต้นทุนในการจัดส่งสินค้าที่แท้จริงและควบคุมค่าขนส่งสินค้าได้ การดำเนินงานประกอบด้วยขั้นตอน ดังนี้ (1) จำลองปัญหาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ การแบ่งสินค้า และกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า (2) เลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนต่ำ (3) จัดเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยใช้วิธีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristic) แบบแทรกใกล้สุด (Nearest Insertion) และปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง และวิธีการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง และ (4) ออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จากการศึกษาและทดสอบจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอเปรียบเทียบกับวิธีการจัดรถขนส่งของโรงงานกรณีศึกษา โดยตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มี ลูกค้า 10 – 14 ราย 3 ตัวอย่าง และ รายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย พบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถจัดรถขนส่งสินค้าที่เหมาะสมได้ ในเวลาอันรวดเร็ว นอกจากนี้ มีการทดสอบจัดรถขนส่งสินค้าเปรียบเทียบกับข้อมูลจากระบบ GPS ของรถขนส่งจริง พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 10.20 และมีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 20.20 และระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้น สามารถใช้ในการจัดรถขนส่งได้ดี ทั้งนี้บริษัทกรณีศึกษาสามารถนำวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอและระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้นไปใช้ เพื่อเป็นเครื่องมือสำหรับการจัดรถขนส่งสินค้า ประมาณการต้นทุนค่าขนส่งเบื้องต้น และการตัดสินใจเลือกใช้ประเภท จำนวนรถขนส่งและเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมได้

Thesis Title Algorithm for Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Demand Delivery Case study: Fruit Juice Beverage Factory

Author Miss Rosnanee Waehayee

Major Program Agro-Industry Technology Management

Academic Year 2013

ABSTRACT

In logistics operations, Vehicle Routing Problem is the main point that each factory concerns since it affects to transportation cost. Due to variety of vehicle types and difference of vehicle routes, the appropriate selection of vehicle type and routing with low transportation cost is very difficult. The objective of this study was to improve product transportation by total cost minimization according to case study constrains, and design decision support system. From the case study survey, it was found that the factory could not control the appropriate selection of vehicle type and routing with low transportation cost. For current operating, vehicle type was selected and routed according to experiences of employee considered only capacity of available vehicles, and set routes without determining of less cost. Moreover, transportation cost is calculated from number of products and area of delivery. It was hardly to assess the actual cost and lowest costs. The research approach comprised of (1) Formulating minimized problem under vehicle capacity constraint, split demand delivery and limitation of delivery time (2) Selecting vehicle type by selecting type and number of vehicles with lowest transportation cost. (3) Routing of vehicle by applying Push Forward Insertion Heuristic and improving the answer by Customer Exchange and One Move Operator. (4) Design a decision support system. Some order examples of the case study were tested including customer order 10 to 14 customers (3 examples) and customer order 20 and 40 customers. It was found that the proposed method gave a lower cost and fast enough solution. In addition, product transport using GPS system was compared with proposed method. The result showed that distance reduced 10.20% and cost decreased 20.20%. Decision support systems can be applied as well. Moreover, the factory can use the proposed method and decision support system to be a tool for estimating transportation costs, and to select vehicle type and appropriate route for transportation.

สารบัญ

หน้า

สารบัญ..... (8)
รายการตาราง..... (9)
รายการภาพประกอบ..... (12)
บทที่
1 บทนำ..... 1
บทนำต้นเรื่อง..... 1
การตรวจเอกสาร..... 3
วัตถุประสงค์การวิจัย..... 31
2 วิธีการวิจัย..... 32
3 ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง..... 50
4 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 129
เอกสารอ้างอิง..... 134
ภาคผนวก..... 138
ก. ข้อมูลรายการคำสั่งซื้อ ชื่อจุดส่งสินค้า ระยะทาง เวลาเดินทาง สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง..... 139
ข. ข้อมูลรายการคำสั่งซื้อ ชื่อจุดส่งสินค้า ระยะทาง เวลาเดินทาง สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย..... 144
ค. ตัวอย่างการคำนวณ..... 173
ง. โครงสร้างโปรแกรมการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า..... 189
จ. แผนภาพโปรแกรม (Flow chart programming)..... 192
ฉ. Source code..... 198
ประวัติผู้เขียน..... 218

รายการตาราง

ตารางที่ **หน้า**

1	รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.....	13
2	ชนิดและน้ำหนักของสินค้า.....	57
3	ประเภทรถขนส่ง.....	59
4	ชนิดรถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา.....	61
5	การแบ่งพื้นที่ ใกล้ กลางและไกลของเขตพื้นที่ภาคกลางและปริมณฑล.....	63
6	ผลการประเมินประสิทธิภาพในปี 2554 ของแผนกโลจิสติกส์เกี่ยวกับเป้าหมายด้านลูกค้า.....	66
7	การสรุปสาเหตุของปัญหาต้นทุนค่าขนส่งสินค้าสูง.....	68
8	ความรุนแรง (Severity rating).....	70
9	โอกาสที่จะเกิด (Occurrence rating).....	70
10	ความสามารถในการตรวจจับ (Detection rating).....	70
11	ผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ.....	71
12	แสดงอันดับค่า RPN ที่ได้ของแต่ละสาเหตุของปัญหาจากการวิเคราะห์ตามลำดับ...	74
13	ประเภทและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง.....	76
14	ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าเสื่อมราคาของรถ.....	77
15	ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost: F_{km}) ของรถแต่ละประเภท.....	78
16	ต้นทุนผันแปร (Traveling Cost: T_{ijkm}).....	78
17	รายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง ที่ใช้ทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุง.....	87
18	ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา....	90
19	ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 1.....	92
20	ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 2.....	93
21	ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 3.....	94

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

22 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ
ที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 1..... 97

23 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ
ที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 2..... 98

24 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ
ที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 3..... 99

25 ต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้าจากการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดย
วิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิมของโรงงาน ของรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง..... 101

26 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ
รายการคำสั่งซื้อลูกค้า 20 ราย..... 104

27 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ
รายการคำสั่งซื้อลูกค้า 40 ราย..... 106

28 ต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้าจากการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดย
วิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิมของโรงงาน ของรายการคำสั่งซื้อ
ที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย..... 109

29 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs RUN Time) และต้นทุนค่าขนส่ง..... 110

30 ข้อมูลการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 ตัวอย่าง..... 113

31 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลางจำนวน 3 ตัวอย่าง (GPS)..... 115

32 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางจากตัวอย่างรถขนส่งจริงของโรงงาน
โดยวิธีการที่นำเสนอ..... 116

33 ระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ
ด้วยวิธีการของโรงงานโดยการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอและระยะทาง
จากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ..... 118

รายการตาราง(ต่อ)

ตารางที่ **หน้า**

34 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วย
วิธีการของโรงงานและวิธีการที่นำเสนอ..... 118

35 ระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลางจากระบบGPS,
วิธีการที่นำเสนอ และการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอ..... 119

36 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงาน,
วิธีการที่นำเสนอ และคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ..... 120

รายการภาพประกอบ

ภาพที่ **หน้า**

1	ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับราคา.....	6
2	ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการขนส่งกับน้ำหนักสินค้า.....	6
3	ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสินค้าและต้นทุนการขนส่ง.....	7
4	เครือข่ายเส้นทางยานพาหนะ.....	13
5	a เส้นทางการเดินรถแบบเดิม และ b เส้นทางการเดินรถแบบเซฟวิ่ง.....	21
6	ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange).....	25
7	ตัวอย่างการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator).....	26
8	ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์สำหรับการจัดเส้นทางรถขนส่ง...	35
9	ขั้นตอนการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า..	36
10	เส้นทางที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้ามากกว่าความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถ.....	42
11	เส้นทางที่ได้การจัดส่งสินค้าซึ่งเป็นเส้นทางปกติ $q_{jkm}(1)$.....	42
12	เส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีการแบ่งสินค้า.....	43
13	เส้นทางที่ใช้รถที่ถูกเพิ่ม (M_add) ในกรณีที่อนุญาตให้มีการเพิ่มรถได้.....	43
14	การปรับปรุงด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange)	45
15	การปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator).....	47
16	ขั้นตอนการดำเนินการของแผนกโลจิสติกส์.....	51
17	รถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการจัดรถขนส่งสินค้าแต่ละรูปแบบละเขตพื้นที่ในการจัดส่ง.....	58
18	ต้นทุนค่าขนส่งเฉลี่ย บาท / กล่อง (ไตรมาสที่ 1/2555) ของแต่ละเขตพื้นที่.....	65
19	ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางจากโปรแกรม Google map.....	79
20	แนวโน้มเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs RUN Time) ตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่าง.....	110
21	ความสัมพันธ์ส่วนต่างๆของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ.....	122

รายการภาพประกอบ(ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

22 ส่วนข้อมูลนำเข้า (Input)..... 123

23 ส่วนแสดงผล (Output)..... 124

24 การนำเข้าข้อมูลลูกค้าส่วน “Customer Data” ในหน้า Input..... 125

25 การนำเข้าข้อมูลรายการคำสั่งซื้อส่วน “Order” ในหน้า Input..... 125

26 ช่องแสดงแสดงรายการคำสั่งซื้อของลูกค้า “รายการคำสั่งซื้อสินค้าทั้งหมด”
ในหน้า Input..... 126

27 ตัวอย่างผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอจากระบบ

บทที่ 1

บทนำ

บทนำต้นเรื่อง

จากการขยายตัวทางเศรษฐกิจของประเทศและโลกปัจจุบันที่มีการพัฒนาไปอย่างรวดเร็ว ทำให้ธุรกิจต่างๆ มีการแข่งขันที่ทวีความรุนแรงมากขึ้น การเป็นผู้นำในธุรกิจจึงขึ้นอยู่กับความสามารถในการแข่งขันในหลายมิติ โดยเฉพาะอย่างยิ่งความสามารถในการแข่งขันทางด้านกิจกรรมโลจิสติกส์และการขนส่งซึ่งเป็นมิติที่สำคัญของการดำเนินธุรกิจ เนื่องจากเป็นกิจกรรมพื้นฐานอย่างหนึ่งในการจัดการโซ่อุปทาน การเลือกใช้ยานพาหนะและเส้นทางในการจัดส่งสินค้า เพื่อให้มีต้นทุนในการจัดส่งสินค้าต่ำเป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการขนส่ง ซึ่งมีความสอดคล้องกับรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) และเนื่องจากมีรูปแบบของปัญหาที่หลากหลาย เช่น ความต้องการของลูกค้าที่มีความหลากหลาย (Multiple Demands) การใช้รถขนส่งหลากหลายประเภท (Multi-Capacitated Vehicle) รวมทั้งมีการกำหนดกรอบเวลาในการขนส่ง (Time Windows) เป็นต้น การมีระบบหรือวิธีการที่ช่วยในการตัดสินใจสำหรับการเลือกใช้ยานพาหนะและเส้นทางในการจัดส่งสินค้า ถือเป็นเครื่องมืออย่างหนึ่งที่จะช่วยให้การขนส่งสินค้านั้นมีความถูกต้อง แม่นยำและลดความผิดพลาดที่อาจเกิดขึ้นจากการวางแผนการจัดส่งสินค้าด้วยประสบการณ์ อีกทั้งยังทำให้สามารถกระจายสินค้าไปยังพื้นที่ต่างๆที่มีความต้องการในเวลาที่กำหนดอย่างมีประสิทธิภาพและต้นทุนต่ำ

โรงงานกรณีศึกษาเป็นโรงงานที่ดำเนินกิจการด้านการผลิต และจัดจำหน่ายเครื่องดื่ม น้ำผลไม้พร้อมดื่ม เช่น น้ำผลไม้ผสมโยเกิร์ต น้ำผลไม้ผสมวุ้นมะพร้าว น้ำผลไม้หวานเย็นวุ้นชนิดถ้วย เป็นต้น โดยมีลูกค้าทั้งภายในและต่างประเทศ และมีปริมาณการสั่งซื้อสินค้าที่หลากหลายขึ้นกับการสั่งซื้อของลูกค้า ปัจจุบันการขนส่งสินค้าภายในประเทศ แบ่งเป็น 3 เขตพื้นที่ดังนี้ คือ (1) เขตพื้นที่ภาคเหนือและอีสาน (2) เขตพื้นที่ภาคกลาง ภาคตะวันออกและภาคใต้ และ (3) เขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑล โดยในการขนส่งสินค้าให้กับลูกค้านั้น มีการใช้รถขนส่ง 4 ประเภท คือ (1) รถบริษัท (2) รถร่วม (3) บริษัทขนส่ง และ (4) รถขนส่งของลูกค้า (กรณีลูกค้ามารับสินค้าเอง) ทั้งนี้จะประกอบด้วยรถ 4 ชนิด ได้แก่ (1) รถบรรทุก 4 ล้อ (2) รถบรรทุก 6 ล้อ

(3) รถบรรทุก 10 ล้อ และ(4) รถบรรทุกเทรลเลอร์ โดยลูกค้าแต่ละรายมีการกำหนดช่วงเวลาในการจัดส่งสินค้า

จากการสำรวจรูปแบบปัจจุบันในการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาโดยการสัมภาษณ์และสังเกตสภาพการทำงานจริง พบว่า ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษา มีการจัดรถขนส่งสินค้าโดยใช้ประสบการณ์และความเคยชินของพนักงานแต่ละคนเพียงอย่างเดียว ซึ่งพนักงานจะพิจารณาจากความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละประเภทเป็นหลัก และไม่มีการเลือกใช้เส้นทางในการจัดส่งสินค้าเพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำ รวมทั้งการคำนวณต้นทุนในการจัดส่งสินค้านั้น โรงงานกรณีศึกษาพิจารณาในลักษณะของต้นทุนการจัดส่งสินค้าต่อหีบตามพื้นที่ในการจัดส่งเพียงอย่างเดียว จึงทำให้โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถที่จะประเมินต้นทุนในการจัดส่งสินค้าที่แท้จริง และทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำลงได้ ซึ่งรูปแบบของปัญหาดังกล่าวนี้มีความสอดคล้องกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

ดังนั้น วัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อปรับปรุงการจัดส่งสินค้า ในรูปแบบมีการกำหนดกรอบเวลาในการขนส่ง (Time Windows) การแบ่งสินค้า (Split Demand Delivery) และมีการใช้รถขนส่งหลากหลายประเภท (Multi-Capacitated Vehicle) ซึ่งพิจารณาเฉพาะการจัดส่งสินค้าสำหรับลูกค้าในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น โดยจะแบ่งการดำเนินงานเป็น 2 ส่วน ดังนี้ (1) การพัฒนาวิธีการจัดส่งสินค้า โดยการสร้างแบบจำลองปัญหาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และการหาผลเฉลยด้วยวิธีการค้นหาแบบฮิวริสติกส์ (Heuristics) และ (2) จัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System) เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยให้ผู้ใช้งานสามารถใช้งานได้ง่ายขึ้นและให้ได้คำตอบที่เหมาะสม รวมทั้งลดความผิดพลาดต่างๆในการจัดส่งสินค้าที่เกิดจากพนักงานได้

การตรวจเอกสาร

1. การขนส่งสินค้า

1.1 ความหมายและความสำคัญของการขนส่ง

การขนส่งนับเป็นสื่อกลางการเชื่อมโยงสิ่งต่างๆ ระหว่างสถานที่ต่างๆ และถือว่าเป็นการให้ บริการตามความต้องการของลูกค้าโดยไม่สามารถจัดเป็นรูปสินค้าได้ ซึ่งถ้าพิจารณาในลักษณะการผลิตและการตลาดสามารถกล่าวได้ว่า การขนส่งสนับสนุนการผลิต โดยการขนส่งทำหน้าที่เคลื่อนย้ายปัจจัยที่ใช้ในการผลิต เช่น วัตถุดิบ วัสดุและอุปกรณ์การผลิต เป็นต้น นอกจากนี้ยังสนับสนุนการตลาด โดยทำหน้าที่เคลื่อนย้ายผลผลิตที่สำเร็จแล้วออกมาเป็นสินค้าและบริการสู่ตลาดให้ถึงมือลูกค้าได้ทันเวลาและความต้องการในทุกสถานที่ นอกจากนี้หน้าที่ของการขนส่งที่มีต่อชีวิตความเป็นอยู่ของบุคคลสามารถพิจารณาได้ 2 ลักษณะคือ หน้าที่โดยตรง หมายถึง การขนส่งมีหน้าที่ในการขนส่งตัวบุคคลจากที่หนึ่งไปอีกที่หนึ่ง กล่าวคือ เป็นการขนส่งผู้โดยสาร อีกลักษณะคือ หน้าที่โดยอ้อม หมายถึง การขนส่งสินค้าและบริการต่างๆทั้งที่สำเร็จรูปหรือยังเป็นวัตถุดิบไปยังโรงงานหรือลูกค้า จากแหล่งวัตถุดิบไปยังแหล่งผลิตหรือจากแหล่งวัตถุดิบไปยังแหล่งตลาด (โกศล ดีศีลธรรม, 2547)

1.2 การบริหารจัดการขนส่ง

การบริหารจัดการขนส่ง เป็นการเคลื่อนย้ายสินค้าจากโรงงานผลิตไปยังโกดังระหว่างสถานประกอบการ ระหว่างประเทศ ในประเทศ หรือในภูมิภาคไปยังผู้จัดจำหน่าย รวมทั้งการสรรหาทรัพยากรและการจำหน่ายสินค้าครั้งสุดท้ายไปยังร้านค้าหรือผู้บริโภคขั้นสุดท้ายซึ่งทำให้ค่าใช้จ่ายเพิ่มสูงขึ้นอาจหมายถึงต้นทุนด้านโลจิสติกส์กว่าครึ่ง การบริหารจัดการการขนส่งสินค้าจะทำให้สามารถพิจารณาและติดตามได้รอบด้าน และใช้ทรัพยากรได้ ในระดับค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม ดังนั้นการขนส่งจึงจำเป็นจะต้องมีการบริหารจัดการเพื่อให้เกิดการพัฒนาอยู่ตลอดเวลา โดยจุดมุ่งหมายที่สำคัญอย่างหนึ่งของการพัฒนาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง คำนาย อภิปรัชญาสกุล (2550) กล่าวว่า การพัฒนาเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นการพัฒนาเรื่องค่าใช้จ่ายที่จะเกิดขึ้นในการขนส่ง เพื่อลดต้นทุนในการขนส่งให้น้อยลง กล่าวคือ เมื่อต้นทุนการขนส่งสินค้าและบริการต่ำลงก็

จะทำให้อัตราค่าบริการในการขนส่งต่ำลงไปด้วย ดังนั้น ต้นทุนที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งจึงมีความสำคัญต่อการบริหารจัดการขนส่งเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายในการขนส่ง จึงจะกล่าวถึงลักษณะของต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่างๆ ในหัวข้อถัดไป

1.2.1 ต้นทุนการขนส่ง

ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งสามารถจำแนกออกเป็นหลายประเภท ตามลักษณะของกิจกรรมที่เกิด ส่งผลให้เกิดต้นทุน ดังนี้ (คงชลัช จันทร์กลิ่น, 2552)

- ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงใดๆตามการขนส่งไม่ว่าจะทำการขนส่งเป็นจำนวนมากหรือจำนวนน้อยเพียงใด ก็ต้องเสียค่าใช้จ่ายในอัตราเท่าเดิมตลอดเวลา เช่น ค่าเช่ารถ ค่าจ้างแรงงาน ค่าประกันภัย ค่าทะเบียนยานพาหนะ ค่าเสื่อมราคา เงินเดือนประจำ เป็นต้นในบางครั้งต้นทุนประเภทนี้อาจเรียกว่า ค่าใช้จ่ายคงที่ (Constant Cost) หรือ ค่าโสหุ้ย (Overhead Cost) ต้นทุนชนิดนี้ แม้จะให้บริการมากน้อยเพียงใดหรือไม่ได้ให้บริการเลย ก็เท่ากับเสียเป็นจำนวนเท่ากัน เป็นต้น

- ต้นทุนผันแปร (Variable Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่มีการเปลี่ยนแปลงตามปริมาณของการขนส่ง อาจเรียกเป็น ต้นทุนการดำเนินงาน (Operation Cost) ถ้าให้บริการขนส่งมาก ต้นทุนชนิดนี้ก็มากด้วย ถ้าบริการขนส่งน้อย ต้นทุนก็น้อย ถ้าไม่ได้ให้บริการเลย ก็ไม่ต้องจ่ายต้นทุนนี้ ต้นทุนผันแปรได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าซ่อมแซม ค่าน้ำมันหล่อลื่น ค่าใช้จ่ายในการขนส่ง เป็นต้น

- ต้นทุนรวม (Total Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายต่างๆ โดยคิดทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนผันแปรมารวมกัน ถือเป็นต้นทุนการบริการทั้งหมด ในการขนส่งถือว่าเป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นสำหรับการขนส่งสินค้า โดยไม่สามารถจะแยกออกได้ว่าต้นทุนของการขนส่งสินค้าหรือบริการแต่ละอย่างแต่ละประเภทนั้นเป็นเท่าใด เช่น การขนส่งทางรถไฟ โดยรถขบวนหนึ่งอาจมีทั้งผู้โดยสาร สินค้าและบริการในขบวนเดียวกัน ค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจะเป็นต้นทุนร่วมกัน เพราะไม่สามารถแยกได้ว่าเป็นต้นทุนในการขนส่งผู้โดยสาร หรือต้นทุนสำหรับการขนส่งสินค้าและบริการ เป็นต้น ดังนั้น ต้นทุนที่เกิดขึ้นในการขนส่งเที่ยวนั้น ก็ควรจะแบ่งสรรไปยังสินค้าแต่ละชนิดที่ขนส่งในเที่ยวนั้น การที่ต้องแบ่งสรรต้นทุนเช่นนี้ก็จะเป็นประโยชน์แก่ธุรกิจ เพื่อจะได้ทราบว่า สินค้าแต่ละประเภท

ที่ดำเนินการอยู่นั้น มีต้นทุนและให้กำไร เพียงใด ต้นทุนร่วมที่สามารถแยกแยะได้ชัดเจน เช่น ค่าน้ำมันซึ่งคิดเฉลี่ยแต่ละเที่ยวไปตามน้ำหนักบรรทุกสินค้า เป็นต้น

- ต้นทุนเที่ยวกลับ (Backhaul Cost) เป็นต้นทุนหรือค่าใช้จ่ายที่ได้รวมเอาลักษณะของค่าเสียโอกาส (Opportunity Cost) เข้าไปด้วย ถือเป็นค่าชดเชยที่ต้องทำให้เสียโอกาสมากขึ้นในกรณีของการขนส่ง หมายถึง การที่ต้องบรรทุกผู้โดยสาร สินค้าหรือบริการ ไปส่งยังจุดหมายปลายทางแล้วในเที่ยวกลับนั้นไม่ได้บรรทุกอะไรกลับมาเลย กรณีนี้ จึงจะมีการคิดถึงต้นทุนเที่ยวกลับรวมไว้ในการคิดต้นทุนค่าบริการขนส่งด้วย ซึ่งในบางครั้งลักษณะเช่นนี้ ถือว่าการสูญเปล่าได้เกิดขึ้น และถือว่าเป็นการขนส่งที่ไม่ทำให้เกิดการประหยัดอีกด้วย ผู้ประกอบการขนส่งต้องคำนึงถึงต้นทุนเที่ยวกลับด้วย หรือในกรณีของธุรกิจที่มีรถบรรทุกสินค้าเอง ก็ควรคำนึงถึงต้นทุนนี้ด้วยเช่นกัน

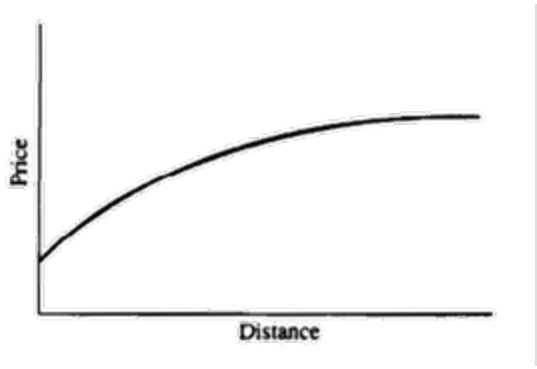
1.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อต้นทุนการขนส่ง

Bowersox และ Closs (1996) ได้กล่าวถึงปัจจัยหลักที่มีผลต่อต้นทุนทางเศรษฐศาสตร์การขนส่ง ได้แก่ ระยะทาง ปริมาณ ความหนาแน่น การจัดเก็บ การจัดการ ความรับผิดชอบ และการตลาด ซึ่งมีความหมายเกี่ยวข้องกัน ดังนี้

- ระยะทาง (Distance) เป็นปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อต้นทุนการขนส่ง เนื่องจากมีความเกี่ยวข้องกับต้นทุนผันแปร คือ ค่าแรง เชื้อเพลิงและการบำรุงรักษา จากภาพที่ 1 แสดงความสัมพันธ์ที่สำคัญอยู่ 2 ประการ ประการแรกคือ ต้นทุนของการรับและส่งสินค้าจะคำนึงถึงระยะทาง ประการที่สองคือ ต้นทุนเพิ่มขึ้นในอัตราที่ลดลงตามระยะทาง เรียกว่า Tapering Principle เป็นผลจากการเคลื่อนย้ายระยะไกลขึ้นซึ่งมีแนวโน้มทำให้เปอร์เซ็นต์การวิ่งระหว่างเมืองจะมีมากกว่าในเมือง การวิ่งระหว่างเมืองจะถูกกว่าเนื่องจากระยะทางที่วิ่งมากกว่าโดยใช้เชื้อเพลิงและค่าแรงที่เหมือนกันและผลจากอัตราวิ่งที่สูงกว่า และเป็นเพราะความถี่ของการหยุดรถในเมืองที่ทำให้ต้นทุนการรับและส่งสินค้าสูง

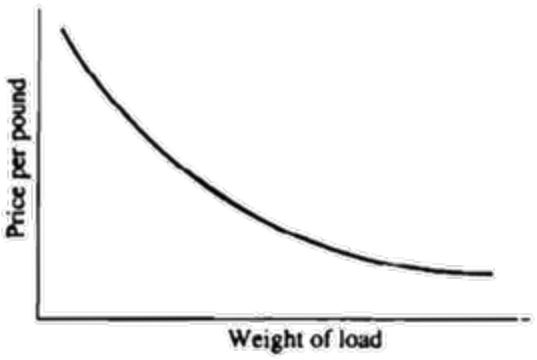
- จำนวน (Volume) เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อน้ำหนักของการขนส่งและมีความสัมพันธ์กับต้นทุนในการขนส่ง จากภาพที่ 2 แสดงให้เห็นถึงต้นทุนการขนส่งต่อน้ำหนักสินค้าลดลงเมื่อปริมาณสินค้ามีจำนวนเพิ่มขึ้น ที่เป็นเช่นนี้ เพราะต้นทุนคงที่ของการรับและส่งสินค้าและค่าการจัดการต่างๆและได้ถูกเฉลี่ยลงไปตามจำนวนสินค้าที่เพิ่มขึ้น ความสัมพันธ์นี้จะถูกจำกัดด้วย

ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ เช่น เมื่อยานพาหนะคันที่หนึ่งเต็ม ก็จะต้องใช้คันที่สองบรรทุกส่วนที่เหลือ ดังนั้น ถ้าปริมาณสินค้าน้อยก็ควรที่จะทำการรวบรวมสินค้าให้มีมากพอเพื่อ ความได้เปรียบตามหลักของเศรษฐศาสตร์



ภาพที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างระยะทางกับราคา

ที่มา : คงชลัช จันทร์กลิ่น (2552)

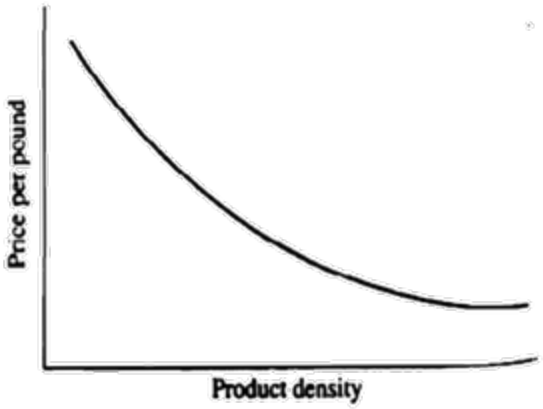


ภาพที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างต้นทุนการขนส่งกับน้ำหนักสินค้า

ที่มา : คงชลัช จันทร์กลิ่น (2552)

- ความหนาแน่น (Density) ซึ่งต้องพิจารณาถึงน้ำหนักสินค้าและพื้นที่ที่ใช้ด้วย โดยทั่วไปจะคิดค่าขนส่งตามน้ำหนัก เช่น ต่อตัน เป็นต้น ยานพาหนะบรรทุกจะถูกจำกัดด้วยพื้นที่มากกว่าน้ำหนักบรรทุก ถ้าบรรทุกเต็มแล้วก็เป็นไปไม่ได้ที่จะบรรทุกเพิ่มแม้ว่าสินค้านั้นจะเบาก็ตาม ค่าแรง คนขับและค่าเชื้อเพลิงไม่ได้มีผลจากน้ำหนักบรรทุก ความหนาแน่นของสินค้าเพิ่มขึ้นก็จะทำ

ให้ต้นทุนคงที่ถูกแบ่งไปตามน้ำหนักที่เพิ่ม เป็นผลให้ต้นทุนค่าขนส่งต่อน้ำหนักน้อยลงด้วย จากภาพที่ 3 ต้นทุนค่าขนส่งต่อน้ำหนักลดลง แม้ว่าความหนาแน่นจะเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นของสินค้าและต้นทุนการขนส่ง
ที่มา : คงชลัช จันทร์กลิ่น (2552)

1.3 ปัญหาการขนส่งสินค้า

ปัญหาการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปสู่ลูกค้า เริ่มต้นมาจากปัญหาการขนส่ง (Transportation Problem) ซึ่งเป็นปัญหาการขนส่งจากคลังสินค้าหลายคลังสินค้า ไปยังลูกค้าหลายรายโดยเป็นการขนส่งแบบไปกลับระหว่างลูกค้าแต่ละรายกับคลังสินค้า แต่เนื่องจากรถบรรทุกขนส่งสามารถบรรทุกสินค้าได้มาก การที่ขนส่งแบบไปกลับเที่ยวเดียวระหว่างลูกค้ากับคลังสินค้า เป็นการสิ้นเปลืองค่าใช้จ่าย นอกจากนี้การมีคลังสินค้าจำนวนมากยังเพิ่มต้นทุนในการตั้งคลังสินค้าอีกมาก (นลินี อุดมสมบัติชัย, 2548)

คงชลัช จันกลิ่น (2552) กล่าวว่า โดยทั่วไปวัตถุประสงค์ของปัญหาการขนส่งคือ ทำให้ต้นทุนค่าขนส่ง มีค่าต่ำสุด หรือทำให้ระยะทางสั้นที่สุด โดยข้อจำกัดของปัญหาเหล่านี้จะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการจัดเก็บของแหล่งกำเนิดและปลายทาง ระยะทางในการขนส่งไปยังลูกค้า รวมทั้งความต้องการสินค้าของแต่ละจุดหมายปลายทาง ปัญหาการบรรทุกสินค้า (Truck Loading) เป็นปัญหาในการตัดสินใจว่า จะนำสินค้าชนิดใดบรรทุกไปในรถบรรทุกแต่ละคัน เพื่อทำให้มูลค่าของการขนส่งมีค่าสูงสุด ปัญหาการขนส่งเป็นปัญหาเฉพาะของปัญหาการขนถ่ายสินค้า

จากยานพาหนะหนึ่งไปยังอีกยานพาหนะหนึ่ง หรือไปยังอีกแหล่งหนึ่ง ถ้าสินค้าขนส่งจากแหล่งกำเนิดแล้วผ่านจุดขนถ่ายสินค้า (Transshipment Point) ก่อนที่จะส่งถึงจุดหมายปลายทาง (Destination Point) ในปัจจุบันการผลิตสินค้าของโรงงานต่างๆ มักจะส่งสินค้าจำนวนมากๆ ผ่านจุดกระจายสินค้าไปยังพ่อค้าปลีกต่างๆ ซึ่งที่จุดกระจายสินค้านี้ อาจมีการจัดแบ่งหีบห่อสินค้าให้มีขนาดตามที่ลูกค้าหรือร้านค้าปลีกต้องการแล้วจึงจัดรถบรรทุกที่มีขนาดเหมาะสมไปส่งยังลูกค้าหรือร้านค้าปลีก ทั้งนี้เพื่อที่จะลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้ารวม ดังนั้นปัญหาการขนส่งสินค้าจึงถือเป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งโดยเฉพาะในภาคอุตสาหกรรม ซึ่งเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและมีปัจจัยที่เกี่ยวข้อง และหลายรูปแบบตามวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหา เช่น ต้องการให้มีระยะทางที่สั้นที่สุด เวลาในการเดินทางน้อยที่สุด หรือต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด เป็นต้น

1.3.1 ปัจจัยการพิจารณาปัญหาการขนส่งสินค้า

ปัญหาการขนส่งสินค้ามักถูกนำเสนอในรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งมีปัจจัยในการพิจารณาปัญหาเพื่อกำหนดรูปแบบของปัญหาได้ชัดเจนยิ่งขึ้น โดย Bodin and Golden (1981) ได้นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem) โดยมีปัจจัยในการพิจารณาปัญหาการขนส่งสินค้าไปสู่ลูกค้าที่สามารถสรุปได้ดังนี้

1.3.1.1 วัตถุประสงค์ของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

- ค่าใช้จ่ายรวมต่ำสุด
- จำนวนรถที่ใช้ต่ำสุด

1.3.1.2 ด้านยานพาหนะ

ก. จำนวนรถ

- จำนวนรถ 1 คัน
- จำนวนรถมากกว่า 1 คัน

ข. ประเภทรถ

- มีรถ 1 ประเภท
- มีรถมากกว่า 1 ประเภท
- เฉพาะแบบ

ค. ความจุของรถ

- ความจุของรถเท่ากันทุกคัน
- ความจุของรถไม่เท่ากันทุกคัน

1.3.1.3 ด้านคลังสินค้า

- คลังสินค้า 1 แห่ง
- คลังสินค้ามากกว่า 1 แห่ง

1.3.1.4 ด้านข้อกำหนดในการวิ่งผ่าน

- ต้องผ่านจุดที่ระบุ (At nodes)
- ต้องผ่านเส้นทางที่ระบุ (At arcs)
- แบบผสม (Mixed)

1.3.1.5 ด้านลูกค้า

ก. จำนวนจุดที่พิจารณา

- จำนวนจุดที่พิจารณาน้อย
- จำนวนจุดที่พิจารณามาก

ข. ลักษณะความต้องการของจุดต่างๆ

- ปริมาณความต้องการคงที่ (Deterministic)
- ปริมาณความต้องการแบบความน่าจะเป็น (Stochastic)
- ปริมาณขึ้นกับความต้องการของลูกค้า (Partial Satisfaction)

1.3.1.6 ด้านเวลา

ก. เวลามากที่สุดในแต่ละเส้นทาง

- เวลามากที่สุดเท่ากันทุกเส้นทาง
- เวลามากที่สุดไม่เท่ากันทุกเส้นทาง
- เวลามากที่สุดไม่มีขอบเขต

จากปัจจัยดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปัญหาการขนส่งสินค้ามีปัจจัยในการพิจารณาที่หลากหลาย ทำให้รูปแบบของปัญหาแตกต่างกันไปตามรายละเอียดและปัจจัยในการพิจารณาของปัญหานั้นๆ เช่น การนำเสนอปัญหาการขนส่งสินค้า ในรูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งเป็นการกระจายสินค้าประเภทเครื่องดื่มและยาสูบในพื้นที่ในเขตเมืองที่หนาแน่นของประเทศบราซิลของ Vitoria และคณะ (2012) โดยมีรูปแบบของปัญหา คือ ลูกค้าประกอบด้วยร้านค้าปลีกขนาดเล็กและกลางจำนวนมากและตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่มีประชากรและการจราจรหนาแน่น บางครั้งจำเป็นจะต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้าด้วยการเดินเท้า และด้วยจำนวนพนักงานและเวลาทำงานที่จำกัด ทำให้ไม่สามารถส่งสินค้าทันเวลาที่กำหนดได้ ดังนั้นจึงมีการกำหนดวัตถุประสงค์ของการปัญหาการขนส่งนี้ คือเพื่อให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุด จากการลดจำนวนยานพาหนะ จำนวนพนักงาน และระยะทางรวมทั้งหมด

นิรันดร์ สมมุติ (2552) นำเสนอปัญหาการขนส่งสินค้าของกรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่มในรูปแบบปัญหา VRP ด้วยเช่นกัน โดยมีลักษณะของปัญหา คือ ต้องขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าที่มีทั้งหมด 73 ราย ที่มีความต้องการสินค้าไม่แน่นอน โรงงานมีรถกระบะบรรทุกจำนวน 3 คัน ความจุในการบรรทุกของรถแต่ละคันสูงสุด 75 ถัง ในรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบความต้องการสินค้าไม่แน่นอน (Stochastic VRP) ซึ่งงานวิจัยนี้มุ่งเน้นถึงการลดระยะทางในการขนส่งให้มีระยะทางโดยรวมต่ำสุด โดยพิจารณาถึงค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจากกรณีที่ สินค้าไม่พอต่อความต้องการ (Shortage cost) และกรณีที่สินค้าเกินความต้องการของลูกค้า (Overload cost)

บุริม นิลแป้น และคณะ (2550) การนำเสนอปัญหาการขนส่งอ้อยเข้าสู่โรงงานน้ำตาล มีจุดมุ่งหมายในการเพื่อแก้ปัญหาที่เกิดจากการวางแผนการใช้ รถบรรทุกที่ไม่มีประสิทธิภาพ ไม่มีการกำหนดเลือกเส้นทางของรถบรรทุกแต่ละคัน รถบรรทุกจึงมาถึงโรงงานพร้อมกันทำให้เกิดการรอคอย และศึกษาหาแนวทางในรูปแบบปัญหา VRP โดยมีลักษณะปัญหา คือ โรงงานมีจำนวนรถบรรทุกที่ใช้ในการขนส่งเป็นจำนวนที่จำกัด เท่ากับ N คัน มีพื้นที่ที่ต้องเก็บเป็นจำนวน A ไร่ ลำดับในการเก็บอ้อยของรถบรรทุกควร เป็นอย่างไร เพื่อให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุด

Zeng และคณะ(2008) ศึกษาปัญหาการขนส่งสินค้าของบริษัทกระจายสินค้าประเภทน้ำอัดลมที่สิงคโปร์ มีลักษณะปัญหาดังนี้ (1) ข้อจำกัดด้านความต้องการของลูกค้า (Demand constraint) บริษัทมียานพาหนะสำหรับให้บริการลูกค้าตามความต้องการส่งที่ทราบเท่านั้น (2) ข้อจำกัดด้านเวลา (Time constrain) ยานพาหนะสามารถเดินทางได้โดยจำนวนเวลารวมในแต่ละวันจะต้องไม่เกินที่กำหนด โดยยานพาหนะแต่ละคันจะเริ่มต้นที่คลังสินค้า (Depot) และไปส่งของให้กับลูกค้าแล้วกลับมายังคลังสินค้าเพื่อรับผลิตภัณฑ์รอบต่อไปเสมอ งานวิจัยนี้จะพิจารณาปัญหาการขนส่งสินค้า รูปแบบปัญหา VRP แบบมีกรอบเวลา (VRPTW) และมีความไม่แน่นอน (SVRP) โดยวัตถุประสงค์หลักของการแก้ปัญหา คือ กำหนดขนาดของยานพาหนะขั้นต่ำและกำหนดตารางของยานพาหนะที่จะให้บริการลูกค้าในแต่ละวัน

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่งสินค้าแสดงให้เห็นถึงความหลากหลายของรูปแบบของปัญหาการขนส่งสินค้า ทั้งนี้การระบุหรือแสดงปัญหาในแต่ละรูปแบบ รวมทั้งวิธีการแก้ปัญหานั้น ก็แตกต่างกันตามวัตถุประสงค์ในการแก้ปัญหาและปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องของปัญหาแต่ละปัญหา และเนื่องจากปัญหาการขนส่งส่งสินค้ามีความซับซ้อน ดังนั้น เพื่อให้ปัญหาการขนส่งสินค้ามีความเฉพาะเจาะจงกับแต่ละปัญหามากขึ้น นอกจากการพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับปัญหาการขนส่งสินค้าแล้ว พบว่า ปัญหาการขนส่งสินค้ามักจะถูกนำเสนอในรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ซึ่งสามารถแบ่งเป็นรูปแบบต่างๆได้อย่างชัดเจนมากขึ้น โดยจะกล่าวถึงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะในหัวข้อถัดไป

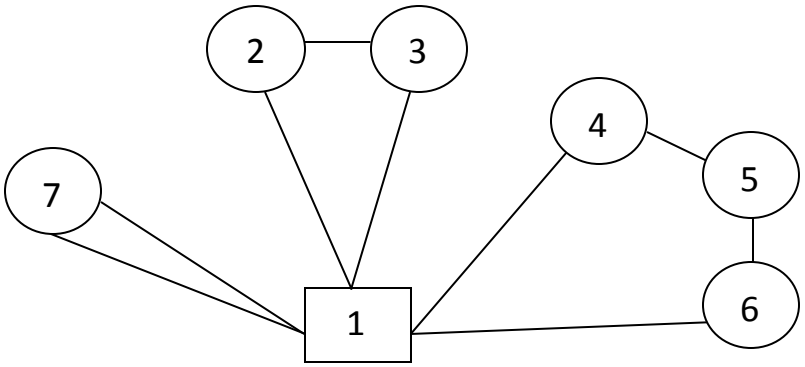
2. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP)

2.1 ความหมายและความสำคัญของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP)

อุบลรัตน์ เธียรธนาคม (2551) กล่าวว่า ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ คือ การกำหนดกลุ่มของเส้นทางการขนส่งจากคลังสินค้าไปยังความต้องการในจุดต่างๆ โดยที่ค่าใช้จ่าย หรือระยะทางในการขนส่งมีค่าน้อยที่สุด ภายใต้เงื่อนไขหรือข้อจำกัดในด้านต่างๆ ด้วย เช่น เวลา จำนวนและขีดจำกัดของยานพาหนะ ซึ่งเป็นปัญหาที่สำคัญปัญหาหนึ่งในการจัดการด้านโลจิสติกส์ อย่างหนึ่ง

ธรินี มณีศรี (2552) ได้กล่าวว่าปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง (VRP) คือ ปัญหา เกี่ยวกับการจัดเส้นทางเดินรถขนส่ง ที่มีคลังสินค้าเป็นศูนย์กลาง และมีลูกค้ากระจายอยู่ตามตำแหน่ง ต่างๆ โดยแต่ละตำแหน่งของลูกค้า มีความต้องการสินค้าที่แตกต่างกันไป ผลเฉลยของปัญหา คือ การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งที่เริ่มออกเดินทางจากคลังสินค้า เพื่อไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้า ณ ตำแหน่ง ต่างๆ เมื่อให้บริการจนครบทุกลูกค้าจึงเดินทางกลับมายังคลังสินค้าเดิม

Golden และคณะ (1977) ได้นำเสนอปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะจาก คลังสินค้าไปยังลูกค้าหลายจุด ซึ่งมีปริมาณความต้องการแตกต่างกัน ภายใต้เงื่อนไข คือ ระยะทางที่ ต่ำที่สุดและทุกๆยานพาหนะจะเริ่มและสิ้นสุดที่คลังสินค้ากลาง โดยมีข้อจำกัดในความจุของ ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งและระยะเวลาสูงสุดในการขนส่งหนึ่งรอบของเส้นทางการจัดส่ง ถ้าไม่ คำนึงถึงข้อจำกัดในระยะเวลาสูงสุดในการขนส่ง จะเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมาตรฐาน (Standard Vehicle Routing Problem: VRP) ดังภาพที่ 4 ซึ่งเป็นเครือข่ายที่แสดงลักษณะเส้นทาง ของยานพาหนะแต่ละคัน (อุบลรัตน์ เธียรธนาคม, 2551)



ภาพที่ 4 เครือข่ายเส้นทางยานพาหนะ

ที่มา : อุบลรัตน์ เธียรธนาคม (2551)

2.2 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

Dantzing และ Ramser (1959) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ (VRP) ซึ่งนับเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาขั้นตอนวิธีต่างๆ การแก้ปัญหาดังกล่าว มาจนกระทั่งถึงปัจจุบันนี้ ซึ่งมีการพัฒนารูปแบบของปัญหา และเทคนิควิธีการ ในงานวิจัยของ Toth และคณะ (2001 อ้างโดย ธรินี มณีศรี, 2552) ได้แบ่งปัญหา VRP ไว้ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 รูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

รูปแบบของปัญหา	**ชื่อย่อ**	**ความหมาย**
VRP with Capacitated	CVRP	VRP แบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า
VRP with Time Windows	VRPTW	VRP แบบมีกรอบเวลา
VRP with Backhaul	VRPB	VRP แบบมีการขนส่งกลับมายังคลังเดิม
VRP Pickup and Delivery	VRPPD	VRP แบบมีการรับและส่งสินค้า
VRPPD with Time Windows	VRPPDTW	VRPPD แบบมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	VRP แบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	VRP แบบมีช่วงเวลา
Periodic VRPTW	PVRPTW	VRP แบบมีช่วงเวลาและกรอบเวลา
Stochastic VRP	SVRP	VRP แบบมีความไม่แน่นอน

ที่มา : ธรินี มณีศรี (2552)

รูปแบบปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะมีอยู่หลายปัญหาแตกต่างกันไปตามรายละเอียดของปัญหานั้นๆ ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW) เป็นปัญหาหนึ่งที่ได้รับความนิยม และงานวิจัยจำนวนมากนำใช้ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีการพิจารณาถึงปัจจัยด้านเวลา รวมทั้งในงานวิจัยนี้ด้วย ทำให้มีวิธีการที่ใช้ในการแก้ปัญหาที่หลากหลายเช่นกัน ดังนั้นหัวข้อถัดไปจึงจะนำเสนอเกี่ยวกับรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW) และวิธีการแก้ปัญหาสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะต่อไป

3. ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRPTW)

3.1 ความหมายและความสำคัญของปัญหา VRPTW

ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา (VRP with Time Windows :VRPTW) สำหรับปัญหา VRPTW โดยทั่วไปมีรูปแบบเหมือน VRP แต่มีการจัดเส้นทางโดยการเพิ่มเงื่อนไขเกี่ยวกับระยะเวลาที่ลูกค้ากำหนดให้มีการส่งสินค้าภายในกรอบเวลา (Time Windows) ธีระศักดิ์ ชุมละออ และคณะ (2549) กล่าวว่าปัญหาการจัดส่งสินค้าที่มีข้อจำกัดของเวลา หรือเรียกกันว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลา (VRPTW) เป็นการเขียนขยายปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (Vehicle Routing Problem: VRP) ให้มีความทั่วไปมากขึ้น

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลามีความยากมากกว่าปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งปกติ โดยจุดประสงค์ทั่วไปของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลา คือ การลดจำนวนรถขนส่ง หรือการลดค่าขนส่งโดยรวม และมักจะมีสมมติฐานว่ามีจำนวนรถไม่จำกัด แต่ในทางปฏิบัติแล้ว บริษัทต่างๆ มีจำนวนรถขนส่งจำกัด Lau และคณะ (2003) ได้คำนึงถึงข้อจำกัดด้านจำนวนรถในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยมีกรอบเวลา แต่ในการศึกษาครั้งนั้นอนุญาตให้ข้อจำกัดเรื่องเวลาเป็นข้อจำกัดที่ยืดหยุ่นได้ (Soft Constraint) กล่าวคือ หากไม่สามารถปฏิบัติตามเงื่อนไขของกรอบเวลาได้จะไปเพิ่มโทษ (Penalty) ในสมการเป้าหมายแทน

ปัญหาเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาการขนส่ง (VRPTW) คือ การเดินทางของรถบรรทุก k โดย k = {1,...,K} ที่มีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด D_k โดยเดินทางขนส่งไปยังจุดขนส่งที่อยู่บนกราฟ G โดย G = (V,A) เซต V={1,..,n} เป็นเซตของจุดขนส่ง (Delivery Points) ที่มีจำนวน n ตำแหน่ง น้ำหนักที่ต้องการเท่ากับ d_k เซต A={ (i, j): i ∈ V, j ∈ V, i ≠ j} เป็นเซตของอาร์ค (Arcs) แต่ละจุดขนส่ง *i* มีน้ำหนักบรรทุก d_i โดยการเดินทางขนส่ง จะต้องมาถึงจุดขนส่งก่อนเวลา bi แต่ถ้ามาถึงก่อนเวลา a_i จะต้องรอคอยจนถึงเวลา ai จึงจะเริ่มขนส่ง ในแต่ละตำแหน่งมีเวลาการให้บริการเท่ากับ o_i ให้ c_{ij} เป็นระยะทางการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j ให้ t_{ij} เป็นระยะเวลาการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j จะได้ความสัมพันธ์ $t_{ij} + a_i + o_i \leq b_j$ ทุกคู่ลำดับ (i,j) ให้ s_{ik} เป็นระยะเวลาที่มาถึงจุดขนส่ง i (นลินี อุดมสมบัติชัย, 2548)

ดังนั้น สมการคณิตศาสตร์สำหรับการแก้ปัญหา VRPTW ให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดสามารถแสดงได้ โดยให้จุด ขนส่ง 1 และสร้างจุดขนส่งเทียม n+1 เป็นคลังสินค้า โดยจุดขนส่งเทียม n+1 มีตำแหน่งเดียวกับจุดขนส่ง 1 กำหนดจำนวนรถบรรทุกเท่ากับ K สามารถแสดงรูปแบบคณิตศาสตร์ได้ ดังนี้ Koh and Madsen (1999 อ้างโดย นลินี อุดมสมบัติมีชัย, 2548)

$$\text{Min} \sum_{k=1}^{K} \sum_{i=1}^{n+1} \sum_{j=1}^{n+1} c_{ijk} x_{ijk} \qquad (1)$$

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{j=2}^{n} d_j x_{ijk} \geq D_k \qquad \forall\, k \qquad (2)$$

$$\sum_{j=2}^{n} x_{ijkm} = 1 \qquad \forall\, k \qquad (3)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{in+1k} = 1 \qquad \forall\, k \qquad (4)$$

$$\sum_{i=2}^{n} x_{ilk} = 0 \qquad \forall\, k \qquad (5)$$

$$\sum_{j=2}^{n} x_{n+1jlk} = 0 \qquad \forall\, k \qquad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{ihk} - \sum_{j=2}^{n+1} x_{hjk} = 0 \qquad \forall\, h: 1 < h < n+1 \qquad (7)$$

$$\sum_{j=2}^{n} \sum_{k=1}^{K} x_{ijkm} = 1 \qquad \forall\, i: 1 < i < n+1 \qquad (8)$$

$$s_{ik} + t_{ik} - M * (1 - x_{ijk}) + r_i \leq s_{jk} \qquad \forall i, \forall j, \forall k \qquad (9)$$

$$s_{ik} \geq a_{ik} \qquad \forall i, \forall k \qquad (10)$$

$$s_{ik} \leq b_i \qquad \forall i, \forall k \qquad (11)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i, \forall j, \forall k \qquad (12)$$

เมื่อ i คือ ลูกค้าตำแหน่งที่ i

j คือ ลูกค้าตำแหน่งที่ j

k คือ รถคันที่ k

d_i คือ ปริมาณความต้องการของลูกค้า(หน่วย) ตำแหน่งที่ i

a_i คือ เวลาเร็วที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ของลูกค้าตำแหน่งที่ i

b_i คือ เวลาช้าที่สุดที่สามารถส่งสินค้าได้ของลูกค้าตำแหน่งที่ i

o_i คือ เวลาที่ใช้ในการพบลูกค้า หรือ ทำการส่งมอบสินค้าของลูกค้าตำแหน่งที่ i

c_{ij} คือ ระยะทางการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j

t_{ij} คือ ระยะเวลาการขนส่งจากจุดขนส่ง i ไป j

s_{ik} คือ ตัวแปรที่มีค่าเป็นระยะเวลาที่มาถึงจุดขนส่ง i โดยรถคันที่ k

x_{ijk} คือ ตัวแปรตัดสินใจที่มีค่า {0,1} มีค่า 1 จากจุด i ไปยังจุด j โดยรถคันที่ k

สมการที่ (1) คือ สมการเป้าหมาย เพื่อหาระยะเวลาในการเดินทางน้อยที่สุด สมการที่ (2) คือ การกำหนดความจุรวมไม่เกินกว่าความจุของรถ สมการที่ (3) คือ รถทุกคันต้องเริ่มออกจากจุดที่ 1 คือ คลังสินค้าเสมอ สมการที่ (4) คือ รถทุกคันต้องกลับมาที่จุดที่ n + 1 คือ คลังสินค้าเสมอ สมการที่ (5) คือ รถทุกคันต้องไม่ออกจากจุดที่ n+1 เสมอ สมการที่ (6) คือ รถทุกคันไม่กลับมาที่จุดที่ 1 เสมอ สมการที่ (7) คือ จุดทุกจุดต้องมีการเข้า – ออก ของรถเสมอ สมการที่ (8) คือ รถแต่ละคันไม่สามารถเลือกจุดซ้ำกันได้ สมการที่ (9) คือ เวลาที่รถออกจากจุดหนึ่งไปยังอีกจุดหนึ่ง ไม่เกินกว่า เวลาจุดใหม่ สมการที่ (10) คือ เวลาเข้าต้องไม่ต่ำกว่า a_i สมการที่ (11) คือ เวลาออกต้องไม่เกิน b_i สมการที่ (12) คือ ค่า x_{ijk} ต้องเป็นค่า 0 , 1 เท่านั้น

นอกจากปัญหา VRP จะมีหลายรูปแบบซึ่งขึ้นกับปัจจัยในการพิจารณาและกรณีศึกษานั้นๆ แล้ว พบว่า การศึกษาปัญหา VRPTW ก็มีหลายรูปแบบเช่นกัน เพื่อให้การแก้ปัญหามีความเฉพาะกับแต่กรณีมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากงานวิจัยต่อไปนี้

จากการศึกษาปัญหา VRPTW ของ Belfiore และคณะ (2009) ซึ่งมีลักษณะของปัญหา คือ มียานพาหนะหลายชนิด การขนส่งแบบคลังเดียว การขนส่งแบบแบ่งส่งสินค้าได้ (Split deliveries) ในกลุ่มลูกค้าผู้ค้าปลีกในบราซิลที่เข้าร่วมกลุ่ม 519 ร้านค้า งานวิจัยนี้นำเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาด้วยวิธีการกระจายการค้นหา (Scatter search: SS) และดำเนินการแก้ปัญหาโดยเปรียบเทียบกับเส้นทางที่คลอบคลุมสถานการณ์จริงของบริษัท และเมื่อนำวิธีการดังกล่าวมาใช้และทดสอบกับกรณีมาตรฐานเพื่อใช้ในการประเมินผลของขั้นตอนที่นำเสนอ ผลที่ได้พบว่า วิธีการดังกล่าวให้ผลที่ดีกว่าในแง่ของต้นทุนการกระจายสินค้าและจำนวนรถบรรทุกที่ใช้เมื่อเทียบกับวิธีปัจจุบันของบริษัทที่มีการดำเนินการขนาดใหญ่ มีร้อยละของกำไรเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญทางสถิติ

Duygu และคณะ (2012) ศึกษาปัญหา VRPTW ร่วมกับปัญหามีต้องการสินค้าไม่แน่นอน (Stochastic VRP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อ ลดต้นทุนการขนส่งสินค้าจากการลดระยะทางและจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ในการส่งสินค้า คาดการณ์เวลาล่วงเวลา และค่าบริการกรณีที่ไปก่อนเวลาและหลังเวลาที่กำหนด โดยการนำเสนอวิธีการค้นหาด้วยวิธีการทาบู (Tabu search) เพื่อสร้างเส้นทางที่เป็นไปได้โดยคำนึงถึงเวลาในการเดินทาง พบว่า วิธีการดังกล่าวสามารถแก้ปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้มีระยะเวลาและต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลง

Vitoria และคณะ (2012) ศึกษาปัญหา VRPTW ร่วมกับ การพิจารณาของจำนวนพนักงานขนส่งสินค้าด้วย (VRPTWD) มีวัตถุประสงค์เพื่อลดจำนวนยานพาหนะ พนักงาน และระยะทาง โดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหา ซึ่งนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาที่เหมาะสมกับปัญหาโดยอยู่บนพื้นฐานของวิธีการค้นหาแบบทาบู (Tabu Search) และ วิธีการอาณานิคมมด (Ant Colony Algorithm) โดยการเปรียบเทียบค่าสูงและต่ำสำหรับจำนวนยานพาหนะที่เหมาะสม ของปัญหาที่ใช้ตรวจสอบ พบว่า ทั้งสองวิธีมีความสามารถในการแก้ปัญหาที่ดี จากการพิจารณาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ เนื่องจากเป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีภายในระยะเวลาแก้ปัญหาที่จำกัด

4. วิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ

การแก้ปัญหา VRPTW ซึ่งเป็นปัญหาในลักษณะที่เป็นแบบ NP–Hard ด้วยการคำนวณหรือด้วยการแก้สมการทางคณิตศาสตร์ของปัญหา อาจจะใช้เวลาในการแก้ปัญหานานเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้จำนวนตัวแปรมีจำนวนมากขึ้นเช่นกัน จึงมีการคิดค้นวิธีในการแก้ปัญหาไว้หลายวิธี ลักษณะการหาคำตอบของปัญหาสามารถแบ่งได้ 2 ประเภท (นลินี อุดมสมบัติมีชัย, 2548)

(1) คำตอบที่เหมาะสมที่สุด (Optimal Solution) วิธีการหาค่าคำตอบที่เหมาะสมที่สุดนี้ จะได้ค่าคำตอบที่ดีที่สุด โดยมีพื้นฐานมากจาก Mathematical programming แต่วิธีมีความยุ่งยากซับซ้อนในการคำนวณมาก และใช้เวลาในการคำนวณนาน จึงจำเป็นต้องอาศัยคอมพิวเตอร์มาช่วยในการคำนวณ ซึ่งถ้าเป็นปัญหาที่มีขนาดใหญ่แล้ว จำเป็นต้องใช้หน่วยความจำของคอมพิวเตอร์มาก ทำให้เสียเวลาในการคำนวณ

(2) คำตอบที่ค่าใกล้เคียงกับค่าเหมาะสมมากที่สุด (Near Optimal Solution) การหาคำตอบประเภทนี้ มีวิธีที่สามารถหาคำตอบได้หลายวิธี โดยคำตอบที่ได้เป็นคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าเหมาะสมที่สุดเท่านั้น วิธีนี้จึงได้รับความนิยมมากกว่าวิธีแรก เพราะความยุ่งยากในการคำนวณมีน้อยกว่า สามารถทำได้รวดเร็วกว่า ใช้เนื้อที่ในการประมวลผลและหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์น้อยกว่า และสามารถแก้ปัญหาที่มีขนาดใหญ่ได้ดีกว่า

จากการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่า วิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics Method) เป็นวิธีการที่สามารถหาคำตอบที่มีค่าใกล้เคียงกับค่าเหมาะสมมากที่สุด (Near Optimal Solution) วิธีการหนึ่ง และถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหา VRP งานวิจัยจำนวนมากแสดงให้เห็นว่า วิธีฮิวริสติกส์ ยังคงเป็นวิธีการที่สามารถใช้ในการแก้ปัญหา VRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ถึงแม้ว่าในปัจจุบัน ปัญหา VRP จะถูกดัดแปลงเพิ่มเติมไปจากรูปแบบปัญหาเดิม ซึ่งมีความซับซ้อนมากขึ้น ในขณะเดียวกันวิธีการฮิวริสติกส์ยังคงได้รับการพัฒนาปรับปรุงให้เหมาะสมตามความเป็นจริงในยุคปัจจุบันด้วย ดังเช่นในงานวิจัยของ Hashimoto และคณะ (2008) ซึ่งนำเสนองานเกี่ยวกับการแก้ปัญหา VRPTW ที่พิจารณาเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งโดยการพัฒนาวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Iterated local search algorithm) ในการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยการประเมินปัญหาจากพื้นที่

ใกล้เคียง (Neighborhood) ซึ่งมีการคำนวณเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละเส้นทาง การศึกษานี้แสดงให้เห็นว่า สามารถแยกย่อยปัญหาได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิค ซึ่งรวมกับขั้นตอนในการค้นหาเฉพาะที่ประกอบด้วยการปรับเปลี่ยนพื้นที่ใกล้เคียงเล็กน้อย เรียกว่า 2-opt, Cross exchange และ Or-opt โดยผลการคำนวณที่ได้สามารถตอบสนองตามวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถจัดการเกี่ยวกับเวลาในการเดินทางและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า การจราจรติดขัดในชั่วโมงเร่งด่วน เป็นต้น ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่า อัลกอริทึมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสำหรับกรณี VRPTW และสามารถแก้ไขขั้นตอนต่างๆให้มีความทั่วไปมากขึ้น

4.1 วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics Method)

4.1.1 คำจำกัดความและความสำคัญ

วิธีฮิวริสติกส์ (Heuristics Method) เป็นวิธีการหาผลเฉลยที่ดีพอเพียง ภายในเวลาจำกัด หรือ “Good enough and fast enough solution” ซึ่งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับปัญหา NP–Hard วิธีฮิวริสติกส์ถูกสร้างขึ้นเพื่อใช้ในการหาผลเฉลยของแต่ละปัญหาเท่านั้น ดังนั้น วิธีฮิวริสติกส์ที่สามารถหาผลเฉลยที่ดีสำหรับปัญหาหนึ่ง จึงไม่สามารถนำไปใช้หาผลเฉลยของอีกปัญหาหนึ่งได้ นอกจากนี้ ในบางปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก การสร้างตัวแปรและเงื่อนไขในการตัดสินใจให้อยู่ในรูปของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) อาจกระทำได้ยาก จึงไม่สามารถใช้วิธีแม่นตรง หรือใช้เทคนิคบางอย่างจากวิธีกำหนดการเชิงเส้นตรง (Linear Programming) ได้ วิธีฮิวริสติกส์จึงเป็นวิธีที่เหมาะสมในการหาผลเฉลยของปัญหาการตัดสินใจที่มีลักษณะต่างๆ ดังนี้ ปัญหาการตัดสินใจที่มีโครงสร้างไม่สมบูรณ์ หรือไม่สามารถเขียนขั้นตอนวิธีในการหาผลเฉลยที่ชัดเจนได้ เช่น ปัญหาไม่สามารถเขียนในรูปแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เหมาะสมได้ แบบจำลองที่สร้างขึ้นไม่ครอบคลุมผลเฉลยที่สอดคล้องกับเงื่อนไขทั้งหมด หรือปัญหาที่ไม่มีขั้นตอนวิธีการใดๆ สามารถหาค่าที่เหมาะที่สุดได้ ในหลายกรณี (ธรินี มณีศรี, 2552)

สำหรับปัญหา VRP และในกรณีที่ปัญหาการตัดสินใจที่มีตัวแปรและเงื่อนไขของปัญหาเป็นจำนวนมาก ถึงแม้บางปัญหาสามารถเขียนแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ แต่ขั้นตอนวิธีการที่มีอยู่ในปัจจุบันไม่สามารถหาผลเฉลยของปัญหาได้ในทางปฏิบัติ ซึ่งมักพบโดยทั่วไป ในปัญหาของภาคธุรกิจ และอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ ในทางปฏิบัติ นักวางแผนอาจไม่ต้องการผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ต้องการผลเฉลยที่ดีเพียงพอที่สามารถหาได้ภายในเวลาที่กำหนด และด้วยวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก

ซับซ้อนมากนัก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่า นักวางแผนต้องการค่าฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ที่ดีที่ไม่ขัดแย้งต่อเงื่อนไข ทั้งนี้โดยทั่วไปนักวางแผนมักมีผลเฉลย หรือทางเลือกอยู่ในใจอยู่แล้ว แต่ต้องการเพียงเครื่องมือหรือขั้นตอนวิธีการที่จะสนับสนุนทางเลือกนั้นๆ หรือใช้เป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจ (ณกร อิทร์พยุง, 2548) โดยวิธีฮิวริสติกส์ที่นิยมนำมาใช้แก้ปัญหา VRP ประกอบด้วย

4.1.2 วิธีการสร้างคำตอบเบื้องต้น (Constructive Heuristic)

วิธีการสร้างคำตอบเบื้องต้นสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ มีหลายวิธีซึ่งวิธีการสร้างคำตอบเบื้องต้น เป็นวิธีการที่ไม่สามารถรับประกันการหาค่าเหมาะที่สุดได้ วิธีการนี้อาศัยข้อมูลของปัญหาในการสร้างขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลย ตัวอย่างของวิธีการนี้ที่ได้รับความนิยม และได้รับการยอมรับว่าเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพ ได้แก่

1) การแทรกเมืองที่ใกล้ที่สุด (Nearest Insertion) เป็นวิธีการที่ง่ายที่สุดที่สามารถประยุกต์ใช้ได้ จะมีลำดับขั้นตอนหรือรหัสเทียม ดังนี้ (ระพีพันธ์, 2554)

ขั้นตอนที่ 1 เริ่มเดินทางจากเมืองใดก็ได้ (กรณีไม่ระบุเมืองเบื้องต้น (Home Town) ของเส้นทาง) อาจจะใช้วิธีการใดๆในการเลือกเมืองแรก เช่น วิธีการวงกลมรูเลต เป็นต้น

ขั้นตอนที่ 2 เลือกเมืองในลำดับถัดไปจากจากเมืองที่มีระยะใกล้ที่สุดจากเมืองที่เลือกแล้ว

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนทุกเมืองถูกเลือกและเมืองเมืองสุดท้ายถูกเลือก นักงานจะเดินทางกลับไปยังเมืองที่เลือกไว้ในข้อ 1

2) 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 $(1, j, 1)$

ภาพที่ 5 a เส้นทางการเดินรถแบบเดิม และ b เส้นทางการเดินรถแบบเซฟวิ่ง
ที่มา: ธริณี มณีศรี (2552)

ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับค่า S_{ij} จากมากไปหาน้อย

ขั้นตอนที่ 3 เริ่มต้นสลับสับเปลี่ยนจากค่า S_{ij} ที่มีค่ามากไปหาน้อย หรือจากบนลงล่าง

<u>เวอร์ชั่นขนาน (Parallel Version)</u>

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 ดังนั้น ขั้นตอนวิธีการของ Clark and Wright (1964) ต้องการการคำนวณทั้งสิ้น $n^2\log_2(n)$

3) ขั้นตอนวิธีการ 2-ช่วง (Two-Phase Algorithm) เป็นวิธีการที่แบ่งปัญหา VRP ออกเป็น 2 ส่วน คือ การแบ่งกลุ่มลูกค้าเข้าสู่เส้นทางที่เป็นไปได้ภายใต้เงื่อนไข และการจัดลำดับเส้นทางเพื่อหาผลเฉลยที่ดีที่สุด ขั้นตอนวิธีการนี้ถูกแบ่งเป็น 2 วิธี (ธรินี มณีศรี, 2552) คือ

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

(2) วิธีการจัดเส้นทางก่อนแล้วจึงแบ่งส่วน (Rout-First Cluster-Second Procedures) เป็นการกำหนดเส้นทางในการเดินรถขนส่งก่อน แล้วจึงจัดลูกค้าเข้าสู่เส้นทางภายใต้เงื่อนไขของปัญหา ขั้นตอนวิธีการนี้ได้นำไปประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหา VRP ในกรณีที่มีรถขนส่งหลายขนาด (Golden และคณะ, 1983)

4) วิธีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward-Insertion Heuristics: PFIH) เป็นการหาคำตอบของปัญหา VRPTW (Solomon, 1987; Tan et al., 2004) ซึ่งใช้กับปัญหาที่มีระยะเวลาระหว่างจุดขนส่งเป็นแบบยูคลีเดียนและรถบรรทุกทุกคันมีน้ำหนักบรรทุกสูงสุด D โดยมีขั้นตอนดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 กำหนดให้ r คือเลขที่ของรถ เริ่มต้น r=1 ให้ S ={2,...,n}

ขั้นตอนที่ 2 ถ้า S=Ø ยุติการหาคำตอบ ถ้าไม่ใช่ ให้ คำนวณ Cost(i) = $-\alpha t_{1i} + \beta b_i + \gamma(|p_i - p_j|/360)t_{i(n+1)}$, i ∈ S โดย β, γ เป็นตัวเลขที่กำหนดขึ้นเอง α=0.7, β=0.2, γ=0.1, p_i = มุมของจุดขนส่ง *i* โดย *i* ∈ S จุดขนส่ง *i* ทำมุมกับคลังสินค้า มีค่าระหว่าง 0-360 และ p_j = มุมของจุดขนส่ง *j* โดย *j* ∉ S และ *j* เป็นจุดขนส่งจุดล่าสุดที่รถบรรทุก r ขนส่ง จุดขนส่ง *j* ทำมุมกับคลังสินค้า มีค่าระหว่าง 0-360 ในตอนเริ่มต้น *j* จะเป็นจุดเดียวกับคลังสินค้า

ขั้นตอนที่ 3 จากขั้นตอนที่ 2 ให้เรียงลำดับจุดขนส่ง *i* ในเซต S ตามค่า Cost(i) จากน้อยไปมาก

ขั้นตอนที่ 4 จากจุดขนส่งลำดับแรกใน S ให้เป็นจุดขนส่ง q

ขั้นตอนที่ 5 ให้ทดสอบความเป็นไปได้ของจุดขนส่ง q ว่าถ้าเพิ่มไปในเส้นทางของรถคันที่ r โดยแทรกไประหว่างคู่ลำดับเส้นทางของรถคันที่ r ว่าได้ระยะเวลาอยู่ระหว่าง a_i และ b_i และน้ำหนักบรรทุกของรถคันที่ r ไม่เกิน D

ขั้นตอนที่ 6 จากข้อ 5 ถ้ามีคำตอบที่เป็นไปได้ ให้แทรกโดยเลือกการแทรกที่เป็นไปได้ที่ทำให้ได้ระยะเวลารวมต่ำสุด และให้ S = S-{q} กลับไปขั้นตอนที่ 2 ถ้าไม่พบคำตอบที่เป็นไปได้และ q เป็นจุดขนส่งลำดับสุดท้ายใน S ให้ r=r+1 กลับไปขั้นตอนที่ 2 ถ้าไม่พบคำตอบที่เป็นไปได้และ q ไม่เป็นจุดขนส่งลำดับสุดท้ายใน S ให้เลือกจุดขนส่งลำดับถัดไปใน S ให้เป็นจุดขนส่ง q กลับไปขั้นตอนที่ 5

แม้วิธีการ PFIH นี้คำตอบที่ได้จะไม่ดีเท่ากับการค้นหาคำตอบจากสมการทางคณิตศาสตร์แต่มีความรวดเร็วในการหาคำตอบมากกว่า โดยคำตอบของวิธีการนี้จะสามารถบอกได้ด้วยว่าใช้จำนวนรถบรรทุกกี่คัน แต่อย่างไรก็ดี วิธีการนี้ยังให้จำนวนรถบรรทุกที่อาจจะยังไม่ใช่จำนวนที่น้อยที่สุด และเส้นทางการเดินทางยังไม่ใช่เส้นทางเดินที่ประหยัดเวลาการเดินทางมากนัก จึงต้องมีวิธีการปรับปรุงเส้นทางให้มีจำนวนรถลดลง และทำให้เวลาการเดินทางลดลง โดยการทดลองยุบ

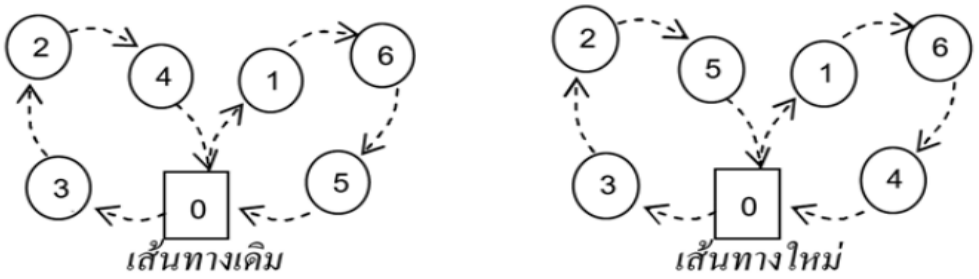
เส้นทาง และสลับสมาชิกระหว่างเส้นทางเพื่อหาคำตอบที่ระยะเวลารวมลดลง โดยการเพิ่มขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งจะกล่าวในหัวถัดไป

4.1.3 วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search)

ในการค้นหาคำตอบด้วยวิธีการฮิวริสติกส์ อาจจะมีการปรับปรุงคำตอบหรือการค้นหาคำตอบเฉพาะที่หรือ Local Search เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น การปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่นี้ดำเนินการได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับประเภทของปัญหาที่จะแก้ไข (ระพีพันธ์ ปิตาคะโส, 2554) เช่นวิธีการปรับปรุงคำตอบเฉพาะที่ที่นิยม ได้แก่ การสลับตำแหน่ง (SWAP) การสลับสองตำแหน่ง (2-opt) การแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange) การย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) เป็นต้น 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 การสลับสองตำแหน่ง (2-opt) เป็นการสลับสับเปลี่ยน 2 ปม ที่เกิดจาก 2 เส้นทางที่แตกต่างกัน โดยในงานวิจัยนี้จะนำเสนอ 2 วิธีดังนี้

1) การแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange)

การปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีนี้ จะทำการแลกเปลี่ยนลูกค้าสองราย ระหว่างสองเส้นทาง โดยการแลกเปลี่ยนลูกค้า 1 รายที่เชื่อมกันอยู่ในเส้นทางขนส่งจากเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่ง เช่น หากเส้นทางที่ 1 มีลูกค้าอยู่ 3 ราย คือ 2, 3 และ 4 มีเส้นทางการขนส่งเป็น 0-3-2-4-0 โดยที่ 0 คือ จุดกระจายสินค้า เส้นทางที่ 2 มีลูกค้าอยู่ 3 ราย คือ 1, 5 และ6 มีเส้นทางการขนส่งเป็น 0-1-6-5-0 การใช้วิธีแลกเปลี่ยนลูกค้านี้ จะเลือกลำดับของลูกค้า 1 รายในแต่ละเส้นทาง ในที่นี้เลือกลูกค้าลำดับที่ 4 ของเส้นทางที่ 1 คือ 4 และลูกค้าลำดับที่ 4 ของเส้นทางที่ 2 คือ 5 ในการแลกเปลี่ยน จะได้เส้นทางเดินใหม่ดังนี้ เส้นทางที่ 1 เป็น 0-3-2-5-0 เส้นทางที่ 2 เป็น 0-1-6-4-0 (กฤต จันทรสมัย และคณะ, 2554) แสดงดังภาพที่ 6

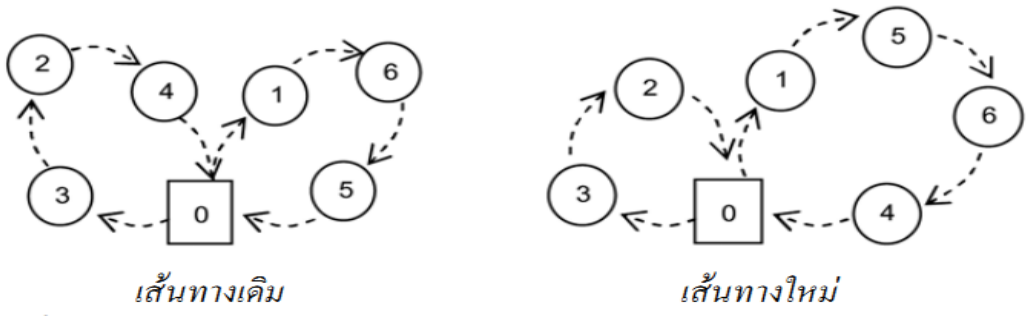


ภาพที่ 6 ตัวอย่างการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange)

ที่มา: กฤต จันทรสมัย และคณะ (2554)

2) การย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator)

การปรับปรุงผลเฉลยโดยวิธีการย้ายลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) เป็นการย้ายลูกค้า1รายที่อยู่ในเส้นทางหนึ่งไปยังอีกเส้นทางหนึ่งด้วยวิธีการแทรก โดยที่ไม่มีการย้ายลูกค้าสลับกลับมาเส้นทางเดิม เช่น หากเส้นทางที่ 1 มีลูกค้าอยู่ 3 ราย คือ 2, 3 และ 4 มีเส้นทางการขนส่งเป็น 0-3-2-4-0 โดยที่ 0 คือ จุดกระจายสินค้า เส้นทางที่ 2 มีลูกค้าอยู่ที่ 3 รายคือ 1, และ 6 มีเส้นทางการขนส่งเป็น 0-1-6-5-0 การใช้วิธีการย้ายลำดับลูกค้า (One move operator) นี้จะเลือกลูกค้า 1 รายจาก 1 เส้นทาง เช่น ในที่นี้เลือกลูกค้าลำดับที่ 4 ของเส้นทางที่ 1 ในการย้ายลำดับลูกค้า จะได้เส้นทางใหม่ ดังนี้ เส้นทางที่ 1 เป็น 0-3-2-0 เส้นทางที่ 2 เป็น 0-1-5-6-4-0 (กฤต จันทรสมัย และคณะ, 2554) ดังภาพที่ 7



ภาพที่ 7 ตัวอย่างการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator)

ที่มา: กฤต จันทรสมัย และคณะ (2554)

จากการศึกษางานวิจัย พบว่า มีงานวิจัยจำนวนไม่น้อยที่เลือกใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลา เนื่องจากเป็นวิธีที่สามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดในเวลาที่รวดเร็ว รวมทั้งมีการปรับปรุงคำตอบที่ได้ ด้วยการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) เพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสมมากขึ้น ดังจะเห็นได้จากการศึกษาและแก้ปัญหา VRPTW โดย Hashimoto และคณะ (2008) ได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา โดยการพัฒนาวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Iterated local search algorithm) ในการจัดเส้นทางยานพาหนะ โดยการประเมินปัญหาจากพื้นที่ใกล้เคียง (Neighborhood) ซึ่งมีการคำนวณเวลาที่เหมาะสมที่สุดสำหรับแต่ละเส้นทาง ซึ่งรวมกับขั้นตอนในการค้นหาเฉพาะที่ประกอบด้วยการปรับเปลี่ยนพื้นที่ใกล้เคียงเล็กน้อย เรียกว่า 2-opt, Cross exchange และ Or-opt พบว่า ผลการคำนวณที่ได้สามารถตอบสนองตามวัตถุประสงค์ของการแก้ปัญหาอย่างมีประสิทธิภาพ ทำให้สามารถจัดการเกี่ยวกับเวลาในการเดินทางและค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า การจราจรติดขัดในชั่วโมงเร่งด่วนได้ ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่าอัลกอริทึมที่นำเสนอมีประสิทธิภาพสำหรับกรณี VRPTW

นลินี อุดมสมบัติชัย (2548) นำเสนอการแก้ปัญหา VRPTW ของกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทผลิตและจัดจำหน่ายสินค้าแปรรูปทางการเกษตร จัดจำหน่ายสินค้าตามซุปเปอร์มาร์เก็ตทั่วไป ซึ่งทำการค้าเป็นระบบการฝากขาย มีวัตถุประสงค์ คือ เพื่อให้มีค่าขนส่งต่ำที่สุด และเพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายมากยิ่งขึ้น ด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ ในการหาคำตอบที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุด เนื่องจากวิธีการทางฮิวริสติกส์ใช้เวลาในการค้นหาน้อยกว่ามาก โดยขั้นตอนวิธีปรับปรุงจากวิธีการ แทรกไปข้างหน้า (Push-Forward-Insertion Heuristics: PFIH) ร่วมกับการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการลดจำนวนรถบรรทุกและสลับสมาชิกระหว่างเส้นทาง พบว่า วิธีการที่พัฒนาขึ้นมีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหา VRPTW จากการพิจรณาผลที่ได้ซึ่งสามารถให้คำตอบตามวัตถุประสงค์และทำให้มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำลง

จากการศึกษาการแก้ปัญหา VRPTW ของ Prive และคณะ (2005) กรณีศึกษาศูนย์กระจายสินค้าน้ำอัดลมที่มีการเก็บภาชนะรีไซเคิลในเที่ยวกลับด้วยโดยโรงงานกรณีศึกษา มียานพาหนะที่หลากหลาย และมีความสามารถในการบรรทุกที่จำกัดทั้งน้ำหนักและปริมาตร โดยวัตถุประสงค์ เพื่อพิจารณาค่าใช่จ่ายการจัดเส้นทาง และรายได้จากวัสดุรีไซเคิลที่ได้จากเที่ยวกลับ ซึ่งนำเสนอวิธีฮิวริสติในการแก้ปัญหาดังกล่าว มีการปรับปรุงกระบวนการพัฒนาปัญหาฮิวริสติกส์ 3 แบบ ประกอบด้วย (1) วิธีการแทรกใกล้สุด (Nearest Neighbour: NNH) (2) การพัฒนารูปแบบที่ 1 (First Petal Heuristics: FPH) และ (3) การพัฒนารูปแบบที่ 2 (Second Petal Heuristics: SPH) ผลการค้นหาคำตอบ พบว่า ทุกวิธีการสามารถลดระยะทางลงได้ โดยการพัฒนา Petal Heuristics สามารถลดระยะทางลงได้มากที่สุดถึงร้อยละ 23 จากคำตอบที่ได้ทั้งหมด เป็นผลให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้าต่ำลง

5. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS)

5.1 ความหมายของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

มีผู้ให้ความหมายของระบบสนับสนุนการตัดสินใจไว้ต่าง ๆ กัน ดังนี้

Scott Morton (1971) กล่าวว่า DSS เป็นระบบที่สามารถทำงานร่วมกับคอมพิวเตอร์ ซึ่ง คอมพิวเตอร์นี้จะช่วยทำให้ผู้บริหารสามารถนำข้อมูล และแบบจำลองต่าง ๆ มาใช้ประโยชน์เพื่อการแก้ปัญหาที่ไม่มีโครงสร้างได้"

Keen และ Scott Morton (1979) ระบุว่า DSS เป็นระบบที่ถูกเชื่อมโยงกันระหว่างทรัพยากรสมองของมนุษย์ให้ทำงานร่วมกับความสามารถของคอมพิวเตอร์ เพื่อต้องการปรับปรุงคุณภาพของการตัดสินใจให้ดีที่สุด

ทวีศักดิ์ นาคม่วง (2547) กล่าวว่า DSS จะมีความแตกต่างจากการพัฒนาระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการโดยทั่วไป เนื่องจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจถูกออกแบบและพัฒนาขึ้นสำหรับผู้ใช้งานเฉพาะกลุ่ม โดยระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะต้องการข้อมูลในปริมาณที่เหมาะสมและตามความต้องการของผู้ใช้ซึ่งมีปริมาณน้อยแต่เจาะจงกว่าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการ แต่ระบบสนับสนุนการตัดสินใจต้องอาศัยแบบจำลองวิเคราะห์ปัญหา ซึ่งสลับซับซ้อนกว่าระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการมาก นอกจากนี้ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจโดยส่วนมาก จะถูกออกแบบมาอย่างเฉพาะเจาะจง เพื่อใช้ในการสนับสนุนและแก้ปัญหาเฉพาะอย่าง ซึ่งต้องการความยืดหยุ่นในการปรับตัวให้เข้ากับสถานการณ์ที่เหมาะสม ดังนั้น การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จึงจำเป็นจะต้องให้ผู้ใช้มีส่วนร่วมในการพัฒนาด้วย โดยมีขั้นตอนการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ดังนี้

5.2 การวิเคราะห์ระบบ (System Analysis)

การวิเคราะห์ระบบ เป็นขั้นตอนแรกในการพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โดยมีเป้าหมายเพื่อที่จะกำหนดถึงปัญหา ตลอดจนวิเคราะห์หาขั้นตอนที่สำคัญในการตัดสินใจแก้ปัญหานั้นๆ โดยผู้ที่จะใช้ระบบ ควรที่จะมีส่วนร่วมในขั้นตอนนี้เป็นอย่างยิ่ง เนื่องจากผู้ใช้ระบบจะรับทราบและเกี่ยวข้องกับปัญหาต่างๆ ที่เกิดขึ้นในการทำงาน จึงสามารถสรุปและกำหนดปัญหาอย่างครอบคลุม จากนั้น กลุ่มผู้วิเคราะห์ระบบจะศึกษาถึงความเหมาะสมและความพอเพียงของข้อมูลที่จะนำมาวิเคราะห์ ตลอดจนลักษณะของปัญหาว่า เหมาะกับการใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจช่วยหรือไม่ ก่อนที่จะเข้าสู่ขั้นตอนต่อไป

5.3 การออกแบบระบบ (System Design)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ จะเป็นระบบสารสนเทศที่มีความพิเศษในตัวเองที่สามารถเปลี่ยนแปลงและพัฒนาไปเรื่อยๆ ผู้ออกแบบควรจะออกแบบให้ระบบมีความยืดหยุ่นสูง สามารถปรับตัวได้ตามความเหมาะสมและมีความสะดวกต่อผู้ใช้ ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะเกี่ยวข้องปัญหากึ่งโครงสร้างหรือไม่มีโครงสร้าง ซึ่งยากต่อการกำหนดรายละเอียดและกำหนดแนวทางการตัดสินใจล่วงหน้า โดยเฉพาะการกำหนดคุณสมบัติของระบบและตรรกะของการตัดสินใจ การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจจึงนิยมใช้วิธี “การพัฒนาจากต้นแบบ (Evolutionary Prototyping Approach)” โดยสร้างต้นแบบ (Prototype) ขึ้นเพื่อการศึกษาและทดลองใช้งานในขณะเดียวกัน จากนั้นจึงพัฒนาให้ระบบต้นแบบมีความสมบูรณ์ขึ้น ประการสำคัญของการทำต้นแบบขึ้นมาทดลองใช้งาน ทำให้การออกแบบรัดกุม และช่วยลดความผิดพลาดเมื่อนำระบบไปประยุกต์ใช้งานจริง

5.4 การนำไปใช้ (Implementation)

ระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะแตกต่างจากระบบสารสนเทศเพื่อการจัดการโดยทั่วไปที่ผู้ใช้จะมีส่วนร่วมในการพัฒนาระบบจากแรกเริ่มต้นจนถึงสภาวะปัจจุบันและจะพัฒนาต่อไปในอนาคต ดังนั้น นักพัฒนาระบบสมควรที่จะเก็บรายละเอียดและข้อมูลของระบบไว้อย่างดีเพื่อที่จะนำมาใช้อ้างอิงในอนาคต นอกจากนี้ การติดตามตรวจสอบ และประเมินผลการทำงานของระบบนับเป็นสิ่งสำคัญในการตรวจสอบการทำงานของระบบหลังการนำไปใช้งาน โดยที่ผู้ออกแบบสมควรจะประเมินปัญหาที่เกิดขึ้น เพื่อนำไปใช้ในการปรับปรุงแก้ไขระบบในอนาคต

ปัจจุบัน ความก้าวหน้าของเทคโนโลยีสารสนเทศช่วยให้ผู้ใช้สามารถพัฒนาระบบสนับสนุการตัดสินใจ บนคอมพิวเตอร์ส่วนบุคคล โดยใช้ชุดคำสั่งประเภท Spread Sheet เช่น Excel หรือ Lotus เป็นพื้นฐานโดยการสร้างแบบจำลองการตัดสินใจและปรับเปลี่ยนข้อมูลของตัวแปรแต่ละตัว เพื่อทดสอบผลลัพธ์ที่เกิดขึ้น เช่น การปรับราคาสินค้าจะมีผลต่อยอดขายอย่างไร เป็นต้น ซึ่งผู้ใช้สามารถนำแบบจำลอง สำหรับการตัดสินใจมาทดสอบปฏิบัติในสถานการณ์จำลอง (Simulated Situation) จนกว่าจะสามารถให้ผลลัพธ์ที่พอใจ ซึ่งจะส่งผลต่อรูปแบบและพัฒนาการของระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการใช้งานในทางธุรกิจในอนาคต

ณัฐการ ชูก้าน 2545 นำเสนอการออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการประเมินบริษัทขนส่งสินค้า สำหรับคัดเลือกมาทำการขนส่งเพื่อกระจายสินค้าไปยังศูนย์กระจายสินค้า และเพื่อศึกษาปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อการตัดสินใจเลือกบริษัทขนส่งสินค้าบนพื้นฐานของการใช้ตัวแบบการขนส่ง Multi commodity ร่วมกับวิธีวิเคราะห์เชิงลำดับขั้น (AHP) และวิเคราะห์ขั้นสุดท้ายด้วยโปรแกรมเชิงเส้น (LP) พบว่า ผลจากการวิเคราะห์บนพื้นฐานทั้งในเชิงปริมาณและเชิงคุณภาพเมื่อเปรียบเทียบความแตกต่างของวิธีการของโรงงานและวิธีการที่วิจัย มีค่าใช้จ่ายเพิ่มขึ้นร้อยละ 3.83 แต่ได้รับความพึงพอใจในทางเลือกนั้นเพิ่มขึ้นถึงร้อยละ 69.90 จึงแสดงให้เห็นว่าผลลัพธ์ของทางเลือกที่ได้จากการวิจัยมีความเหมาะสมกว่าวิธีการเดิมซึ่งพิจารณาเฉพาะปัจจัยเชิงปริมาณ (ต้นทุน) เพียงอย่างเดียว

คงชลัช จันกลิ่น 2552 นำเสนอระบบสนับสนุนการตัดสินใจ เพื่อเป็นเครื่องมือช่วยในการหาคำตอบที่ดีที่สุดภายในเวลาอันรวดเร็ว สำหรับปัญหาการจัดรถขนส่งเม็ดพลาสติก โดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสม โดยต้องการให้ได้ต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด ปัญหาดังกล่าว เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจว่ารถขนส่งคันใดจะส่งให้ลูกค้ารายใดบ้าง จึงจะมีต้นทุนการขนส่งที่ต่ำที่สุด โดยต้นทุนการขนส่งทั้งหมดมากจากสามส่วนคือ ค่าเช่ารถ ค่าบริการขนส่ง และค่าแรงพนักงาน ซึ่งมีความผันแปรจากปัจจัยต่างๆ ปัญหานี้ ถูกทำให้อยู่ในรูปของการโปรแกรมเชิงเส้นแบบจำนวนเต็ม และใช้ Premium Excel ในการหาคำตอบที่ดีที่สุด พบว่า สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ร้อยละ 4.43-5.58 และลดเวลาในการหาคำตอบลงเหลือเพียง 3-5 วินาที

กนกพร และคณะ 2556 พัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดเส้นทางการขนส่งอิฐบล็อก โดยการประยุกต์ใช้วิธีการเซฟวิ่งอัลกอริทึม (Savings Algorithm) ในการจัดเส้นทางให้กับโรงงานกรณีศึกษาซึ่งมีรถขนส่งหลายประเภท และพิจารณาเงื่อนไขการจำกัดเวลาเดินรถ ของรถบรรทุกขนาดใหญ่ในเขตเมือง เพื่อให้ได้เส้นทางการเดินรถที่มีต้นทุนรวมที่ต่ำที่สุด โดยการสร้างฐานข้อมูลไว้ในไมโครซอฟต์เอกเซล และสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งานของระบบ ด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิค ทำให้พนักงานใช้งานได้ง่ายขึ้น ผลการศึกษา พบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถลดต้นทุนการขนส่งจากเดิมร้อยละ 12.17

วัตถุประสงค์

1. เพื่อลดต้นทุนรวมการขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

2. เพื่อออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดส่งสินค้า

บทที่ 2

วิธีการวิจัย

1. สำรวจสภาพปัจจุบันของการดำเนินงานในแผนกโลจิสติกส์ของบริษัทกรณีศึกษาโดยการเข้าสำรวจขั้นตอนการทำงานของพนักงานและการสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง

1.1 ศึกษาขั้นตอนการดำเนินการจัดรถขนส่งสินค้าของแผนกโลจิสติกส์โดยเริ่มตั้งแต่การรับคำสั่งซื้อจนถึงการออกเอกสารการขายให้กับลูกค้าและรถขนส่งสินค้าเพื่อจัดส่งสินค้า

1.2 รวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดรถขนส่งสินค้า ประกอบด้วย

1.2.1 ข้อมูลด้านลูกค้า เช่น ชื่อลูกค้า ชนิดและปริมาณสินค้าตามรายการคำสั่งซื้อสินค้าสถานที่จัดส่ง เงื่อนไขด้านเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า การจัดกลุ่มลูกค้า

1.2.2 ข้อมูลด้านสินค้า เช่น ชื่อสินค้า น้ำหนักสินค้าต่อกล่อง การจัดกลุ่มสินค้า

1.2.3 ข้อมูลด้านรถขนส่งสินค้า เช่น ประเภทและชนิดรถขนส่ง ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถแต่ละประเภท

1.2.4 ข้อมูลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

1.2.5 ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงาน

1.3 วิเคราะห์และสรุปปัญหาที่พบจากการสำรวจสภาพปัจจุบันของการจัดส่งสินค้า

2. สร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

หัวข้อนี้เป็นการสร้างรูปแบบปัญหาในลักษณะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา ประกอบด้วย

2.1 ปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้าและการกำหนดสมมติฐานของปัญหาสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

2.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะของบริษัทกรณีศึกษา

2.2 การกำหนดพารามิเตอร์ของสมการ

2.3 การกำหนดตัวแปรตัดสินใจของสมการ

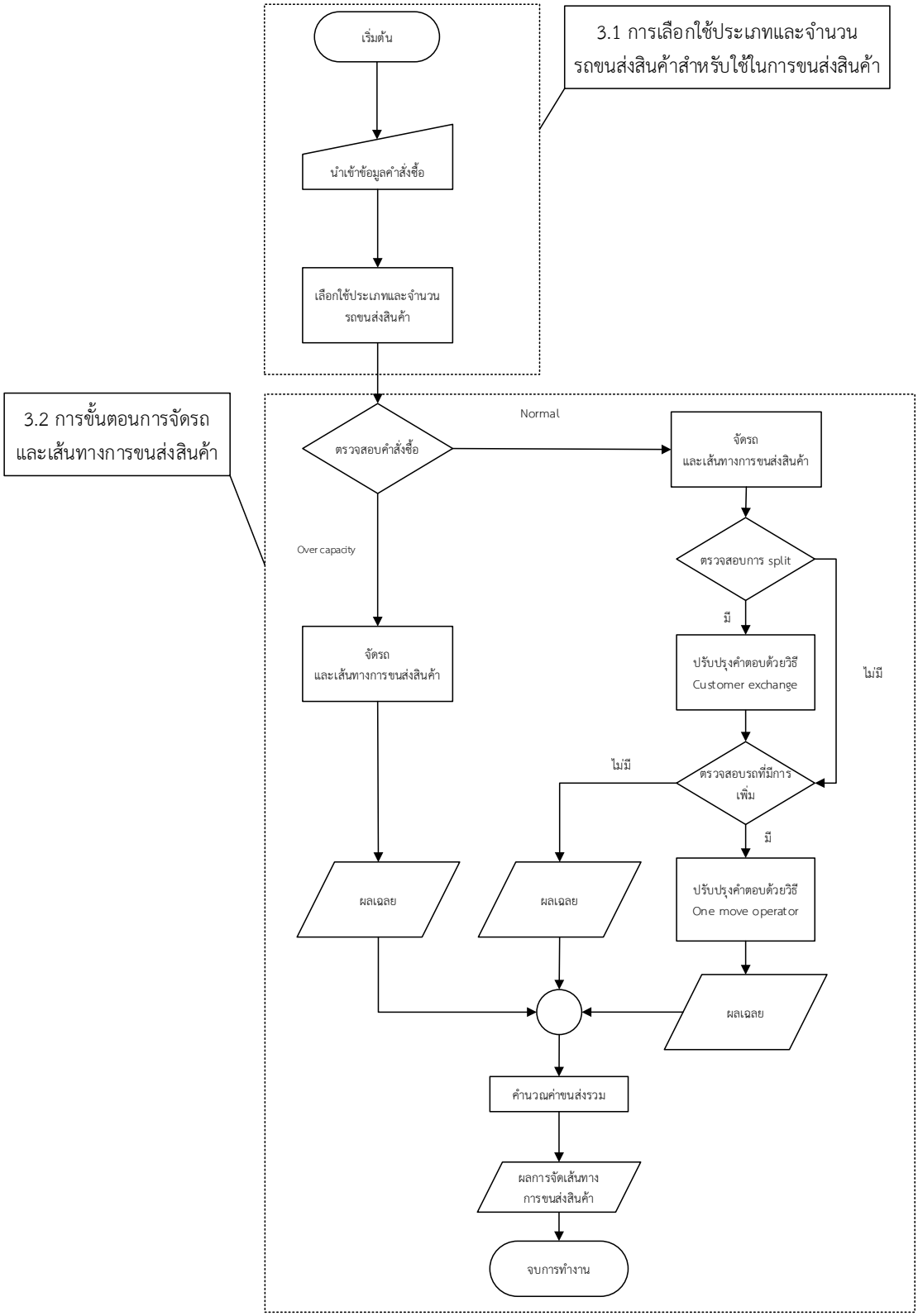
2.4 การกำหนดสมการเป้าหมายและสมการข้อจำกัด โดยมีรายละเอียดดังนี้

2.4.1 สมการเป้าหมาย เป็นการกำหนดสมการทางคณิศาสตร์แทนลักษณะระบบของปัญหา โดยมีวัตถุประสงค์ คือ มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าที่ต่ำโดยพิจารณาจากต้นทุนค่าขนส่งสินค้า 2 ประเภท คือ ต้นทุนคงที่ ซึ่งประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคาของรถต่อวัน ค่าแรงพนักงานต่อวัน ค่าขนถ่ายสินค้า และต้นทุนผันแปร เป็นค่าน้ำมันเชื้อเพลิงซึ่งแปรผันตามระยะทางที่ใช้ในการเดินทาง

2.4.2 สมการข้อจำกัดเป็นการสร้างสมการข้อจำกัดดำเนินการ โดยนำข้อมูลข้อจำกัดต่างๆ มาจัดให้อยู่ในรูปของสมการหรืออสมการ ซึ่งโรงงานกรณีศึกษามีข้อจำกัด ประกอบด้วย ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งแต่ละประเภท (Vehicle Capacity Constraint) ข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า (Split Demand Delivery) และข้อจำกัดด้านเวลาในการขนส่งสินค้าสินค้า (Time Windows Constraint)

3. การปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics) สำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา

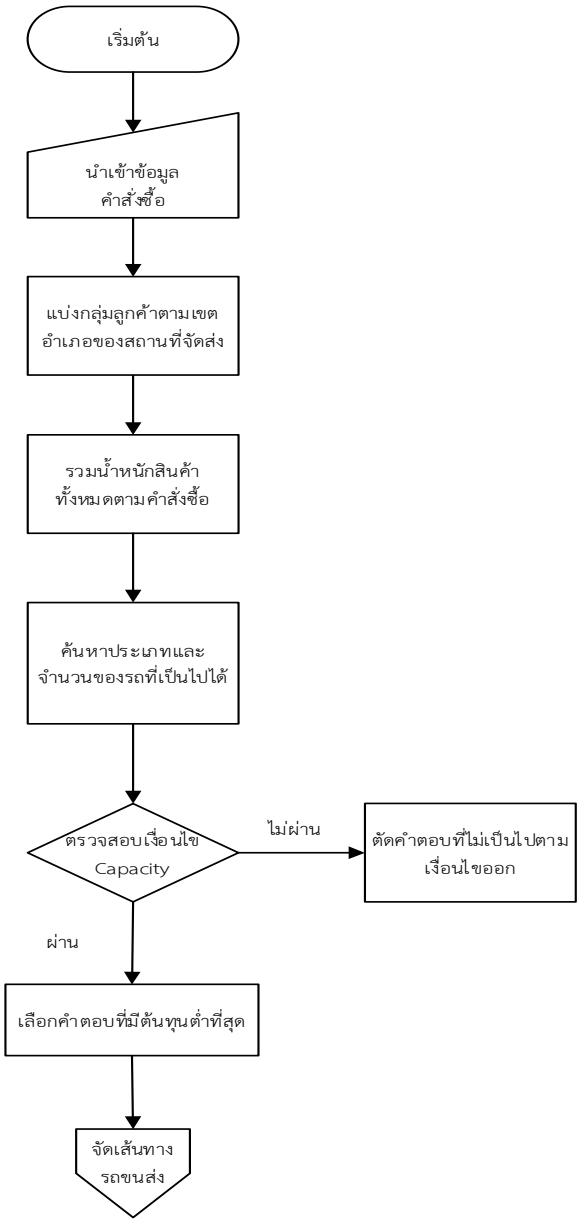
งานวิจัยนี้ ได้ปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา ด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics) เพื่อแก้ปัญหา การขนส่งสินค้าล่าช้า และต้นทุนค่าขนส่งสินค้าสูง ของโรงงานกรณีศึกษา อันเนื่องมาจาก ไม่มีวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ชัดเจน ใช้ประสบการณ์และความเคยชินของพนักงาน และพิจารณาค่าขนส่งในรูปแบบเหมาจ่าย ทำให้ไม่สามารถประเมินต้นทุนค่าขนส่งจริงได้ โดยการปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้า สำหรับการแก้ปัญหาของโรงงานกรณีศึกษามีลำดับขั้นตอน ดังแสดงในภาพที่ 8 ประกอบด้วย 1) การเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า และ 2) การจัดรถและเส้นทางรถขนส่งสินค้า ดังแสดงดังภาพที่ 8 โดยมีรายละเอียดของวิธีการจัดรถขนส่งสินค้า ดังนี้



ภาพที่ 8 ขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์สำหรับการจัดเส้นทางรถขนส่ง

3.1 วิธีการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า

การเลือกประเภทรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า ในขั้นตอนนี้ จะเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่ทำให้มีต้นทุนคงที่ (Fixed cost) ต่ำที่สุด เพื่อให้ทราบจำนวนและความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่แน่นอนสำหรับขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าในขั้นตอนถัดไป โดยตั้งสมมติฐานว่า มีรถทุกประเภทพร้อมสำหรับการเลือกใช้งานเสมอ มีขั้นตอนการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้า ดังภาพที่ 9 และมีรายละเอียดดังนี้



ภาพที่ 9 ขั้นตอนการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูล (Input) คำสั่งซื้อ ซึ่งประกอบด้วย

(1) จำนวนลูกค้า

(2) สถานที่จัดส่ง

(3) ชนิดและปริมาณความต้องการสินค้า

(4) กรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 2 จัดกลุ่มลูกค้าตามเขตอำเภอในการจัดส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 3 รวมน้ำหนักสินค้าทั้งหมดในทุกเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้าจากสมการ

$$\text{Total weight} = \sum_{i=1}^{N} q_i \tag{13}$$

ขั้นตอนที่ 4 เลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุดจากการพิจารณาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และเงื่อนไขดังนี้

(1) ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์

$$\text{SUM} = \min \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} F_{km} X_{km} \tag{14}$$

(2) ตัวแปรตัดสินใจ

$$X_{km} \begin{cases} 1 & \text{ถ้ามีการใช้รถขนส่งประเภท k คันที่ m} \\ 0 & \text{กรณีอื่นๆ} \end{cases}$$

(3) ฟังก์ชั่นเงื่อนไข

$$\sum_{i=1}^{N} q_i \leq \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \text{Qmax}_{km} \tag{15}$$

$$\text{Qrem}_{km} \leq 1{,}100 \text{ kilogram} \tag{16}$$

เมื่อ $\text{Qrem}_{km} = \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \text{Qmax}_{km} X_{km} - \sum_{i=1}^{N} q_i$

เงื่อนไขในสมการที่ (15) น้ำหนักสินค้าทั้งหมดที่จะต้องจัดส่ง จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกสินค้ารวมทั้งหมดของยานพาหนะที่เลือกใช้ เงื่อนไขในสมการที่ (16) คือ ความสามารถในการบรรทุกสินค้าคงเหลือ (Remainder Capacity: $Qrem_{km}$) จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 1,100 กิโลกรัม เพื่อเป็นการจำกัดจำนวนที่พื้นที่ว่างของรถขนส่งให้น้อยที่สุดทำให้ใช้รถขนส่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ

3.2 วิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า

ขั้นตอนนี้เป็นการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าให้กับรถขนส่งสินค้า ซึ่งถูกเลือกจากขั้นตอนการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าสำหรับใช้ในการขนส่งสินค้า โดยมีขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าแบ่งเป็น 2 ช่วง ดังนี้

3.2.1 ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น (Initial solution)

ขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น โดยการใช้วิธีการฮิวริสติกส์การแทรกไปข้างหน้าแบบดัดแปลงสำหรับกรณีการแบ่งแยกสินค้า (Modified Push Forward Insertion Heuristics for Split Delivery: MPFIHSD) โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับความสามารถในการบรรทุกสินค้า ($Qmax_{km}$) ของรถบรรทุกที่ได้คำตอบจากขั้นตอนที่ 1 จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาตำแหน่งลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าหรือเท่ากับขีดความสามารถของรถขนส่งคันที่ใหญ่ที่สุด (Over Maximum Capacity) หากพบว่า มีลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของรถให้ดำเนินการต่อในขั้นตอนต่อไป ในกรณีที่ไม่มีลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าขีดความสามารถของรถขนส่ง ให้ดำเนินการตามขั้นตอนที่ 7 เป็นต้นไป

ขั้นตอนที่ 3 จัดรถขนส่งสินค้าขนาดใหญ่ให้ไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าในขั้นตอนที่ 2 โดยกำหนดให้จำนวนรถขนส่งที่ถูกจัดให้แก่ลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถ คือ Mov ในขั้นตอนนี้จะต้องพิจารณาผลรวมของความต้องการสินค้าในแต่ละเส้นทาง จะต้องไม่เกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าสูงสุดของรถขนส่งดังสมการที่ (17) หากความต้องการสินค้าไม่

เป็นไปตามเงื่อนไข ให้ทำการแบ่งความต้องการออกเป็นสองส่วนโดยส่วนแรกเท่ากับความสามารถของรถ และส่วนที่เหลือนำไปดำเนินการต่อในขั้นตอนถัดไป

$$\sum_{k=1}^{4} \sum_{m=1}^{M} \sum_{i=1}^{N} q_{ikm} \leq Qmax_k \quad (17)$$

ขั้นตอนที่ 4 ตัดจำนวนรถขนส่งที่มีการส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินกว่าขีดความสามารถของลูกค้าในขั้นตอนที่ 3 ออกจากการพิจารณาการจัดเส้นทางในรอบถัดไป

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2, 3 และ 4 จนครบจำนวนลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าขีดความสามารถของรถขนส่ง

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าต้นทุนขนส่งของการจัดรถขนส่งสินค้าในกรณีที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้ามากกว่าขีดความสามรถของรถ (Total cost: Z_ov) ประกอบด้วย ผลรวมของต้นทุนคงที่ของรถแต่ละประเภท และต้นทุนผันแปรซึ่งแปรผันตามระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าของรถแต่ละประเภทที่ถูกจัดรถจากขั้นตอนนี้ เก็บคำตอบเพื่อนำค่าขนส่งที่ได้จากขั้นตอนนี้ไปคำนวณต้นทุนรวมในขั้นตอนที่ 26 โดยต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้าในขั้นตอนนี้ เท่ากับ

Total cost = (ต้นทุนคงที่ของรถแต่ละประเภท x จำนวนรถ) + (ต้นทุนผันแปร x ระยะทางที่ใช้)

จากนั้นทำการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าสำหรับลูกค้าส่วนที่เหลือจากการพิจารณาลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าหรือเท่ากับขีดความสามารถของรถขนส่งคันที่ใหญ่ที่สุด รวมทั้งลูกค้าที่ยังไม่ได้รับการจัดรถขนส่งด้วย ในขั้นตอนต่อไปนี้ มีสมมติฐานว่าลูกค้าทุกรายยินยอมให้มีแบ่งสินค้าได้ด้วยรถขนส่งมากกว่า 1 คันได้

ขั้นตอนที่ 7 เรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าเร็วที่สุด (E_i) ของลูกค้าแต่ละรายทั้งหมด จากน้อยไปมาก ถ้ามีเวลาเท่ากันให้เรียงลำดับโดยระยะทางจากน้อยไปมาก

ขั้นตอนที่ 8 เรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าช้าที่สุด (L_i) ของลูกค้าแต่ละรายทั้งหมด จากมากไปน้อย ถ้ามีเวลาเท่ากันให้เรียงลำดับโดยระยะทางจากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 9 เรียงลำดับขีดความสามารถในการบรรทุกของรถที่เหลือจากการพิจารณาในช่วงที่ 1 จากมากไปน้อย

ขั้นตอนที่ 10 เริ่มต้นขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทาง โดยการเลือกรถขนส่งที่มีขีดความสามารถในการบรรทุกสูงสุดจากขั้นตอนการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 9 เพื่อกำหนดลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุดให้กับเส้นทาง และเลือกลูกค้าที่มีเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าเร็วที่สุด (E_i) น้อยที่สุดจากการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 1 มาเป็นลูกค้าเริ่มต้น และเลือกลูกค้าที่มีเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าช้าที่สุด (L_i) จากการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 2 มาเป็นลูกค้าสิ้นสุดของเส้นทาง ในขั้นตอนนี้จะได้เซตของเส้นทางเริ่มต้น ในกรณีที่กรอบเวลาในการขนส่งเท่ากันข้ามไปพิจารณาในขั้นตอนที่ 5 โดยให้จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดคือโรงงาน

ขั้นตอนที่ 11 แทรกลูกค้ารายอื่นๆ โดยใช้วิธีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristics) เข้าไปในเซตระหว่างลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุดโดยการพิจารณาลูกค้าที่มีระยะทาง d_{ij} จากลูกค้าเริ่มต้นน้อยที่สุดจากตาราง Distance matrix ที่สร้างขึ้นตามลำดับทีละปมจนครบจำนวนตามขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถแต่ละคัน ขั้นตอนนี้จะต้องพิจารณาผลรวมของความต้องการสินค้าในแต่ละเส้นทาง จะต้องไม่เกินกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าสูงสุดของรถขนส่งดังสมการที่ (17) ผลรวมของความต้องการสินค้าในแต่ละเส้นทางจะต้องไม่ต่ำกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าต่ำสุดของรถขนส่งประเภท k ดังสมการที่ (18)

$$\sum_{i=1}^{N} q_{ikm} \geq \mathrm{Qmin}_k \tag{18}$$

กำหนดให้เวลาที่ไปถึงลูกค้าแต่ละราย (A_i) ต้องไม่เกินกว่าเวลาที่มาก (L_i) ที่สุดที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้าแต่ละรายดังสมการที่ (19) และในกรณีที่รถขนส่งไปถึงลูกค้าก่อน เวลาที่น้อยที่สุดที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้าได้ (E_i) จะเกิดเวลารอคอยขึ้นซึ่งกำหนดให้มีเวลารอคอยได้ไม่เกิน 30 นาที ดังสมการที่ (20)

$$A_i \leq L_i \tag{19}$$

$$W_{ikm} \leq 30 \text{ min} \tag{20}$$

ขั้นตอนที่ 12 ตัดลูกค้าที่แทรกแล้วออกจากการพิจารณาแทรกลูกค้าเพื่อป้องกันไม่ให้มีการเลือกลูกค้าซ้ำอีก

ขั้นตอนที่ 13 ตัดเส้นทาง ใดๆที่มีสินค้าเต็มขีดความสามารถในการบรรทุกออกจากการพิจารณาแทรกลูกค้าในรอบถัดไป

กรณีที่ไม่สามารถแทรกลูกค้าได้อีก เนื่องจากความต้องการสินค้ามากกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถคงเหลือ ขั้นตอนวิธีจะยอมให้มีการแบ่งสินค้า (Split delivery) ได้ โดยการพิจารณาความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ ซึ่งจะดำเนินการตามขั้นตอนที่ 14

ขั้นตอนที่ 14 แบ่งความต้องการสินค้าที่ไม่สามารถแทรกได้ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนแรก $q_{ikm}(1)$ แบ่งเท่ากับความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่ของรถขนส่งคันแรก ($Qrem_{k1}$) ส่วนความต้องการที่เหลือจัดให้รถขนส่งคันถัดไปในการให้บริการขนส่ง ในขั้นตอนการแบ่งความต้องการสินค้านี้ แบ่งเป็น 2 กรณี ดังนี้ (1) กรณีที่ยอมให้มีการแบ่งสินค้าได้มากกว่า 1 คัน โดยไม่จำกัดจำนวนรถขนส่งสินค้า และ (2) กรณีที่ยอมให้มีการแบ่งสินค้าได้มากกว่า 1 คัน แต่ไม่เกิน 2 คัน ต้องพิจารณาความต้องการสินค้าของลูกค้าใดๆ จะต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกคงเหลืออยู่ของรถคันที่จะแบ่งให้ ดังสมการที่ (21)

$$\mathrm{q_{ikm}}(S) \leq \sum_{i=1}^{N} \mathrm{Qrem}_{km} \tag{21}$$

เมื่อ $k = 1,2,3,4$ $m = 1,2,3,..,M$ $i = 1,2,3,...,N$ $s = 1,2,3,...,S$

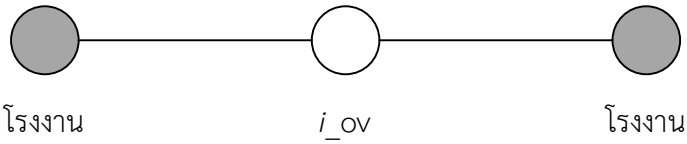
โดยที่ $\mathrm{Qrem}_{km} = \mathrm{Qmax}_{km} - \sum_{i=1}^{N} \mathrm{q}_{i\mathrm{km}}$

นอกจากนี้ พิจารณาเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกและด้านเวลาดังสมการที่ (17), (18), (19), (20) เช่นเดียวกับขั้นตอนก่อนหน้านี้ด้วย ขั้นตอนนี้จะหยุดเมื่อไม่สามารถแทรกลูกค้าใดๆเข้าสู่เส้นทางได้อีกหรือความสามารถในการบรรทุกสินค้าแต่ละคันที่เหลืออยู่ไม่เพียงพอต่อการให้บริการ และแสดงส่วนที่เหลือหรือความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ (Unmet Demand: q_i_unmet)

ขั้นตอนที่ 15 ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 10 ถึง 14 จนครบจำนวนรถขนส่งทั้งหมดหรือจนกระทั่งไม่สามารถแทรกได้อีก

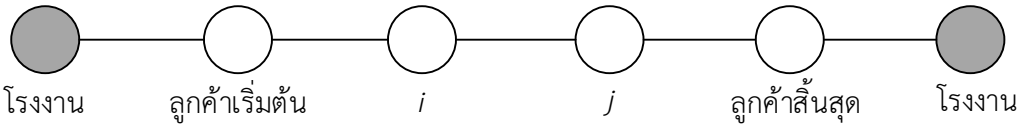
ขั้นตอนที่ 16 จากขั้นตอนที่ 14 อาจเกิดกรณีที่มีความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ (Unmet Demand: q_i_unmet) ในกรณีนี้ ขั้นตอนวิธีจะอนุญาตให้มีการเพิ่มจำนวนรถขนส่งได้ โดยพิจารณาน้ำหนักความต้องการสินค้ารวม (กิโลกรัม) จากลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ แล้วขั้นตอนวิธีจะทำการเพิ่มจำนวนรถขนส่งโดยเลือกรถขนส่งสินค้าที่มีขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าใกล้เคียงกับน้ำหนักสินค้ารวมที่ไม่ได้รับการจัดส่งที่สุด ในกรณีนี้ จะพิจารณาเงื่อนไขเช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 11 แต่จะยกเว้นการพิจารณาเงื่อนไขสมการที่ 18 เพื่อให้ขั้นตอนวิธีสามารถดำเนินการได้ กำหนดให้รถขนส่งที่ถูกเพิ่มในขั้นตอนนี้เป็น M_add ซึ่งในขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า จะได้คำตอบที่ประกอบด้วยเส้นทางที่เป็นไปได้ในแต่ละกรณี ดังนี้

(1) เส้นทางที่ได้จากกรณีที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้ามากกว่าความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถคันใหญ่ที่สุด (Over maximum capacity: *i*_ov) ดังภาพที่ 10



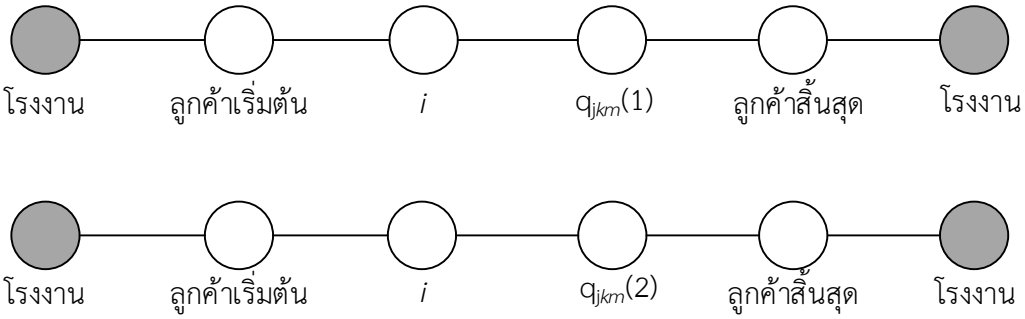
ภาพที่ 10 เส้นทางที่ลูกค้ามีความต้องการสินค้ามากกว่าความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถ

(2) เส้นทางที่ได้การจัดส่งสินค้าซึ่งเป็นเส้นทางปกติ โดยในเส้นทางจะประกอบด้วยลูกค้าเริ่มต้น ลูกค้าสิ้นสุด และลูกค้าอื่นๆที่ได้จากการแทรกระหว่างเส้นทาง ดังภาพที่ 11



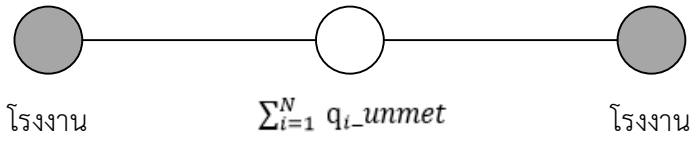
ภาพที่ 11 เส้นทางที่ได้การจัดส่งสินค้าซึ่งเป็นเส้นทางปกติ $q_{jkm}(1)$

(3) เส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีการแบ่งสินค้า โดยมีส่วนของความต้องการสินค้าที่ถูกแบ่งในการจัดส่งสินค้าเพิ่มขึ้นจากกรณีปกติดังภาพที่ 12



ภาพที่ 12 เส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีการแบ่งสินค้า

(4) เส้นทางที่ได้การจัดส่งสินค้าในกรณีที่อนุญาตให้มีการเพิ่มรถได้ ซึ่งเป็นเส้นทางที่ใช้รถคันที่ถูกเพิ่ม (M_add) ดังภาพที่ 13



ภาพที่ 13 เส้นทางที่ใช้รถที่ถูกเพิ่ม (M_add) ในกรณีที่อนุญาตให้มีการเพิ่มรถได้

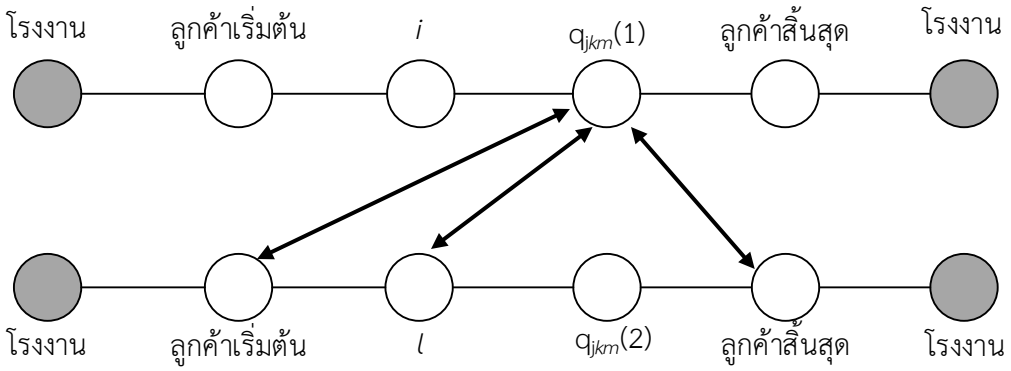
ขั้นตอนที่ 17 คำนวณค่าต้นทุนขนส่งของผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้ (Total cost : Z) เช่นเดียวกับขั้นตอนที่ 6

3.2.2 ขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลย (Improving Solution)

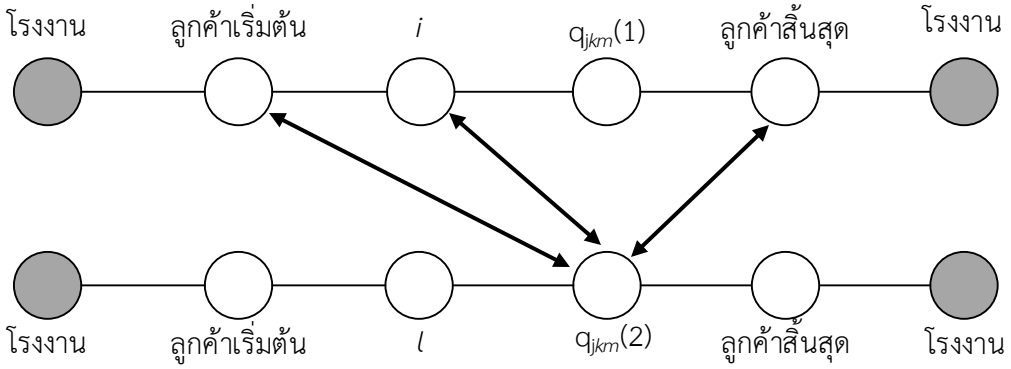
ขั้นตอนนี้เป็นการปรับปรุงคำตอบที่ได้ จากขั้นตอนการสร้างผลเฉลยเริ่มต้น อีกครั้งหนึ่ง ในขั้นตอนนี้ จะทำในลักษณะการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (Local Search) ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบจากคำตอบที่ใกล้เคียงกับคำตอบปัจจุบันที่ได้จากจากการจัดรถและเส้นทางข้างต้น ขั้นตอนการปรับปรุงผลเฉลยโดยการค้นหาเฉพาะที่นั้น มักจะมีการค้นหาคำตอบหลายๆคำตอบและมุ่งเน้นที่จะหาคำตอบที่ดีที่สุดในคำตอบที่อยู่ในพื้นที่เฉพาะที่กำหนด (ระพีพันธ์, 2554) โดยมีรายละเอียดดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้า $q_{ikmn}(s)$ ดังภาพที่ 12 มาทำการปรับปรุงผลของการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า เพื่อลดการเกิดกรณีการแบ่งสินค้า (Split) ให้น้อยที่สุด หากไม่มีกรณีนี้เกิดขึ้นให้ข้ามไปพิจารณาในขั้นตอนที่ 4

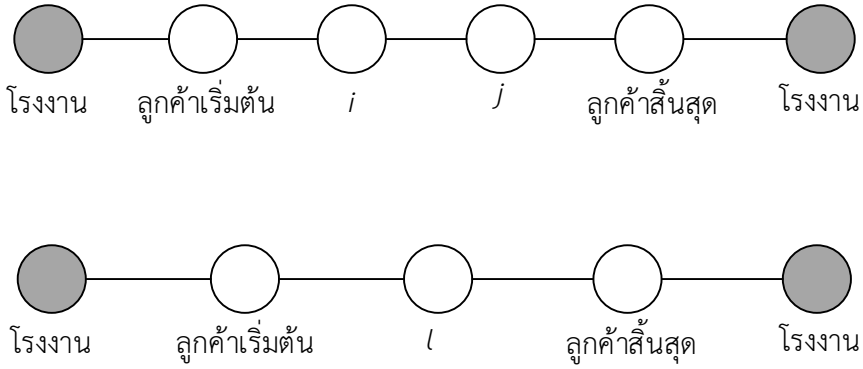
ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการปรับปรุงด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange) โดยให้ $q_{ikmn}(1)$ สลับกับลูกค้าทุก Node ของคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้ายกเว้น Node ของ $q_{ikmn(2)}$ ซึ่งเป็นส่วนแบ่งของ $q_{ikmn}(1)$ และ Node โรงงาน และให้ $q_{ikmn}(2)$ สลับกับลูกค้าทุก Node ของคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้ายกเว้น Node ของ $q_{ikmn}(1)$ ซึ่งเป็นส่วนแบ่งของ $q_{ikmn}(2)$ และ Node โรงงาน ดังภาพที่ 14 ทำการสลับลูกค้าจนไม่สามารถสลับลูกค้าภายใต้เงื่อนไขได้อีก ขั้นตอนวิธีจะหยุดค้นหา ในขั้นตอนนี้จะต้องพิจารณาเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกและเวลาในการจัดส่ง ดังสมการที่ (17), (18), (19) และ (20) ด้วย



การสลับส่วนแบ่งที่ 1 ($q_{ikmn}(1)$) กับ Node อื่นๆ



การสลับส่วนแบ่งที่ 2 ($q_{ikmn}(2)$) กับ Node อื่นๆ



เส้นทางใหม่

ภาพที่ 14 การปรับปรุงด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange)

ขั้นตอนที่ 3 ในขั้นตอนนี้ จะทำการรวมส่วนของความต้องการสินค้าที่มีการแบ่ง ($q_{ikmn(1)}$ และ $q_{ikmn(2)}$) ในเส้นทาง ใหม่ที่ได้ เป็น Node เดียวกันโดยกำหนดให้อยู่ในตำแหน่งการจัดส่งเดิม

ขั้นตอนที่ 4 คำนวณค่าขนส่งของผลการการปรับปรุงคำตอบข้างต้น (Total cost : Z′) และเปรียบเทียบกับค่าขนส่งของเส้นทางก่อนการปรับปรุง ถ้า $Z' \leq Z$ ให้ยอมรับผลการปรับปรุงนี้ จะได้เส้นทางใหม่เกิดขึ้น 2 เส้นทางโดยเส้นทางใหม่จะไม่มีการแบ่งสินค้าแต่ถ้า $Z' \geq Z$ ให้เลือกผลการจัดรถขนส่งก่อนการปรับปรุง

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 1 - 4 จนพบคำตอบที่มีต้นทุนต่ำกว่าหรือไม่สามารถสลับ Node ใดๆ ให้เป็นไปตามเงื่อนไขได้ จบขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange) และดำเนินการปรับปรุงคำตอบในขั้นตอนต่อไป

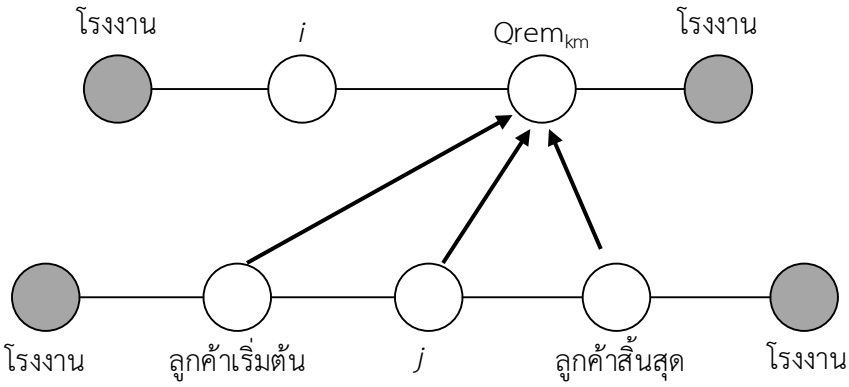
ขั้นตอนที่ 5 ค้นหาเส้นทางที่เป็นรถขนส่งที่ถูกเพิ่มเข้ามา (M_add) ซึ่งเกิดจากเพิ่มรถขนส่งสินค้าในกรณีที่มีจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ(q_i_unmet) ขั้นตอนนี้จะทำการค้นหาเพื่อมาปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator) มายังเส้นทางที่เป็นการเพิ่มรถขนส่ง เพื่อลดความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ของรถคันที่ถูกเพิ่มให้น้อยที่สุด หากไม่มีกรณีนี้ เกิดขึ้นให้ข้ามไปพิจารณาในขั้นตอนที่ 9

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณาความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ของรถคันที่ถูกเพิ่ม

ขั้นตอนที่ 7 ค้นหาลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ (Remainder Capacity: $Qrem_{km}$) ของรถคันที่ถูกเพิ่ม ทีละเส้นทาง หากไม่พบข้ามไปพิจารณาในขั้นตอนที่ 10

ขั้นตอนที่ 8 ย้ายลูกค้าที่เป็นไปตามเงื่อนไข มายังรถคันที่ให้กับรถที่มีความสามารถในการบรรทุกที่เหลือครั้งละราย ซึ่งเป็นการเพิ่มลูกค้าให้กับรถคันดังกล่าว ดังภาพที่ 15 โดยลูกค้าที่ทำการย้ายจะต้องมีความต้องการสินค้าไม่เกินความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ของรถคันที่ถูกเพิ่ม ดังสมการที่ (22) และเป็นไปตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกและเวลาดังสมการที่ (17), (19) และ (20) ด้วย

$$q_{ikm} \leq \quad Qrem_{km} \qquad (22)$$



ภาพที่ 15 การปรับปรุงคำตอบโดยวิธีการการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator)

ขั้นตอนที่ 9 คำนวณค่าขนส่งรวมของผลการการปรับปรุงคำตอบข้างต้น (Total cost : Z'') และเปรียบเทียบกับค่าขนส่งของเส้นทางก่อนการปรับปรุง ถ้า $Z'' \leq Z'$ หรือ Z ให้ยอมรับผลการปรับปรุงนี้และ ถ้า $Z'' \geq Z'$ หรือ Z ให้เลือกใช้เส้นทางเดิม

ทำซ้ำขั้นตอนที่ 5 - 9 จนพบคำตอบที่มีต้นทุนต่ำกว่าหรือไม่สามารถเพิ่มลูกค้าได้อีก จบขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 10 คำนวณค่าขนส่งรวม (Total Cost: Z_sum) ซึ่งประกอบด้วย ค่าขนส่งในขั้นตอนที่ 6 (Z_ov) ซึ่งเป็นการจัดรถขนส่งสินค้าในกรณีที่ลูกค้ามีความต้องการมากกว่าความสามารถในการบรรทุกของรถ และขั้นตอนที่ 8 ซึ่งเป็นผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งที่ได้จากขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบแล้ว (อาจจะเป็น Z'' หรือ Z' หรือ Z ก็ได้)

3.3 ทดสอบการใช้งานการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุง

3.3.1 ทดสอบโดยใช้รายการคำสั่งซื้อสินค้า 3 ตัวอย่าง ที่มีลูกค้าแต่ละตัวอย่างจำนวน 10 – 14 ราย เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของวิธีการจัดรถขนส่งสินค้า

3.3.2 ทดสอบโดยใช้รายการคำสั่งซื้อสินค้าจริงของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเพิ่มขนาดรายการคำสั่งซื้อ 2 ตัวอย่างประกอบด้วย ลูกค้า 20 ราย และลูกค้า 40 ราย เพื่อทดสอบความสามารถในการจัดรถขนส่งสินค้าของวิธีการที่ปรับปรุงในกรณีที่มีลูกค้ามากขึ้น

3.3.3 ทดสอบโดยรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อพิจารณาผลของวิธีการนำเสนอกับเส้นทางขนส่งจริงของโรงงานด้านระยะทางและราคาค่าขนส่งที่เกิดขึ้น โดยเปรียบเทียบในกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 ตัวอย่าง และเปรียบเทียบในกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง 3 ตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลเส้นทางและระยะทางจากระบบ GPS ของรถขนส่งแต่ละคันจำนวน 3 ตัวอย่าง

3.4 ประเมินผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยขั้นตอนวิธีการทางฮิวริสติกส์ที่พัฒนาขึ้นสำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางโดยเปรียบเทียบกับวิธีการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

3.5 สรุปผลที่ได้จากการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยวิธีการที่นำเสนอ

4. ออกแบบและจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจ ประกอบด้วย 2 ส่วน ดังนี้

4.1 ส่วนข้อมูลนำเข้า (Input) เป็นส่วนที่ผู้ใช้งานจะต้องใส่ข้อมูลนำเข้า ประกอบด้วย

4.1.1 รายการคำสั่งซื้อสินค้าของลูกค้าแต่ละราย

4.1.2 สถานที่จัดส่งสินค้า

4.1.3 เวลาในการรับส่งสินค้า

4.2 ส่วนประมวลผล (Operation) เป็นส่วนที่เกี่ยวข้องกับการพิจารณาข้อมูลนำเข้าจากขั้นตอนก่อนหน้าเพื่อตัดสินใจด้วยวิธีการที่นำเสนอและแสดงผลในขั้นตอนถัดไป

4.3 ส่วนแสดงผล (Output) เป็นส่วนที่แสดงถึงผลที่ได้จากการประมวลผล ประกอบด้วย

4.3.1 ประเภทรถขนส่งที่ใช้

4.3.2 เส้นทางในการขนส่งสินค้า

4.3.3 เวลาในการขนส่งสินค้า

4.3.4 ต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมด

4.4 ทดลองใช้งานระบบโดยการจัดส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อจริงของโรงงานกรณีศึกษา

4.5 ประเมิลผลจากระบบเปรียบเทียบกับผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอด้านความถูกต้องและครบถ้วนในการแสดงผล

4.6 สรุปผลการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่ได้จัดทำขึ้น

5. สรุปผลและข้อเสนอแนะจากการดำเนินงานวิจัย

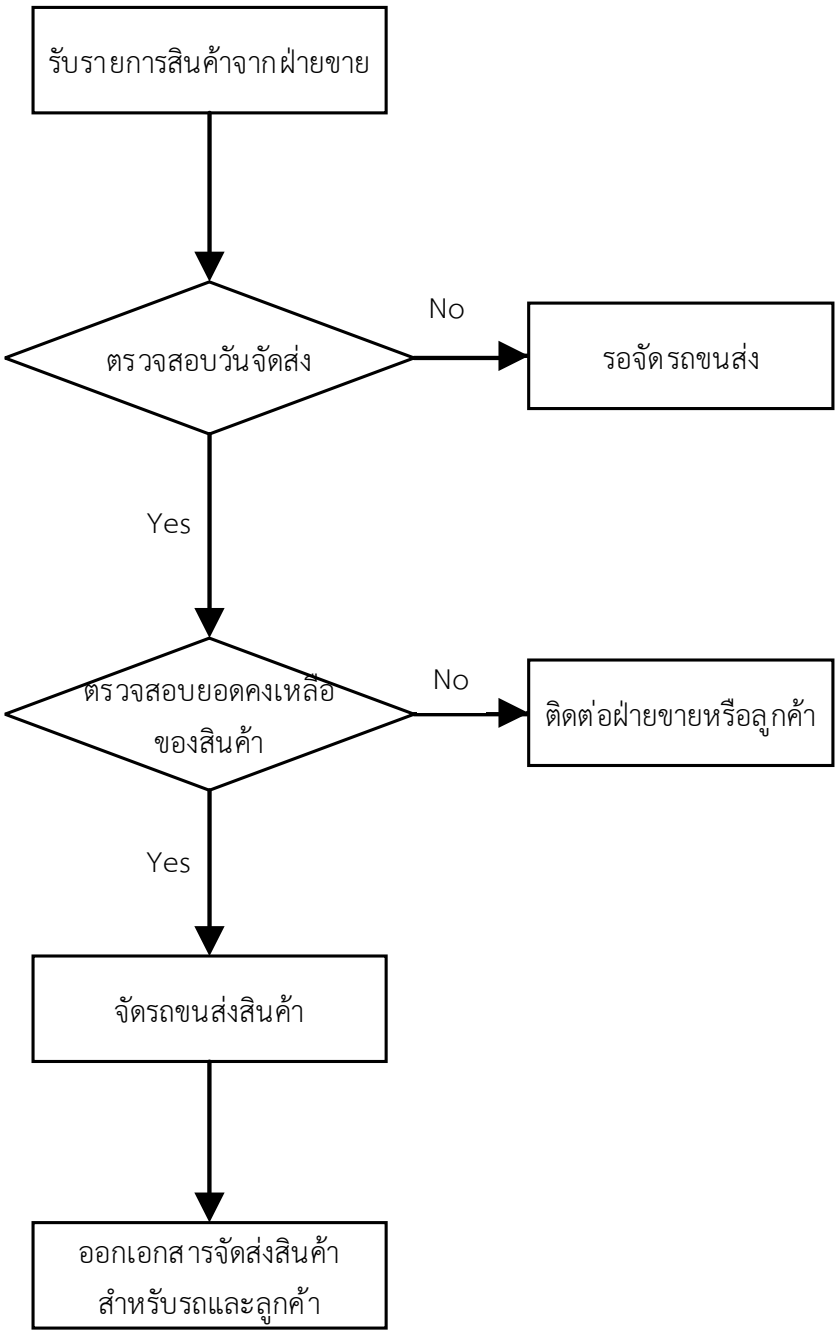
บทที่ 3

ผลและวิจารณ์ผลการทดลอง

1. สภาพปัจจุบันของการดำเนินงานในแผนกโลจิสติกส์ของโรงงานกรณีศึกษา

1.1 ขั้นตอนการดำเนินงานจัดรถขนส่งสินค้าของแผนกโลจิสติกส์

จากการสำรวจขั้นตอนการดำเนินงานของแผนกโลจิสติกส์ ด้วยวิธีการสัมภาษณ์ผู้เกี่ยวข้องและสังเกตสภาพการทำงานจริง แผนกโลจิสติกส์มีขั้นตอนการดำเนินงานเริ่มตั้งแต่ ขั้นตอนการรับคำสั่งซื้อจนถึงการออกเอกสารการขายให้กับลูกค้าและรถขนส่งสินค้าเพื่อจัดส่งสินค้า ในภาพรวมแสดงดังภาพที่ 16 โดยแผนกโลจิสติกส์ จะรับคำสั่งซื้อจากฝ่ายขายและตรวจสอบวันจัดส่งสินค้าตามกำหนดของลูกค้าและตามข้อกำหนดในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า ซึ่งใช้เป็นเกณฑ์การประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงาน (Key Performance Indicator: KPI) ด้านลูกค้าด้วย จากนั้นจะตรวจสอบยอดคงเหลือของสินค้า หากมีสินค้าครบตามจำนวนจะดำเนินการจัดรถขนส่งสินค้า เพื่อจัดส่งสินค้าซึ่งเป็นการดำเนินงานหลักของแผนกโลจิสติกส์ โดยมีรายละเอียดของขั้นตอนการดำเนินงาน ดังนี้



ภาพที่ 16 ขั้นตอนการดำเนินการของแผนกโลจิสติกส์

1.1.1 การรับรายการคำสั่งซื้อจากฝ่ายขาย

การรับรายการคำสั่งซื้อจากฝ่ายขาย โดยฝ่ายขายจะส่งรายการคำสั่งซื้อสินค้าให้กับแผนกโลจิสติกส์จาก 3 เส้นทาง คือ โทรศัพท์ รายงานการสั่งซื้อ และอีเมลล์ ซึ่งมีรูปแบบการขายมี 2 รูปแบบดังนี้

(1) รูปแบบขายตรง

รูปแบบขายตรง เป็นรายการคำสั่งซื้อจากตัวแทนขาย เพื่อนำสินค้าไปขายให้กับลูกค้าซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้ารายย่อยโดยตรง เช่น ร้านค้าปลีก เป็นต้น ทั้งในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ,ปริมณฑล และต่างจังหวัดโดยใช้รถบริษัท ประกอบด้วย รถปิกอัพ (4 ล้อ) ขนาดบรรทุก 3 ตัน ในกรุงเทพฯและปริมณฑล ส่วนต่างจังหวัดสามารถบรรทุกได้ถึง 4.5 ตัน ในรูปแบบนี้ไม่จำเป็นต้องมีการจัดหารถหรือเส้นทางในการขนส่งสินค้าแผนกโลจิสติกส์จะดำเนินการตรวจสอบยอดคงเหลือของสินค้าและออกเอกสารการขายให้กับตัวแทนขายเท่านั้น

(2) รูปแบบเครดิต

รูปแบบเครดิต เป็นรายการคำสั่งซื้อจากลูกค้าผ่านฝ่ายขาย ในรูปแบบนี้บริษัทจะเป็นผู้จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้ารวมทั้งลูกค้ามารับสินค้าที่บริษัทเองด้วย รายการคำสั่งซื้อในรูปแบบนี้เป็นการสั่งซื้อในปริมาณมากและจ่ายค่าสินค้าในรูปแบบเงินโอนหรือรูปแบบอื่นๆหลังจากได้รับสินค้า เนื่องจากรายการคำสั่งซื้อในรูปแบบนี้มีลูกค้าจำนวนมาก และมีจำนวนรถขนส่งที่จำกัด ดังนั้น จึงมีความจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีการจัดสรรทั้งประเภทรถขนส่งและเส้นทางการขนส่ง เพื่อให้สามารถจัดส่งสินค้าได้ทันตามเวลากำหนด ทั้งนี้จะแบ่งรายการคำสั่งซื้อตามเขตพื้นที่หลัก 3 พื้นที่ ดังนี้ (1) ห้างสรรพสินค้า กรุงเทพฯและปริมณฑล (2) ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออก และ (3) ภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ เพื่อกระจายให้กับพนักงานที่รับผิดชอบในแต่ละเขตพื้นที่ดำเนินการในขั้นตอนต่อไป

1.1.2 การตรวจสอบวันจัดส่งสินค้า

การตรวจสอบวันจัดส่งสินค้า ประกอบด้วยการพิจารณาวันในการจัดส่ง 2 หัวข้อ ดังนี้ (1) วันที่ลูกค้ากำหนด ในกรณีที่ลูกค้ามีการกำหนดวันในการรับสินค้าที่ชัดเจน เช่น อาจมีการสั่งสินค้าล่วงหน้า เพื่อให้ส่งสินค้าในเดือนถัดไป เป็นต้น (2) วันที่จัดส่งตามข้อกำหนดของบริษัท โดยกำหนดให้จัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าในเขตกรุงเทพฯและปริมณฑล ภายใน 2 วันนับจากวันที่รับคำสั่งซื้อจากฝ่ายขาย และลูกค้าต่างจังหวัดภายใน 3 วันนับจากวันที่รับคำสั่งซื้อจากฝ่ายขาย หากรายการคำสั่งซื้อถึงกำหนดในการจัดส่งสินค้าพนักงานจะดำเนินการตรวจสอบยอดคงเหลือคงสินค้าที่ต้องจัดส่งตามรายการในขั้นตอนถัดไป

1.1.3 การตรวจสอบยอดคงเหลือของสินค้า

การตรวจสอบยอดคงเหลือของสินค้า เป็นการตรวจสอบจำนวนสินค้าตามรายการคำสั่งซื้อ เพื่อพิจารณาว่ามีสินค้าพร้อมส่งหรือไม่ หากพบว่าไม่มีสินค้าเพียงพอสำหรับจัดส่งสินค้า จะทำการติดต่อฝ่ายขายหรือลูกค้า เพื่อขอเลื่อนการจัดส่งหรือปรับเปลี่ยนรายการคำสั่งซื้อสินค้า และในกรณีที่มีสินค้าครบตามจำนวนที่จะต้องจัดส่งให้กับลูกค้า พนักงานจะดำเนินการจัดรถขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าในขั้นตอนต่อไป

1.1.4 การจัดรถขนส่งสินค้า

การจัดรถขนส่งสินค้า เป็นขั้นตอนการดำเนินงานหลักของแผนกโลจิสติกส์ ในขั้นตอนการจัดรถขนส่งสินค้านั้นจะมีพนักงาน 1 คน สำหรับจัดรถขนส่งในแต่ละเขตพื้นที่ ซึ่งประกอบด้วย (1) ห้างสรรพสินค้า กรุงเทพฯและปริมณฑล (2) ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออก และ (3) ภาคเหนือและตะวันออกเฉียงเหนือ โดยในแต่ละเขตพื้นที่หลักจะถูกแบ่งเป็นเขตพื้นที่ย่อย ซึ่งถูกกำหนดเอาไว้เพื่อความสะดวกในการจัดกลุ่มลูกค้าและรถขนส่งสินค้า ทั้งนี้ในเขตพื้นที่กรุงเทพฯและปริมณฑลจะมีการแบ่งเขตพื้นที่ รวมทั้งการจับคู่เขตพื้นที่ ที่สามารถใช้เส้นทางเดียวกันได้เอาไว้อย่างชัดเจน แต่ในเขตพื้นที่อื่นๆ (ต่างจังหวัด) จะมีการแบ่งเขตพื้นที่จากที่อยู่ของลูกค้า และมีการกำหนดเป็นเขตพื้นที่อำเภอเมือง และต่างอำเภอ โดยอ้างอิงจากแผนที่ประเทศไทยและประสบการณ์ของพนักงานจัดรถขนส่งสินค้าแต่ละคน

การจัดรถขนส่งสินค้าในปัจจุบัน มีการจัดลำดับการการจัดส่งในลักษณะ First in first out (FIFO) โดยมีการใช้โปรแกรมเฉพาะของบริษัท ซึ่งแสดงข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการจัดรถขนส่งสินค้า ประกอบด้วย วันที่รับคำสั่งซื้อ รายการคำสั่งซื้อ น้ำหนักสินค้า รายชื่อและที่อยู่ของลูกค้า เงื่อนไขการจัดส่งสินค้า รหัสพื้นที่ในการจัดส่ง และข้อมูลรถขนส่งสินค้า โดยโปรแกรมดังกล่าวจะแสดงลำดับของกลุ่มลูกค้าตามรหัสไปรษณีย์ แสดงคำสั่งซื้อตามลำดับวันที่ และสามารถใช้ในการรวมน้ำหนักสินค้าที่ถูกจับคู่กับรถเพื่อไม่ให้เกินความจุของรถ โดยพนักงานจะใส่เลขทะเบียนรถให้กับรายการสั่งซื้อแต่ละรายการ ซึ่งโปรแกรมดังกล่าวไม่ได้มีส่วนช่วยในการตัดสินใจเกี่ยวกับการเลือกประเภทรถหรือจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแต่อย่างใด

การจัดกลุ่มลูกค้านอกจากจะพิจารณาตามเขตพื้นที่แล้ว พนักงานจะทำการจัดกลุ่มโดยพิจารณาจากปัจจัยต่างๆ ร่วมด้วย ได้แก่ รูปแบบของเงื่อนไขการขาย ข้อบังคับในการใช้ประเภทรถขนส่ง วันและเวลาทำการเปิดรับสินค้า เงื่อนไขการจัดส่งสินค้าอื่นๆ เช่น ต้องมีการโทรศัพท์แจ้งก่อนส่งสินค้าทุกครั้ง สถานที่ในการจัดส่งสินค้าในกรณีที่ไม่ใช่สถานที่เดียวกับที่อยู่ของลูกค้า เงื่อนไขการออกบิลประเภทต่างๆ เป็นต้น เนื่องจากในแต่ละเขตพื้นที่ มีปัจจัยพิจารณาที่แตกต่างกัน ดังนั้นพนักงานจัดรถขนส่งสินค้าแต่ละคน จะมีการลำดับความสำคัญในการพิจารณาในแต่ละปัจจัย เพื่อการจัดรถขนส่งที่แตกต่างกัน

การเลือกประเภทและชนิดของรถขนส่งสินค้า พนักงานจะเลือกใช้รถในกลุ่มรถร่วมเป็นหลักตามจำนวนรถที่มีอยู่ โดยทั่วไปจะไม่มีการเปรียบเทียบค่าขนส่งกับรถรูปแบบอื่นๆ นอกจากเกิดกรณีที่มีความจำเป็นต้องใช้รถประเภทจ้างขนส่งจากภายนอกที่มีราคาสูงหรืออาจต่ำกว่ารถร่วม หรือเป็นกรณีการส่งสินค้าล่าช้าและมีความจำเป็นต้องจ้างรถขนส่งจากภายนอก เป็นต้น จะมีการเปรียบเทียบราคาค่าขนส่งระหว่างรถขนส่งแต่ละประเภท ตัวอย่างเช่น การเปรียบเทียบค่าขนส่งประเภทจ้างรถขนส่งจากภายนอกและค่าขนส่งประเภทรถร่วม เพื่อตรวจสอบค่าขนส่งที่สามารถยอมรับได้ก่อนตัดสินใจเลือกประเภทรถที่ใช้ในการขนส่งสินค้า และทำเอกสารเพื่อขอการอนุมัติจ้างรถขนส่งซึ่งจะมีรายละเอียดเกี่ยวกับ จำนวนสินค้าและค่าขนส่งเปรียบเทียบ พร้อมทั้งแสดงส่วนต่างของราคาค่าขนส่งด้วย ทั้งนี้การจัดลำดับหรือเส้นในการจัดส่งสินค้าจะขึ้นอยู่กับพนักงานขับรถซึ่งเป็นไปตามประสบการณ์ในการจัดส่งของพนักงานขับรถแต่ละราย เมื่อเสร็จสิ้นขั้นตอนการจัดรถขนส่งสินค้าแล้วจะออกเอกสารการขายให้กับลูกค้าและรถขนส่งเพื่อดำเนินการจัดส่งต่อไป

1.1.5 การออกเอกสารจัดส่งสินค้าสำหรับรถและลูกค้า

การออกเอกสารจัดส่งสินค้าสำหรับรถและลูกค้า ประกอบด้วย

(1) เอกสารแจ้งราคาสินค้า

เอกสารแจ้งราคาสินค้า เป็นใบเสร็จรับเงินตามรายการคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละราย โดยจะแสดงรายละเอียดเกี่ยวกับ รายการสินค้า ราคาสินค้า และรถขนส่งสินค้า สำหรับนำส่งให้ลูกค้า

(2) เอกสารอนุญาตออกสินค้า

เอกสารอนุญาตออกสินค้า เป็นเอกสารที่มอบให้กับพนักงานขับรถ เมื่อผ่านขั้นตอนการจัดรถและออกเอกสารแจ้งราคาสินค้าและได้รับการยืนยันความถูกต้องเรียบร้อยแล้ว แผนกโลจิสติกส์จะออกเอกสารดังกล่าว เพื่อให้ผู้มีอำนาจอนุมัติปล่อยสินค้าและสามารถจัดสินค้าขึ้นรถขนส่งได้

1.2 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดรถขนส่งสินค้า

1.2.1 ข้อมูลด้านลูกค้า

ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าหลายประเภท ได้แก่ ร้านค้าปลีก ร้านค้าส่ง ห้างสรรพสินค้า เป็นต้น โดยมีการแบ่งกลุ่มลูกค้าในการจัดส่งสินค้า ตามเกณฑ์การพิจารณาดังนี้

1.2.1.1 รูปแบบการขายสินค้า แบ่งเป็น 2 รูปแบบ ประกอบด้วย

(1) ลูกค้าประเภทขายตรง

(2) ลูกค้าประเภทเครดิต

1.2.1.2 พื้นที่ในการจัดส่ง แบ่งเป็น 3 เขตพื้นที่ ประกอบด้วย

(1) กรุงเทพฯและปริมณฑลรวมทั้งห้างสรรพสินค้าทั่วประเทศ

(2) ภาคกลาง ภาคใต้ และภาคตะวันออก

(3) ภาคเหนือและภาคตะวันออกเฉียงเหนือ

งานวิจัยนี้ จะพิจารณาเฉพาะลูกค้าในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น พบว่า ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีจำนวนลูกค้าโดยประมาณ 1,000 ราย ใน 318 อำเภอของเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษา จะแบ่งกลุ่มลูกค้าตามเขตอำเภอหลักในการจัดส่งได้ 80 อำเภอ โดยลูกค้าแต่ละรายจะมีการกำหนดเวลาในการรับสินค้า ตัวอย่างเช่น ลูกค้าเปิดรับสินค้าในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นต้น ดังนั้น การจัดรถขนส่งสินค้าจึงจำเป็นจะต้องพิจารณาเวลาในการจัดส่งสินค้าร่วมด้วย แต่ปัจจุบันการจัดรถขนส่งสินค้าของบริษัทกรณียังไม่ได้มีการพิจารณาเวลาที่ไปถึงลูกค้า

1.2.2 ข้อมูลด้านสินค้า

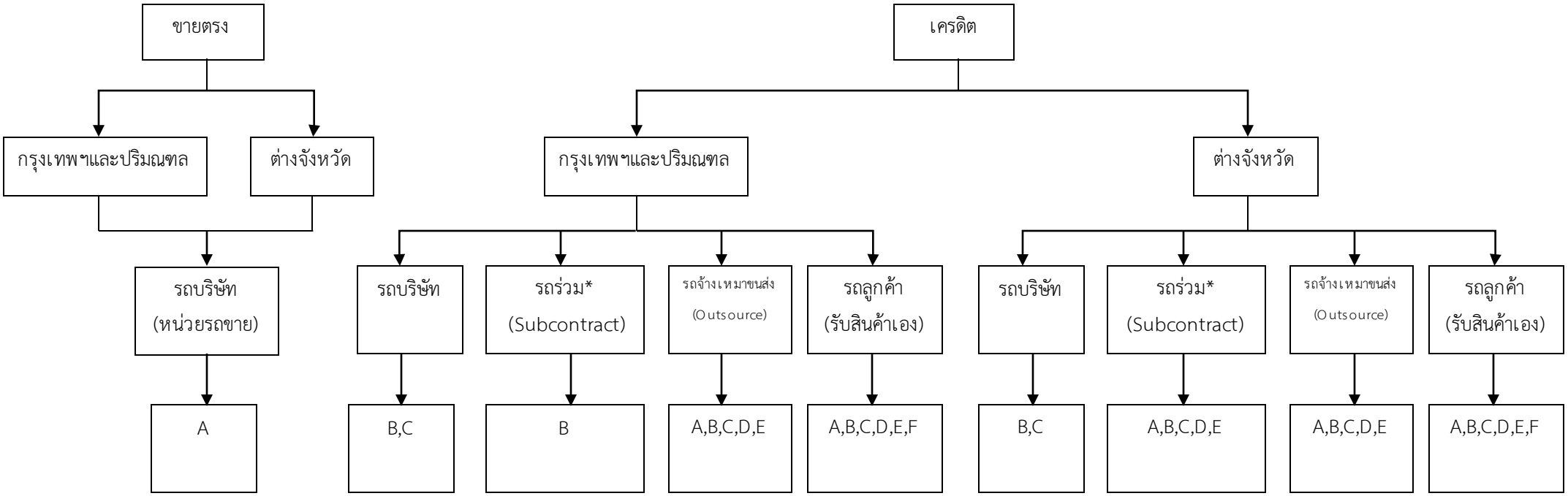
โรงงานกรณีศึกษาเป็นผู้ผลิตและจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์เครื่องดื่มน้ำผลไม้ ซึ่งมีความหลากหลายของผลิตภัณฑ์ จากการศึกษาและเก็บข้อมูลการจัดจำหน่ายปัจจุบัน (พ.ศ.2555-2556) พบว่า มีการจัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์ทั้งหมด 24 ชนิด โดยแต่ละชนิดมีน้ำหนักสินค้า (กิโลกรัม) ตามขนาดที่ใช้ในการจัดจำหน่าย แสดงดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ชนิดและน้ำหนักของสินค้า

ลำดับที่	น้ำหนัก(กิโลกรัม)		ลำดับที่	น้ำหนัก(กิโลกรัม)	
	แพ็ค	กล่อง		แพ็ค	กล่อง
1	1.04	16.7	13	-	10.73
2	1.05	16.82	14	4.43	22.17
3	1.98	15.84	15	4.39	21.95
4	1.54	12.28	16	0.49	14.68
5	1.53	12.27	17	0.42	12.58
6	1.54	12.31	18	0.49	14.7
7	1.54	12.3	19	0.49	14.72
8	2.97	14.48	20	0.75	9.02
9	2.96	11.84	21	0.62	7.48
10	1.07	12.87	22	0.76	9.08
11	1.08	12.96	23	0.76	9.06
12	1.08	12.97	24	0.83	8.28

1.2.3 ข้อมูลด้านรถขนส่งสินค้า

ปัจจุบันบริษัทมีการจัดส่งสินค้าโดยใช้รถขนส่งในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามประเภทของการขาย และเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้า ดังภาพที่ 17



หมายเหตุ : A = รถปิกอัพ (4 ล้อ), B = รถปิกอัพใหญ่ (4 ล้อ), C = รถ 6 ล้อ, D = รถ 10 ล้อ, E = รถพ่วง (10 ล้อพ่วง), F = รถเทรลเลอร์ (Trailer truck)

ภาพที่ 17 รถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรูปแบบและเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้า

1.2.3.1 ประเภทของรถขนส่งสินค้า

ปัจจุบันบริษัทมีการจัดส่งสินค้าโดยใช้รถขนส่งที่แตกต่างกัน 5 ประเภท ซึ่งจะใช้งานแตกต่างกันตามรูปแบบการขาย ลูกค้า และพื้นที่ในการจัดส่งสินค้า โดยมีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ประเภทรถขนส่ง

	ประเภทรถขนส่งสินค้า	
1	รถบริษัท (หน่วยรถขาย)	รถซึ่งเป็นทรัพย์สินของบริษัทใช้เฉพาะการขายสินค้าในรูปแบบขายตรงเท่านั้น ประกอบด้วย - รถบรรทุก 4 ล้อ - รถบรรทุก 4 ล้อ ใหญ่
2	รถบริษัท*	รถซึ่งเป็นทรัพย์สินของบริษัท ใช้ในการขนส่งสินค้าระยะใกล้ ประกอบด้วย - รถบรรทุก 4 ล้อ - รถบรรทุก 4 ล้อ ใหญ่ - รถบรรทุก 6 ล้อ
3	รถร่วม* (Subcontract)	รถที่มีการทำสัญญารับเหมาขนส่งสินค้าประจำกับบริษัท (แต่ไม่ถือเป็นพนักงานของบริษัท) มีการจ่ายค่าขนส่งให้กับผู้รับจ้างรถร่วมเป็นรายสัปดาห์ ประกอบด้วย - รถบรรทุก 4 ล้อ - รถบรรทุก 4 ล้อ ใหญ่ - รถบรรทุก 6 ล้อ - รถบรรทุก 10 ล้อ - รถบรรทุก 10 ล้อ พ่วง

หมายเหตุ (*) คือ ประเภทรถที่สามารถทำการปรับปรุงระบบการขนส่งสินค้าได้

ตารางที่ 3 (ต่อ) ประเภทรถขนส่ง

		ประเภทรถขนส่ง
4	รถจ้างเหมาขนส่งจากภายนอก (Outsource)	รถรับจ้างเหมาขนส่งสินค้าไม่ประจำกับบริษัท ประกอบด้วย - รถบรรทุก 4 ล้อ - รถบรรทุก 6 ล้อ - รถบรรทุก 10 ล้อ - รถพ่วง (10 ล้อพ่วง)
5	รถลูกค้า (รับสินค้าเอง)	รูปแบบของการมารับสินค้าโดยลูกค้า ประกอบด้วย - รถบรรทุก 4 ล้อ - รถบรรทุก 6 ล้อ - รถบรรทุก 10 ล้อ - รถพ่วง (10 ล้อพ่วง) - รถรถเทรลเลอร์ (Trailer truck)

จากประเภทของรถทั้ง 5 ประเภทข้างต้น พบว่า ประเภทรถที่สามารถทำการปรับปรุงการจัดรถขนส่งสินค้าได้ ประกอบด้วย 2 รูปแบบคือ 1) รถบริษัท 2) รถร่วม เนื่องจากเป็นกลุ่มรถขนส่งสินค้าที่จะต้องมีการจัดรถและลำดับการจัดส่ง โดยพนักงานจัดรถขนส่งสินค้า ให้เป็นไปตามเงื่อนไขในการจัดส่งสินค้าที่กำหนดของลูกค้า รวมทั้งรถขนส่งทั้ง 2 ประเภทดังกล่าว เป็นประเภทที่ส่งผลต่อต้นทุนค่าขนส่งสินค้าโดยตรงและสามารถควบคุมต้นทุนขนส่งสินค้าเพื่อให้มีต้นทุนต่ำลงได้ ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงจะปรับปรุงวิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าในรถประเภทร่วม

ตารางที่ 4 ชนิดรถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

ลำดับที่	ชนิดรถ	ขนาดน้ำหนักบรรทุก	ภาพรถ
1	รถบรรทุก 4 ล้อ	3 – 4.5 ตัน (กรุงเทพฯและปริมณฑลบรรทุกได้ไม่เกิน 3 ตัน)	
2	รถบรรทุก 4 ล้อ (ใหญ่)	4-5 ตัน	
3	รถบรรทุก 6 ล้อ	9 – 10 ตัน	

ตารางที่ 4 (ต่อ) ชนิดรถขนส่งสินค้าที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

ลำดับที่	ชนิดรถ	ขนาดน้ำหนักบรรทุก	ภาพรถ
4	รถบรรทุก 10 ล้อ	15 – 16 ตัน	
5	รถบรรทุก 10 ล้อพ่วง	30 ตัน	
6	รถ เทรลเลอร์	30 – 35 ตัน	

1.2.4 ข้อมูลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า จะคำนวณแตกต่างกันในการขนส่ง โดยรถแต่ละประเภท ดังนี้

1.2.4.1 ต้นทุนค่าขนส่งประเภทรถบริษัท

ต้นทุนค่าขนส่งของรถของบริษัทนั้น จะคำนวณต้นทุนจากค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นจริงเท่านั้น จากข้อมูลย้อนหลังที่ได้ (เดือนพฤษภาคม 55) พบว่า รถบริษัทจะใช้ในการส่งสินค้าในเขตพื้นที่ กรุงเทพฯ ปริมณฑลและเขตพื้นที่ภาคกลาง ซึ่งถูกแบ่งเป็นพื้นที่ ใกล้ กลางและไกล ดังนี้

ตารางที่ 5 การแบ่งพื้นที่ ใกล้ กลางและไกลของเขตพื้นที่ภาคกลางและปริมณฑล

พื้นที่ใกล้		**พื้นที่กลาง**			**พื้นที่ไกล**
คลองสาน	พุทธมณฑล	คลองเตย	สาธร	สวนหลวง	ลาดกระบัง
จอมทอง	ราชบุรี(เมือง)	จตุจักร	สัมพันธวงศ์	บางนา	หนองจอก
ตลิ่งชัน	บ้านโป่ง	ดุสิต	ห้วยขวาง	ลาดหลุมแก้ว	ธัญบุรี
ธนบุรี	โพธาราม	ดอนเมือง	ดินแดง	สวนผึ้ง	คลองหลวง
บางกอกน้อย	ดำเนินสะดวก	บางกะปิ	หลักสี่	บ้านคา	ลำลูกกา
บางกอกใหญ่	ปากท่อ	บางเขน	วัฒนา	คลองด่าน	สามโคก
บางขุนเทียน	บางแพ	บางคอแหลม	ปทุมธานี	สายไหม	หนองเสือ
บางพลัด		บางซื่อ	บางเลน	คันนายาว	บางพลี
ภาษีเจริญ		บางรัก	กำแพงแสน	สะพานสูง	บางเสาธง
ราษฎร์บูรณะ		บึงกุ่ม	ดอนตูม	วังทองหลาง	บางบ่อ
หนองแขม		ปทุมวัน	จอมบึง	ประเวศ	
ทวีวัฒนา		ป้อมปราบศัตรูพ่าย	อัมพวา		
บางแค		พญาไท	บางคนที		
ทุ่งครุ		พระโขนง	สมุทรปราการ		
บางบอน		พระนคร	พระประแดง		
นครปฐม(เมือง)		ยานนาวา	พระสมุทรเจดีย์		
สามพราน		ราชเทวี	นนทบุรี		
นครชัยศรี		ลาดพร้าว	มีนบุรี		

ต้นทุนที่การขนส่งสินค้าในประเภทนี้ ประกอบด้วย

(1) ค่าเชื้อเพลิง

(2) ค่าจ้างพนักงานขับรถ

(3) ค่าจ้างพนักงานยกของ

(4) ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงาน

(5) ค่าเบี้ยเลี้ยงพนักงานยกของ

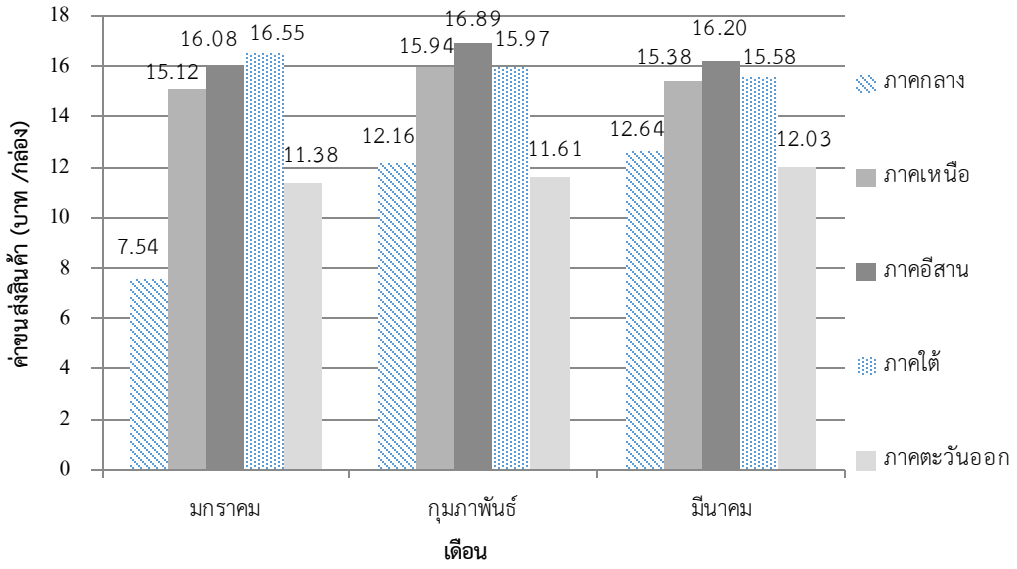
(7) ค่าใช้จ่ายอื่นๆ เช่น ค่าที่พักพนักงาน ที่จอดรถ ทางด่วน เป็นต้น

1.2.4.2 ต้นทุนค่าขนส่งประเภทรถร่วม

การคำนวณค่าขนส่งประเภทรถร่วม กำหนดค่าขนส่งโดยการแบ่งตามระยะทางของเขตพื้นที่ในการจัดส่งและขนาดของสินค้า ดังนี้

ขนาดที่ 1	4.01-7.00	กิโลกรัม
ขนาดที่ 2	7.01-14.00	กิโลกรัม
ขนาดที่ 3	14.01-20.00	กิโลกรัม
ขนาดที่ 4	มากกว่า 20.00	กิโลกรัม

การคำนวณค่าขนส่งจะเปรียบเทียบจากราคาน้ำมันที่เป็นปัจจุบัน จึงมีการเปลี่ยนแปลงขึ้นลงตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิง จากข้อมูลค่าขนส่งประเภทรถร่วมที่สำรวจในช่วงราคาน้ำมัน 23.01 - 28.00 บาทต่อลิตร (ไตรมาสที่ 1/2555) พบว่า พื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีค่าขนส่งสินค้าเฉลี่ยต่อกล่องสูงที่สุด ดังภาพที่ 18 พบว่าปัจจุบันในกลุ่มลูกค้าเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าขนส่งเฉลี่ย 16.39 บาท/กล่อง โดยในงานวิจัยนี้ จะกำหนดค่าขนส่งเฉลี่ยในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ กล่องละ 14.84 บาทต่อกล่อง (อ้างอิงจากอัตราค่าขนส่งสินค้าของโรงงานประเภทรถร่วมและคำนวณที่อัตราราคาน้ำมันเชื้อเพลิงในช่วง 30 - 32 บาทต่อลิตร)



ภาพที่ 18 ต้นทุนค่าขนส่งเฉลี่ย บาท / กล่อง (ไตรมาสที่ 1/2555) ของแต่ละเขตพื้นที่

1.2.4.3 ต้นทุนค่าขนส่งประเภทจ้างรถขนส่งจากภายนอก (Outsource)

ต้นทุนค่าขนส่งโดยการขนส่งสินค้าประเภทจ้างรถขนส่งจากภายนอก จะมีอัตราค่าขนส่งซึ่งเป็นข้อตกลงร่วมกันระหว่างบริษัทและบริษัทขนส่ง โดยคำนวณค่าขนส่งจากระยะทางของพื้นที่ในการจัดส่งและขนาดสินค้าซึ่งถูกแบ่งไว้เป็น 4 ขนาดเช่นเดียวกับรถขนส่งประเภทรถร่วม และมีการปรับขึ้นลงตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิง โดยบริษัทขนส่งจะเป็นผู้เสนอราคาค่าขนส่งเพื่อให้บริษัทพิจารณาและตกลงราคาร่วมกัน

1.2.4.4 ต้นทุนค่าขนส่งประเภทลูกค้ามารับสินค้าเอง

ต้นทุนการขนส่งสินค้าประเภทลูกค้ามารับสินค้าเอง คิดค่าขนส่งเช่นเดียวกับค่าขนส่งประเภทรถร่วม และมีการปรับเปลี่ยนเพิ่มลดราคาค่าขนส่งตามราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเช่นเดียวกัน โดยบริษัทจะจ่ายเป็นค่าตอบแทนให้กับลูกค้าในรูปแบบส่วนลด โดยการหักลบจากค่าสินค้ารวมทั้งหมด ซึ่งจะได้ยอดเงินที่ลูกค้าต้องจ่ายจริงหลังจากหักค่าขนส่งแล้ว

1.2.5 ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพการดำเนินงาน (Key Performance Indicator: KPI)

ข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพในปี 2554 ของแผนกโลจิสติกส์ เกี่ยวกับเป้าหมายด้านลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดรถขนส่ง ดังนี้

ตารางที่ 6 ผลการประเมินประสิทธิภาพในปี 2554 ของแผนกโลจิสติกส์เกี่ยวกับเป้าหมายด้านลูกค้า

หัวข้อ	**เป้าหมาย (ร้อยละ)**	**ผลที่ได้จริงเฉลี่ย (ร้อยละ)**
1. การจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้ากรุงเทพฯ ภายใน 2 วัน	99	98.50
2. การจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างจังหวัด ภายใน 3 วัน (ภาคเหนือและอีสาน)	95	42.09
3. การจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าต่างจังหวัด ภายใน 3 วัน (ภาคกลาง, ตะวันออก และใต้)	95	80.06

จากข้อมูลการประเมินประสิทธิภาพ (KPI) ในปี 2554 ของแผนกโลจิสติกส์ เกี่ยวกับเป้าหมายด้านลูกค้าที่เกี่ยวข้องกับการจัดรถขนส่ง พบว่า การจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าเขตภาคเหนือและอีสาน มีผลการประเมินต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดมากที่สุด เมื่อเทียบกับเขตพื้นที่อื่น ถึงร้อยละ 52.95 (เป้าหมายร้อยละ 95, ผลที่ได้จริงเฉลี่ยร้อยละ 42.09) แสดงให้เห็นว่า การจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้ามีค่าเฉลี่ยของประสิทธิภาพการดำเนินงานอยู่ในเกณฑ์ที่ต่ำกว่าเป้าหมายที่กำหนดทั้ง 3 เขตพื้นที่ โดยพื้นที่ที่มีประสิทธิภาพในการจัดส่งต่ำที่สุดคือ ภาคเหนือและอีสาน, ภาคกลาง ตะวันออกและใต้, กรุงเทพฯและปริมณฑล ตามลำดับ ดังนั้น ปัญหาที่พบนอกเหนือจากต้นทุนการขนส่งมีราคาสูงคือการจัดส่งสินค้าล่าช้า พบว่า ภาคอีสานมีต้นทุนการขนส่งรถร่วมสูงสุดและล่าช้าที่สุด

1.3 วิเคราะห์และสรุปปัญหาที่พบจากการสำรวจสภาพปัจจุบันของการจัดส่งสินค้า

จากผลการสำรวจสภาพปัจจุบันของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า เขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีการจัดส่งสินค้าล่าช้าและต้นทุนในการขนส่งสินค้าค่อนข้างสูง ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษามีความต้องการที่จะลดต้นทุนในการดำเนินงานในส่วนนี้ ดังนั้นเพื่อให้สามารถหาสาเหตุและแนวทางในการแก้ปัญหาที่ถูกต้องเหมาะสม จึงดำเนินการวิเคราะห์ปัญหาจากการระดมสมองและสัมภาษณ์ผู้ที่เกี่ยวข้อง พบว่า มีสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนด้านการขนส่งสูงซึ่งสามารถแบ่งเป็น 2 สาเหตุหลักได้ดังนี้ (1) ปัจจัยภายนอก (External Factor) ที่ไม่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ ราคาน้ำมัน (2) ปัจจัยภายใน (Internal Factor) ที่สามารถควบคุมได้ ได้แก่ คนและวิธีการทำงาน ซึ่งจะแสดงรายละเอียดเพิ่มเติมดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 การสรุปสาเหตุของปัญหาต้นทุนค่าขนส่งสินค้าสูง

ปัจจัยด้าน	รายละเอียดสาเหตุของปัญหาต้นทุนค่าขนส่งสูง
คน	- พนักงานจัดรถขนส่งจากประสบการณ์และความเคยชิน อาจทำให้มีการจัดเที่ยวรถขนส่งมากกว่าที่ควรจะเป็น - เงื่อนไขการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีความแตกต่างกันทำให้ไม่สามารถรวมเขตพื้นที่ใกล้เคียงกันไปในรถคันเดียวกันได้ - พนักงานจัดส่งสินค้าขาดความชำนาญเกี่ยวกับเส้นทางทำให้เกิดความล่าช้าและอาจต้องมีการจ้างบริษัทขนส่งจากภายนอก หรือมีการเพิ่มเที่ยวในการขนส่งสินค้า - พนักงานจัดส่งสินค้ามีการลางาน ขาดงาน หรือเลือกงาน ทำให้ต้องมีการจ้างรถขนส่งจากภายนอกเพิ่มมากขึ้น - พนักงานจัดส่งสินค้าทำงานผิดพลาด เช่น ผิดสถานที่ ไม่ครบตามจำนวน สินค้าเสียหาย ทำให้ต้องมีการจัดเที่ยวขนส่งเพิ่มขึ้น เป็นต้น
เครื่องจักร	- ระบบข้อมูลการขนส่งที่ใช้ในการทำงานมีปัญหา ทำให้เกิดความล่าช้าหรือเกิดความผิดพลาดในการทำงาน เป็นผลทำให้ส่งสินค้าล่าช้าและต้องมีการเพิ่มเที่ยวรถหรือจ้างขนส่งจากภายนอก ในการขนส่งเพิ่มขึ้นให้ทันตามกำหนด - จำนวนรถไม่เพียงพอต้องมีการจ้างขนส่งจากภายนอกเพิ่มเติม
วิธีการทำงาน	- ไม่มีวิธีการจัดรถขนส่งที่เป็นแบบแผนที่แน่นอนเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด ในปัจจุบันเป็นการจัดรถขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของพนักงานจากการแบ่งเขตพื้นที่ โดยมีระบบแสดงข้อมูลแต่ไม่ใช่โปรแกรมช่วยตัดสินใจในการจัดรถขนส่งสินค้าที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุดหรือประเมินค่าขนส่งล่วงหน้าได้
วัตถุดิบ	- สินค้าไม่ครบตามจำนวนทำให้ต้องมีเที่ยวขนส่งสินค้าเพิ่มขึ้น - ราคาน้ำมัน/เชื้อเพลิงปรับราคาสูงขึ้น

จากการค้นหาสาเหตุเบื้องต้น นำมาวิเคราะห์เพื่อหาค่าและลำดับความเสี่ยง ซึ่งสามารถวิเคราะห์หาตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญก่อนหลังปัญหา (Risk Priority Number: RPN) ได้จากผลคูณระหว่างค่าความรุนแรง (Severity: S) กับโอกาสในการเกิด (Occurrence: O) และความสามารถในการป้องกัน (Detection: D) ทั้งนี้ความสัมพันธ์ของ RPN กับ S, O และ D อยู่ในรูปของสมการคือ (คงชลัช จันทร์กลิ่น, 2552)

$$RPN = S \times O \times D \tag{23}$$

RPN คือ ตัวเลขแสดงลำดับความสำคัญก่อนหลังปัญหา (Risk Priority Number)

S คือ ความรุนแรงของปัญหา (Severity: S)

O คือ โอกาสในการเกิดหรือความถี่ของปัญหา (Occurrence หรือ Frequency)

D คือ ความสามารถในการป้องกันปัญหา (Detection)

กำหนดเกณฑ์ของคะแนนที่ใช้ในการประเมินความรุนแรง ความถี่และการป้องกัน โดยใช้สเกล 1-10 ดังตารางที่ 8, 9 และ 10 ซึ่งจะได้ผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการดังตารางที่ 11 โดยในที่นี้ได้ทำการเรียงลำดับสาเหตุเบื้องต้นที่อาจมีผลต่อปัญหาต้นทุนการจัดส่งสินค้าสูง โดยพิจารณาจากผลคูณของค่า ความสำคัญก่อนหลังปัญหา (RPN) ที่ได้และจะแสดงอันดับค่า RPN ที่ได้ของแต่ละสาเหตุของปัญหาจากการวิเคราะห์ตามลำดับในตารางที่ 12

ตารางที่ 8 ความรุนแรง (Severity rating)

ลำดับที่	ความรุนแรง (Severity rating)	(Ranking)
1	มีผลทำให้ค่าขนส่งสูงขึ้นอย่างชัดเจนหรือทำให้ลูกค้าไม่พอใจอย่างมาก	9,10
2	มีแนวโน้มทำให้ค่าขนส่งสูงขึ้นหรือทำให้ลูกค้าไม่พอใจมาก	7,8
3	มีแนวโน้มทำให้ค่าขนส่งสูงขึ้นหรือทำให้ลูกค้าไม่พอใจปานกลาง	5,6
4	สามารถสังเกตได้ว่ามีผลต่อต้นทุนค่าขนส่งหรือทำให้ลูกค้าไม่พอใจเล็กน้อย	3,4
5	ไม่มีผลต่อต้นทุนค่าขนส่ง	1,2

ตารางที่ 9 โอกาสที่จะเกิด (Occurrence rating)

ลำดับที่	โอกาสที่จะเกิด (Occurrence rating)	(Ranking)
1	โอกาสที่จะเกิดขึ้นสูงมาก	9,10
2	โอกาสที่จะเกิดขึ้นสูง	7,8
3	โอกาสที่จะเกิดขึ้นปานกลาง	5,6
4	โอกาสที่จะเกิดขึ้นต่ำ	3,4
5	มีโอกาสเกิดขึ้นได้ยาก	1,2

ตารางที่ 10 ความสามารถในการตรวจจับ (Detection rating)

ลำดับที่	ความสามารถในการตรวจจับ (Detection rating)	(Ranking)
1	โอกาสที่จะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุข้อบกพร่องไม่มีเลย	9,10
2	โอกาสที่จะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุข้อบกพร่องมีน้อยมาก	7,8
3	โอกาสที่จะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุข้อบกพร่องมีปานกลาง	4,5,6
4	โอกาสที่จะตรวจพบแนวโน้มของสาเหตุข้อบกพร่องค่อนข้างสูง	2,3
5	สามารถระบุถึงแนวโน้มของสาเหตุข้อบกพร่อง (คือตรวจพบแน่นอน)	1

ตารางที่ 11 ผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ

สาเหตุที่เกิดปัญหา	ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	S	สาเหตุที่เป็นไปได้	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
1.พนักงานจัดรถขนส่งจากประสบการณ์และความเคยชิน	ไม่มีวิธีปฏิบัติงานที่แน่นอน	ล่าช้า มีการจัดเที่ยวรถขนส่งมากกว่าที่ควรจะเป็น	9	- พนักงานจัดรถขนส่งตามความจำความเคยชิน และความสามารถที่แตกต่างกัน	8	ไม่มีการควบคุม	8	576
2. เงื่อนไขการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีความแตกต่างกัน	ไม่มีการจัดกลุ่มลูกค้าตามเงื่อนไขการรับสินค้า	ทำให้ไม่สามารถรวมเขตพื้นที่ใกล้เคียงกันไปในรถคันเดียวกันได้ต้องมีการเพิ่มเที่ยวรถ	8	- ลูกค้ามีการกำหนดวันรับสินค้าที่แตกต่างกัน - ไม่มีช่วงเวลาของการรับส่งสินค้าที่แน่นอนเป็นรอบเวลา	9	มีการควบคุม (พิจารณาเงื่อนไขของลูกค้าเป็นรายๆไปขณะจัดรถขนส่ง)	5	432
3. พนักงานจัดส่งสินค้าขาดความชำนาญเกี่ยวกับเส้นทาง	ไม่มีการระบุเส้นทางการเดินรถให้กับพนักงานขับรถจัดส่งสินค้า	ทำให้เกิดความล่าช้าและต้องมีการจ้างบริษัทขนส่งจากภายนอกที่มีความชำนาญเส้นทางมากกว่า	6	- ต้องสลับสับเปลี่ยนพนักงานขนส่งไปในแต่ละพื้นที่ เพื่อเฉลี่ยค่าขนส่งให้ใกล้เคียงกันจึงไม่มีพนักงานประจำในแต่ละพื้นที่ - ไม่มีการเลือกเส้นทางการเดินรถที่ดีที่สุดและไม่ได้มีการระบุเส้นทางการเดินรถที่แน่นอน	7	ไม่มีการควบคุม	5	210

ตารางที่ 11 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ

สาเหตุที่เกิดปัญหา	ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	S	สาเหตุที่เป็นไปได้	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
4. พนักงานจัดรถและจัดส่งสินค้ามีการลางาน ขาดงาน หรือเลือกงาน	-พนักงานไม่เพียงพอ -รถขนส่งไม่เพียงพอ	- รอผู้อื่นทำแทน -ทำให้ต้องมีการจ้างรถขนส่งจากภายนอกเพิ่มมากขึ้น	8	- พนักงานลาโดยไม่แจ้งล่วงหน้า - พนักงานเลือกงานเพราะบางพื้นที่จัดส่งยากหรือได้ค่าขนส่งน้อย	6	มีการควบคุม (มีบทลงโทษ)	5	240
5. พนักงานจัดส่งสินค้าผิดพลาด เช่น ผิดที่ จัดส่งสินค้าไม่ครบตามจำนวน	ส่งสินค้าไม่ครบตามจำนวนคำสั่งซื้อ	ทำให้ต้องมีการจัดเที่ยวขนส่งเพิ่มขึ้น	8	- สินค้าเสียหายระหว่างการขนส่ง - การขนสินค้าขึ้นรถไม่เป็นไปตามลำดับการลงสินค้าทำให้เกิดความสับสน - พนักงานใหม่	3	มีการควบคุม (มีบทลงโทษ)	1	24
6. ระบบที่ใช้ในการทำงานมีปัญหา	ระบบ ไม่รองรับการทำงานที่มีผู้เข้ารหัสจำนวนมาก	เกิดความล่าช้าในการจัดรถขนส่งสินค้าเป็นผลทำให้ส่งสินค้าล่าช้าและต้องมีการเพิ่มเที่ยวรถหรือจ้างขนส่งจากภายนอก เพิ่มขึ้นเพื่อให้ทันตามกำหนด	3	- มีผู้การเข้ารหัสเพื่อใช้ระบบจำนวนมาก - มีการโหลดข้อมูล	2	มีการควบคุม (ฝ่าย IT แก้ไข)	1	6

ตารางที่ 11 (ต่อ) ผลการวิเคราะห์ผลกระทบอันเนื่องมาจากความผิดพลาดในกระบวนการ

สาเหตุที่เกิดปัญหา	ข้อบกพร่องที่เกิดขึ้น	ผลกระทบที่อาจเกิดขึ้น	S	สาเหตุที่เป็นไปได้	O	การควบคุมในปัจจุบัน	D	RPN
7. จำนวนรถไม่เพียงพอ	ไม่สามารถจัดการรอบรถขนส่งที่แน่นอนได้	ต้องมีการจ้างขนส่งจากภายนอกเพิ่มเติม	6	- ไม่มีการจัดตารางการวิ่งรถขนส่งที่ชัดเจน - ไม่ทราบและไม่สามารถกำหนดเวลากลับของรถมายังโรงงานที่ชัดเจน - จำนวนรถน้อยเกินไป	5	มีการควบคุม (โทรตามรถขนส่งเพื่อเตรียมจัดรถในรอบต่อไป)	5	150
8.ไม่มีวิธีการจัดรถขนส่งที่เป็นแบบแผนที่แน่นอนเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด	ไม่มีวิธีปฏิบัติงานที่แน่นอน	จัดเที่ยวรถขนส่งมากกว่าที่ควรจะเป็น	9	-พนักงานจัดรถขนส่งตามความจำ ความเคยชิน และความสามารถที่แตกต่างกัน -ไม่มีโปรแกรมช่วยตัดสินใจเลือกเส้นทางที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุดหรือประเมินค่าขนส่งล่วงหน้าได้	9	ไม่มีการควบคุม	8	648
9. ราคาน้ำมัน/เชื้อเพลิงปรับราคาสูงขึ้น	รถร่วม บริษัทขนส่งขึ้นราคาค่าขนส่ง	ค่าขนส่งสูงขึ้น	10	ราคาน้ำมันในตลาดโลกสูงขึ้น	9	ไม่มีการควบคุม	4	360
10. มีสินค้าไม่ครบตามจำนวนตามคำสั่งซื้อ	ข้อมูลในระบบไม่อัพเดต	- จัดส่งสินค้าให้ลูกค้าล่าช้าเนื่องจากต้องรอให้สินค้าครบตามจำนวนจึงจัดส่งได้ - เพิ่มเที่ยวรถขนส่ง	6	- จำนวนสินค้าในระบบไม่ตรงกับที่มีจริง - เปลี่ยนแผนผลิตทำให้คาดการณ์ปริมาณสินค้าผิดพลาด - ผลิตไม่ทันเนื่องจากมียอดจำหน่ายสูง	5	มีการควบคุม (ตรวจสอบจากข้อมูลในระบบและรายงานจากคลังสินค้า)	1	30

ตารางที่ 12 แสดงอันดับค่า RPN ที่ได้ของแต่ละสาเหตุของปัญหาจากการวิเคราะห์ตามลำดับ

อันดับที่	สาเหตุที่เกิดปัญหา	RPN
1	ไม่มีวิธีการจัดรถขนส่งที่เป็นแบบแผนที่แน่นอนเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด	648
2	พนักงานจัดรถขนส่งจากประสบการณ์และความเคยชิน	576
3	เงื่อนไขการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีความแตกต่างกัน	432
4	ราคาน้ำมัน/เชื้อเพลิงปรับราคาสูงขึ้น	360
5	พนักงานจัดรถและจัดส่งสินค้ามีการลางาน ขาดงาน หรือเลือกงาน	240
6	พนักงานจัดส่งสินค้าขาดความชำนาญเกี่ยวกับเส้นทาง	210
7	จำนวนรถไม่เพียงพอ	150
8	มีสินค้าไม่ครบตามจำนวนตามคำสั่งซื้อ	30
9	พนักงานจัดส่งสินค้าผิดที่ จัดส่งสินค้าไม่ครบตามจำนวน	24
10	ระบบที่ใช้ในการทำงานมีปัญหา	6

จากการวิเคราะห์หาสาเหตุของต้นทุนค่าขนส่งสูงข้างต้น พบสาเหตุใน 3 ลำดับแรก ดังนี้ (1) ไม่มีวิธีการจัดรถขนส่งที่เป็นแบบแผนที่แน่นอนเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด (2) พนักงานจัดรถขนส่งจากประสบการณ์และความเคยชิน และ (3) เงื่อนไขการรับสินค้าของลูกค้าแต่ละรายมีความแตกต่างกัน ซึ่งสาเหตุโดยส่วนใหญ่เกิดจากคนและวิธีการทำงานซึ่งเป็นปัจจัยภายใน (Internal Factor) ที่สามารถควบคุมได้ จากการสำรวจข้อมูลและวิเคราะห์ดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา เป็นการจัดรถขนส่งสินค้าโดยใช้ประสบการณ์และความเคยชินของพนักงานแต่ละคนซึ่งไม่มีวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นแบบแผนแน่นอน โดยพนักงานจะพิจารณาจากความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละประเภทเป็นหลัก และไม่มีการเลือกใช้รถหรือเส้นทางในการจัดส่งสินค้า เพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำ สำหรับการคำนวณต้นทุนในการจัดส่งสินค้านั้น โรงงานกรณีศึกษาจะพิจารณาจากต้นทุนการจัดส่งสินค้าต่อกล่องตามพื้นที่ในการจัดส่งเป็นหลัก จึงทำให้โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถที่จะประเมินต้นทุนในการจัดส่งสินค้าที่แท้จริงได้ ซึ่งเป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้มีการขนส่งล่าช้าและมีต้นทุนค่าขนส่งค่อนข้างสูงโดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงจะทำการปรับปรุงวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าโดยมีวัตถุประสงค์ให้มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำภายใต้เงื่อนไขต่างๆที่กำหนด เพื่อให้มีวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่เป็นแบบแผนแน่นอนสามารถประเมินและลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

2. รูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์สำหรับการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

หัวข้อนี้เป็นการสร้างรูปแบบปัญหาในลักษณะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบปัญหาของโรงงานกรณีศึกษาเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Demand Delivery: VRPTWSD) ปรับปรุงจาก Haugland และคณะ (2004) ที่มีลักษณะการขนส่งแบบเต็มคัน (Full truck load) มีคลังสินค้าเดียว โดยรถขนส่งจะเริ่มต้นและกลับมายังคลังสินค้าเสมอ และมีรถบรรทุกสินค้าหลายขนาด ดังนั้น จึงมีการพิจารณาเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle capacity constrain) เงื่อนไขด้านการแบ่งสินค้า (Split Demand Delivery) และเงื่อนไขด้านเวลาในการจัดส่งสินค้า (Time Windows constrain) การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ จึงประกอบด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ และฟังก์ชั่นเงื่อนไขที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว ซึ่งมีสมมติฐานสำหรับการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์คือ สามารถใช้สมการทางคณิตศาสตร์เป็นแนวทางในปรับปรุงการจัดส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งจะแสดงข้อมูลพื้นฐานสำหรับปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้า และรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา แสดงดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลพื้นฐานสำหรับปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

2.1.1 ข้อมูลด้านลูกค้า (Customer: *i*)

งานวิจัยนี้จะพิจารณาเฉพาะลูกค้าในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือเท่านั้น โดยจำเป็นจะต้องมีข้อมูลสำหรับการจัดรถขนส่งสินค้า ดังนี้

(1) รายการคำสั่งซื้อสินค้า

รายการคำสั่งซื้อสินค้า ประกอบด้วย ชนิดและปริมาณของสินค้า เพื่อใช้พิจารณาน้ำหนักความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายจากปริมาณของสินค้าแต่ละชนิด สำหรับการจัดรถขนส่งสินค้าให้เป็นไปตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกและลูกค้าทุกรายจะต้องได้รับสินค้าครบตามจำนวน

(2) สถานที่จัดส่งสินค้า

สถานที่จัดส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละราย ในที่นี้จะพิจารณาสถานที่ในการจัดส่งหรือจุดส่งสินค้า (Node) โดยพิจารณาตามเขตอำเภอ ตัวอย่างเช่น อำเภอปากช่อง อำเภอสูงเนิน เป็นต้น สำหรับค้นหาระยะทางและเวลาในการเดินทาง เพื่อใช้ในขั้นตอนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

(3) กรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า

กรอบเวลาในการรับสินค้าของลูกค้า คือ ช่วงเวลาในการเปิดรับสินค้าของลูกค้าแต่ละรายที่กำหนดโดยลูกค้าแต่ละรายซึ่งมีความแตกต่างกัน ตัวอย่างเช่น ลูกค้าเปิดรับสินค้าในช่วงเวลา 8.00 น. ถึง 18.00 น. เป็นต้น ดังนั้น การจัดรถขนส่งสินค้าจึงจำเป็นจะต้องมีการพิจารณาเวลาในการจัดส่งสินค้าร่วมด้วย ซึ่งจะกล่าวรายละเอียดด้านเวลาในหัวข้อถัดไป

2.1.2 ข้อมูลด้านรถขนส่งสินค้า (Vehicle: *k*)

งานวิจัยนี้ทำการจัดรถขนส่งสินค้าโดยพิจารณารถขนส่งสินค้า 4 ชนิด ประกอบด้วย 1) รถบรรทุก 4 ล้อ 2) รถบรรทุก 6 ล้อ 3) รถบรรทุก 10 ล้อ และ 4) รถบรรทุกรถเทรลเลอร์ โดยกำหนดให้รถขนส่งแต่ละประเภทจะมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าขั้นต่ำที่สุด ที่ยอมให้มีการจัดส่ง และความสามารถในการบรรทุกสูงที่สุดที่บรรทุกได้ ดังแสดงใน ตารางที่ 13

ตารางที่ 13 ประเภทและความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่ง

ประเภทรถ	**ความสามารถในการบรรทุกต่ำสุด (กิโลกรัม)**	**ความสามารถในการบรรทุกสูงสุด (กิโลกรัม)**
4 ล้อ	3,800	4,200
6 ล้อ	9,000	10,000
10 ล้อ	14,000	16,000
เทรลเลอร์	29,000	30,000

2.1.3 ต้นทุนในการขนส่งสินค้า ประกอบด้วย ต้นทุน 2 ส่วนดังนี้

2.1.3.1 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost: F_{km}) ประกอบด้วย

ก. ค่าเสื่อมราคาของรถต่อวัน คำนวณได้จาก

ค่าเสื่อมราคา = (มูลค่าสินทรัพย์ – มูลค่าซาก) ÷ อายุการใช้งาน

ข้อมูลที่เกี่ยวข้อง ประกอบด้วย ราคารถ อายุการใช้งาน อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก ค่าซาก ซึ่งมีรายละเอียดของข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณ ดังตารางที่ 14

ตารางที่ 14 ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณค่าเสื่อมราคาของรถ

รายการ	หน่วย	4 ล้อ	6 ล้อ	10 ล้อ	เทรเลอร์
1. ราคารถ	บาท/คัน	579,000	1,300,000	2,500,000	3,200,000
2. อายุการใช้งาน	ปี	5.0	8.0	10.0	10.0
3. อัตราดอกเบี้ยเงินฝาก	%	2.00%	1.00%	1.00%	1.00%
4. ค่าซากรถ	บาท	144,750	325,000	250,000	320,000
5. ค่าเสื่อมรถ	บาท/เดือน	8,203	11,240	20,833	26,667
6. เที่ยววิ่งใน 1 เดือน	เที่ยว	25	20	15	15
รวมค่าเสื่อมรถ	บาท/เดือน	8,203	11,240	20,833	26,667
รวมค่าเสื่อมรถ	บาท/วัน	328	562	1,389	1,778

ข. ค่าแรงพนักงานต่อวัน ประกอบด้วย ค่าแรงของพนักงานขับรถ 1 คน และพนักงานยกของ 1 คน โดยกำหนดค่าแรงพนักงาน เท่ากับ 300 บาทต่อคน

ค. ค่าขนถ่ายสินค้า ซึ่งเท่ากับ 1 บาทต่อกล่อง โดยรถแต่ละประเภท จะมีค่าขนถ่ายสินค้าที่แตกต่างกันตามความสามารถในการบรรทุก งานวิจัยนี้กำหนดให้มีการจัดรถขนส่งแบบเต็มคันเสมอ (Full truck load) รถขนส่งแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุก ดังนี้ รถบรรทุก 4 ล้อ 250 กล่อง, รถบรรทุก 6 ล้อ 600 กล่อง, รถบรรทุก 10 ล้อ 1,100 กล่อง และรถเทรลเลอร์ 2,200 กล่อง ดังนั้น รถแต่ละประเภทจะมีต้นทุนคงที่ ดังแสดงดังตารางที่ 15

ตารางที่ 15 ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost: F_{km}) ของรถแต่ละประเภท

ประเภทรถ (k)	ต้นทุนคงที่ (Fixed cost: F_{km})			
	ค่าเสื่อมราคา	ค่าแรงพนักงาน	ค่าขนถ่ายสินค้า	รวม (บาท)
รถ 4 ล้อ	328	600	250	1,178
รถ 6 ล้อ	562	600	600	1,762
รถ 10 ล้อ	1,389	600	1,100	3,089
รถเทรลเลอร์	2,017	600	2,200	4,817

2.1.3.2 ต้นทุนผันแปร (Traveling Cost: T_{ijkm})

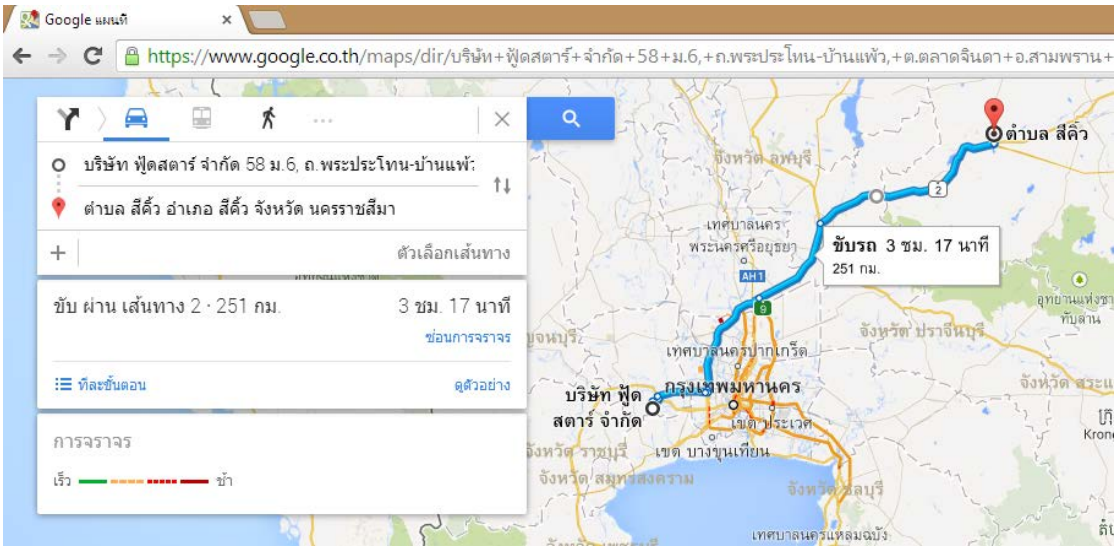
ต้นทุนผันแปร (T_{ijkm}) คำนวณจากค่าน้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ในการขนส่ง ซึ่งแปรผันตามระยะทางในการขนส่งโดยคำนวณที่ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง เท่ากับ 30 บาทต่อลิตร ทั้งนี้พิจารณารวมถึงค่าบำรุงรักษาของรถขนส่งแต่ละประเภทด้วย ซึ่งรถขนส่งแต่ละประเภทจะมีอัตราสิ้นเปลืองน้ำมันเชื้อเพลิงและค่าบำรุงรักษาที่แตกต่างกัน ซึ่งจะแปรผันตามผลรวมระยะทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่ง ดังนั้น รถขนส่งแต่ละประเภท จะมีสมการในการคำนวณต้นทุนผันแปร ดังแสดงในตารางที่ 16 โดยที่ T_{ijkm} คือ ต้นทุนผันแปรที่เกิดขึ้นเมื่อมีการใช้รถขนส่งประเภท k คันที่ m เมื่อขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไปลูกค้า j และ d_{km} คือ $\sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} d_{ijkm}$ ผลรวมของระยะทางการขนส่งสินค้าของรถขนส่งประเภท k คันที่ m เมื่อขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไปลูกค้า j

ตารางที่ 16 ต้นทุนผันแปร (Traveling Cost: T_{ijkm})

ประเภทรถ(k)	ต้นทุนผันแปร (Traveling Cost: T_{ijkm})
รถ 4 ล้อ	$T_{ijkm} = (4.53)\, d_{km}$
รถ 6 ล้อ	$T_{ijkm} = (7)\, d_{km}$
รถ 10 ล้อ	$T_{ijkm} = (10)\, d_{km}$
รถเทรลเลอร์	$T_{ijkm} = (12.3)\, d_{km}$

2.1.4 ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ของเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้า

งานวิจัยนี้ พิจารณาเฉพาะลูกค้าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าก่อนการจัดรถขนส่งสินค้าตามเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้าหลักของโรงงานงานกรณีศึกษา ซึ่งจะพิจารณาระยะทาง (Distance: d_{ij}) และเวลา (Travel time: t_{ij}) ในการเดินทางต่อจุดอำเภอ (Node) เพื่อใช้ในการคำนวณหาต้นทุนผันแปร (Traveling cost) ซึ่งแปรผันตามระยะทาง โดยระยะทางและเวลาในการเดินทาง จะได้จากการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากโปรแกรม Google map ดังภาพที่ 19 และกำหนดให้ระยะทางขาไปเท่ากับขากลับเพื่อสร้างเป็นตารางเมทริกซ์ ของระยะทางและเวลาสำหรับการหาผลเฉลย



ภาพที่ 19 ตัวอย่างการค้นหาเส้นทางจากโปรแกรม Google map

2.1.5 ข้อมูลด้านเวลา

ข้อมูลด้านเวลาที่ใช้พิจารณาในการดำเนินการจัดส่งสินค้า เพื่อให้จัดรถขนส่งสินค้าอยู่ในกรอบของเวลาที่ลูกค้ากำหนด กำหนดให้การค้นหาคำตอบใช้เวลาในหน่วย นาที ประกอบด้วย

2.1.5.1 เวลาที่รถขนส่งออกจากลูกค้า i (Departure time: D_i) แต่ละราย เมื่อ i = 1 คือ โรงงาน กำหนดให้รถออกจากโรงงานเวลา 9.00 น. เสมอ กล่าวคือ เวลา 9.00 น. เท่ากับนาทีที่ 0 ดังนั้นที่ i = 1 คือโรงงาน จะมี D_1 เท่ากับ 0 นอกจากนี้ ในลูกค้าจุดอื่นๆ จะได้เวลาที่รถขนส่งออกจากลูกค้าแต่ละรายจากการค้นหาคำตอบ โดยเวลาที่รถขนส่งออกจากลูกค้าแต่ละราย จะเท่ากับ

$$D_j = D_i + t_{ij} + S_j + W_j \quad \text{เมื่อ } i,j = 2, 3,4,5,\ldots,n \text{ และ } i \neq j \qquad (24)$$

โดยที่ D_i คือ เวลาที่รถขนส่งออกจากลูกค้า *i*

t_{ij} คือ เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า *i* ไป *j*

S_j คือ เวลาให้บริการที่ลูกค้า *j*

W_j คือ เวลารอคอยที่ลูกค้า *j*

2.1.5.2 เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า *i* ได้เร็วที่สุด (Earliest arrival time: E_i) กำหนดเป็นเวลาเริ่มต้นในการรับสินค้า เป็นการสร้างกรอบเวลาร่วมกับเวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้าได้ช้าที่สุด ซึ่งจะถูกกำหนดโดยลูกค้า เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขของกรอบเวลาในการค้นหาผลเฉลยให้อยู่ในช่วงเปิดรับสินค้าของลูกค้า

2.1.5.3 เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า *i* ได้ช้าที่สุด (Latest arrival time: L_i) กำหนดเป็นเวลาสิ้นสุดในการรับสินค้า เป็นการสร้างกรอบเวลาร่วมกับเวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้าได้เร็วที่สุด ซึ่งจะถูกกำหนดโดยลูกค้า เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขของกรอบในการค้นหาผลเฉลยให้อยู่ในช่วงเปิดรับสินค้าของลูกค้า

2.1.5.4 เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า *i* (Arrival time: A_i) แต่ละรายซึ่งจะได้จากการค้นหาผลเฉลยสำหรับใช้ตรวจสอบคำตอบให้เป็นไปตามเงื่อนไขของกรอบเวลา โดยกำหนดให้ ที่ *i* = 1 คือโรงงาน จะมี A_1 เท่ากับ 0 ดังนั้น เวลาที่รถขนส่งมาถึงลูกค้า *i* แต่ละราย จะเท่ากับ

$$A_j = D_i + t_{ij} \quad \text{เมื่อ } i,j = 2, 3,4,5,\ldots,n \text{ และ } i \neq j \qquad (25)$$

2.1.5.5 เวลาในการให้บริการลูกค้า *i* (Service time: S_i) เป็นเวลาที่รถขนส่งต้องจอดให้บริการแก่ลูกค้าแต่ละราย กำหนดให้เวลาในการให้บริการลูกค้า เท่ากับสองเท่าของเวลาขนถ่ายสินค้า ตามความสามารถในการบรรทุกสินค้า (กล่อง) ของรถแต่ละประเภท โดยเวลาจะแปรผันตามจำนวนสินค้า (กล่อง) เมื่อเวลาขนถ่ายสินค้าของรถแต่ละประเภท เป็นดังนี้ รถบรรทุก 4 ล้อ เท่ากับ 30 นาที/250 กล่อง, รถบรรทุก 6 ล้อ เท่ากับ 60 นาที/600 กล่อง, รถบรรทุก 10 ล้อ เท่ากับ 90 นาที/1,100 กล่อง, รถเทรลเลอร์ เท่ากับ 180 นาที/2,200 กล่อง ตามลำดับ จากความสามารถในการ

บรรทุก ของรถแต่ละประเภท แสดงให้เห็นว่า สินค้า 1 กล่องมีน้ำหนักเฉลี่ย 15.38 กิโลกรัม เมื่อเวลาในการให้บริการสินค้าของรถแต่ละคัน เท่ากับ 60, 120, 180 และ 360 ดังนั้น จะได้เวลาเฉลี่ยในการให้บริการลูกค้า เท่ากับ 0.19 นาที หรือ 11.4 วินาที/กล่อง ยกเว้น เมื่อ *i* เท่ากับ 1 ซึ่งหมายถึงจุดที่เป็นโรงงานจะไม่นำเวลาในการให้บริการมาคำนวณ หรือเวลาให้บริการที่ *i* เท่ากับ 1 จะเท่ากับ 0 ดังนั้น S_i จะเท่ากับ

$$S_i = \left[\frac{q_i}{15.38} \times 11.4\right] \div 60 \quad (26)$$

โดยที่ q_i คือ ความต้องการสินค้าของลูกค้า *i* (หน่วย กิโลกรัม)

2.1.5.6 เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า *i* ไปยังลูกค้า *j* (Traveling time: t_{ij}) คือ เวลาที่ได้จากการค้นหาเส้นทางที่สั้นที่สุดจากโปรแกรม Google map ตามเขตพื้นที่อำเภอ *i* ไปอำเภอ *j* และกำหนดให้ระยะเวลาเดินทางขาไปเท่ากับขากลับเพื่อสร้างเป็นตารางเวลา (Travel time) สำหรับการหาผลเฉลย และถ้า *i* เท่ากับ *j* เวลาเดินทางระหว่างลูกค้า *i* ไปยังลูกค้า *j* (t_{ij}) จะเท่ากับ 0

2.1.5.7 เวลารอคอยที่ลูกค้า *i* (Waiting time: W_i) คือ เวลาที่เกิดขึ้นในกรณีที่รถขนส่งสินค้าไปถึงลูกค้าก่อนเวลาที่ลูกค้ากำหนด โดยกำหนดให้ เวลารอคอยจะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับ 30 นาที เพื่อใช้เป็นเงื่อนไขของกรอบในการค้นหาผลเฉลยให้อยู่ในช่วงเปิดรับสินค้าและสิ้นสุดของลูกค้า โดยเวลารอคอยที่ลูกค้า *i* จะคำนวณได้จาก

$$W_i = E_i - A_i \quad (27)$$

2.2. การใช้สัญลักษณ์ (Notation) สำหรับปัญหาการจัดส่งสินค้าของกรณีศึกษา

การใช้สัญลักษณ์ (Notation) และการกำหนดค่าต่างๆ สำหรับการสร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ และการใช้สัญลักษณ์ในขั้นตอนวิธีการหาผลเฉลยของปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาของกรณีศึกษา สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.2.1 ดัชนี

i ลูกค้าคนที่ i โดยที่ $i = 1,2,3,...,N$

j ลูกค้าคนที่ j โดยที่ $j = 1,2,3,...,N$

m รถขนส่งคันที่ m โดยที่ $m = 1,2,3,...,M$

k ประเภทของรถขนส่งสินค้าที่แตกต่างกันกัน โดยที่ $k = 1,2,3,4$

N จำนวนสูงสุดของลูกค้า i

M จำนวนสูงสุดของรถขนส่ง k

2.2.2 พารามิเตอร์ (Parameter)

q_i ความต้องการสินค้าของลูกค้า i (หน่วย กิโลกรัม)

F_{km} ต้นทุนคงที่ (Fix cost) เมื่อรถขนส่งประเภท k คันที่ m ถูกใช้ในการขนส่งสินค้า

T_{ijkm} ต้นทุนผันแปร (Travelling cost) เมื่อรถขนส่งประเภท k คันที่ m ถูกใช้ในการขนส่งสินค้าจากลูกค้า i ไป j

Z ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ารวม เมื่อมีการใช้รถประเภท k คันที่ m ขนส่งสินค้า โดยที่ $Z = F_{km} + T_{ijkm}$

$Qmax_k$ ความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งประเภท k

$Qmin_k$ ความสามารถในการบรรทุกขั้นต่ำที่สุดที่ยอมให้มีการขนส่งโดยรถขนส่งประเภท k

D_i เวลาที่ออกจากลูกค้า i (Departure time)

E_i เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้เร็วที่สุด (Earliest arrival time)

L_i เวลาที่อนุญาตให้รถขนส่งมาถึงลูกค้า i ได้ช้าที่สุด (Latest arrival time)

A_i เวลาที่รถขนส่ง มาถึงลูกค้า i (Arrival time)

S_i เวลาให้บริการ (Service time) ที่ลูกค้า *i*

t_{ij} เวลาเดินทาง (Traveling time) จากลูกค้า *i* ไปยังลูกค้า *j*

W_i เวลารอคอยที่ลูกค้า *i* (Waiting time)

2.3 ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variable)

U_{km} { 1 ถ้ารถขนส่งประเภท *k* คันที่ *m* ถูกใช้ในการขนส่งสินค้า
0 กรณีอื่นๆ

X_{ijkm} { 1 ถ้ารถขนส่งประเภท *k* คันที่ *m* ถูกใช้ในการขนส่งสินค้าจากลูกค้า *i* ไป *j*
0 กรณีอื่นๆ

Y_{ikm} สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้า i ที่แบ่งสินค้าโดยรถขนส่ง k คันที่ *m*

2.4 ฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$Z = \min \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} F_{km} U_{km} + \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \sum_{i=1}^{N} \sum_{\substack{j=1 \\ i \neq j}}^{N} T_{ijkm} X_{ijkm} \quad (28)$$

2.5 ฟังก์ชั่นเงื่อนไข (Constraint Function)

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \sum_{j=2}^{N} X_{ijkm} = M \qquad \text{for } i = 1 \quad (29)$$

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \sum_{j=2, \neq i}^{N} X_{ijkm} = 1 \qquad \text{for } i = 2,3,\ldots,N \quad (30)$$

$$\sum_{i=1}^{N} X_{ijkm} - \sum_{j=1}^{N} X_{ijkm} = 0 \qquad \text{for } \forall\, i,j \in \{1,\ldots N\}, M \in \{1,\ldots M\} \quad (31)$$

$$u_i - u_j + N x_{ijkm} \leq N - 1 \qquad \text{for } i = 2,3,\ldots,N,\ j = 2,3,\ldots,N,\ i \neq j \quad (32)$$

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \sum_{j=2, \neq i}^{N} X_{ijkm} \geq 1 \qquad \text{for } i = 2,3,\ldots,N \quad (33)$$

$$Y_{ikm} \leq \sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} \sum_{j=2, \neq i}^{N} X_{ijkm} \quad \text{for } i = 2,3,\ldots,N \quad (34)$$

$$\sum_{m=1}^{M} \sum_{k=1}^{4} Y_{ikm} = q_i \qquad \textit{for } i = 2,3,\ldots,N \qquad (35)$$

$$Y_{ikm} \geq 0 \qquad \textit{for } \forall M \in \{1, \ldots M\} \qquad (36)$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i X_{ijkm} \leq Qmax_k \qquad \textit{for } \forall M \in \{1, \ldots M\} \qquad (37)$$

$$\sum_{i=1}^{N} q_i X_{ijkm} \geq Qmin_k \qquad \textit{for } \forall M \in \{1, \ldots M\} \qquad (38)$$

$$t_1 = 0 \qquad \textit{for } i = 1 = \textit{Factory} \qquad (39)$$

$$D_1 = 0 \qquad \textit{for } i = 1 = \textit{Factory} \qquad (40)$$

$$E_j \leq (D_i + t_{ij}) X_{ijkm} \leq L_i \qquad \textit{for } \forall M \in \{1, \ldots M\} \qquad (41)$$

$$W_i \leq 30 \qquad \textit{for } \forall M \in \{1, \ldots M\} \qquad (42)$$

เงื่อนไขในสมการที่ (29) ประกันว่าจำนวนเส้นทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดมีจำนวนเท่ากับจำนวนรถขนส่งสินค้าที่ถูกใช้ในการส่งสินค้า เงื่อนไขในสมการที่ (30) - (31) เพื่อแสดงว่ามีจำนวนรถขนส่ง 1 คันเท่านั้นที่รับสินค้าจากโรงงานเพื่อส่งสินค้าและเดินทางกลับมายังโรงงาน เมื่อให้บริการลูกค้าในเส้นทางจนครบ (32) เป็นเงื่อนไขป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Sub-tour elimination constraint) ในการหาคำตอบ

เงื่อนไขสมการที่ (33) - (36) เป็นเงื่อนไขกรณีแบ่งส่งสินค้าได้ โดยสมการที่ (33) แสดงว่า ลูกค้าแต่ละราย สามารถรับสินค้าจากรถขนส่งได้ อย่างน้อย 1 คัน เงื่อนไขในสมการที่สมการที่ (34) แสดงให้เห็นว่าความต้องการของลูกค้าแต่ละรายสามารถรับบริการสินค้าจากรถขนส่งได้อย่างน้อย 1 ครั้ง จากรถขนส่งอย่างน้อย 1 คัน สมการที่ (35) กรณีแบ่งส่งสินค้า รับประกันว่าความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายได้รับบริการตามจำนวนที่ต้องการ และ สมการที่ (36) สัดส่วนความต้องการสินค้าของลูกค้าจะต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

เงื่อนไขในสมการที่ (37) และ (38) เป็นเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งสินค้า (Vehicle capacity constrain) โดยสมการที่ (37) กำหนดว่าผลรวมของน้ำหนักความต้องการสินค้าของลูกค้า i และผลรวมของสัดส่วนความต้องการสินค้าที่ถูกส่งโดยรถขนส่งประเภท k คันที่ m จะต้องน้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของรถขนส่งประเภท k เงื่อนไขในสมการที่ (38) ผลรวมของน้ำหนักความต้องการสินค้าของลูกค้า i และผลรวมของสัดส่วนความต้องการสินค้าที่ถูกส่งโดยรถขนส่งประเภท k คันที่ m จะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกขั้นต่ำสุดที่ยอมให้มีการขนส่งของรถขนส่ง k

เงื่อนไขในสมการที่ (39) - (42) เป็นเงื่อนไขด้านเวลาในการจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้า (Time windows constrain) โดยสมการที่ (39) กำหนดว่าเวลาเดินทางที่จุดเริ่มต้น (i = 1) คือ โรงงานจะเท่ากับ 0 เสมอ สมการที่ (40) เวลาที่รถขนส่งสินค้าออกจากโรงงานจะเท่ากับ 0 เสมอ สมการที่ (41) กำหนดว่าเวลาที่ไปถึงลูกค้า i ต้องอยู่ในกรอบเวลาที่น้อยที่สุดที่อนุญาตให้ไปถึงลูกค้าและเวลามากที่สุดที่อนุญาตให้ไปถึงลูกค้า โดยสมการที่ (42) กำหนดว่า ยอมให้รถขนส่งสินค้าสามารถไปถึงลูกค้าก่อนเวลาน้อยที่สุดที่อนุญาตให้ไปถึงลูกค้าได้ไม่เกิน 30 นาที (ตรวจสอบจากเวลารอคอยที่เกิดขึ้นในกรณีที่ไปถึงลูกค้าก่อนเวลาที่กำหนด)

3. การปรับปรุงวิธีการจัดรถและเส้นทางรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ (Heuristics)

การปรับปรุงวิธีการจัดรถและเส้นทางรถขนส่งสินค้า จะทำการทดสอบตัวอย่างคำสั่งซื้อในรูปแบบต่างๆ โดยการสร้างฐานข้อมูลไว้ในโปรแกรมไมโครซอฟต์แอคเซส (Microsoft Access 2013) และไมโครซอฟต์เอกเซล (Microsoft Excel 2010 Spreadsheet) ส่วนระบบการประมวลผลใช้ภาษา C# บนโปรแกรมวิชวลสตูดิโอ (Visual Studio 2010) ทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™i3 (1.80GHz, RAM 4 GB) โดยมีการทดสอบและแสดงผลการจัดรถขนส่งและเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังนี้

3.1 การทดสอบการใช้งานการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุง

ในหัวข้อนี้ใช้รายการคำสั่งซื้อสินค้า 3 ตัวอย่าง ในเขตพื้นที่การจัดส่งกลุ่มเดียวกันตามการจัดกลุ่มลูกค้าของโรงงานกรณีศึกษา โดยแต่ละตัวอย่างจะประกอบด้วยลูกค้า 10 ถึง 14 ราย มีการกำหนดความต้องการสินค้าในหน่วย กิโลกรัม กำหนดพิกัดลูกค้าตามเขตอำเภอในการจัดส่งและลูกค้าแต่ละรายมีการกำหนดกรอบเวลาในกับจัดส่งสินค้า โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 17

ตารางที่ 17 รายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง ที่ใช้ทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุง

ตัวอย่าง	ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	1	สีคิ้ว	2,500	6	18
	2	สีคิ้ว	2,500	8	18
	3	สูงเนิน	3,500	9	16
	4	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	5	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	6	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	7	พิมาย	1,500	8	21
	8	พิมาย	4,000	8	19
	9	ชุมพวง	3,500	8	19
	10	ชุมพวง	1,500	13	20
รวม	10		25,000		
2	1	ปากช่อง	2,921	8	16
	2	ปากช่อง	1,500	8	16
	3	ปากช่อง	1,500	8	16
	4	สูงเนิน	4,200	9	16
	5	เทพสถิตย์	5,380	9	23
	6	บำเหน็จณรงค์	3,500	8	18
	7	จัตุรัส	2,300	9	24
	8	จัตุรัส	2,500	9	21
	9	จัตุรัส	500	9	21
	10	จัตุรัส	500	9	21
	11	จัตุรัส	500	9	24
	12	มหาชนะชัย	2,800	8	18
รวม	12		28,101		

ตารางที่ 17(ต่อ) รายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง ที่ใช้ทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุง

ตัวอย่าง	ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
3	1	สีคิ้ว	500	7	18
	2	สีคิ้ว	1,300	9	18
	3	สีคิ้ว	1,800	9	18
	4	สีคิ้ว	2,100	9	18
	5	สีคิ้ว	2,500	9	18
	6	ปากช่อง	1,450	9	19
	7	เมือง นครราชสีมา	4,000	9	20
	8	เมือง นครราชสีมา	3,500	9	19
	9	เทพสถิตย์	5,000	8	19
	10	เทพสถิตย์	1,630	8	19
	11	จัตุรัส	2,000	8	20
	12	จัตุรัส	2,120	9	19
	13	บำเหน็จณรงค์	2,200	8	21
	14	บำเหน็จณรงค์	2,300	9	20
รวม	14		32,400		

3.1.1 ผลการเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งและการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

(1) วิธีการของโรงงาน

การจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงาน โดยนำตัวอย่างคำสั่งซื้อเดียวกับตัวอย่างทดสอบให้พนักงานจัดรถขนส่ง โดยมีประเภทรถและให้สมมติฐานว่ามีรถทุกประเภทพร้อมใช้งาน และรถแต่ละประเภทมีขีดความสามารถในการบรรทุกที่จำกัดเช่นเดียวกันกับวิธีการที่นำเสนอ พนักงานจะจัดรถขนส่งโดยจะเลือกลูกค้าที่มีพื้นที่ใกล้กันให้อยู่ในรถคันเดียวกันจนเต็มความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งที่เลือกใช้ มีการพิจารณาความสามารถในการบรรทุกของรถแต่ละประเภทแบบยืดหยุ่น คือ ยอมให้ขนส่งสินค่าต่ำกว่าความสามารถในการบรรทุกต่ำสุดที่กำหนดได้ในกรณีที่จำเป็น และไม่ได้คำนึงถึงช่วงเวลาที่ไปถึงลูกค้า ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 18 มีรายละเอียดดังนี้

- ตัวอย่างที่ 1

มีลูกค้า 10 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 3 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ 2 คัน และ 4 ล้อ 1 คัน

ไม่มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า

- ตัวอย่างที่ 2

มีลูกค้า 12 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 3 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ 3 คัน

ไม่มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า

- ตัวอย่างที่ 3

มีลูกค้า 14 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 3 คัน ประกอบด้วย รถ 10 ล้อ 1 คัน และ รถ 6 ล้อ 2 คัน

ไม่มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า มีการเลือกใช้รถในการขนส่งสินค้าทั้งหมด 9 คัน มีรถขนส่งจำนวน 4 คันไม่เป็นไปตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งแบ่งเป็นน้ำหนักเกินขีดความสามารถในการบรรทุก 2 คัน และน้อยกว่าขีดความสามารถในการบรรทุก 2 คัน และไม่มีการพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลา

ตารางที่ 18 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการเดิมของโรงงานกรณีศึกษา

ตย.ที่	ประเภทรถ	เส้นเดิมของโรงงาน	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า(บาท/คัน)
1	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 4 → 5 → 6 → 3 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 →2,000 → 2,000 → 2,000 → 3,500 → 0	9,500.00	10,640.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9 → 10 → 2 → 1 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 3,500 → 1,500 → 2,500 → 2,500 → 0	10,000.00	11,200.00
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 7 → 8 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 →1,500 → 4,000 → 0	5,500.00	6,160.00
2	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,921 → 1,500 → 1,500 → 4,200 → 0	10,121.00	11,335.52
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 6 → 7→ 8 → 9 → 10 → 11 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 3,500 → 2,300 → 2,500 → 500 → 500 → 500 → 0	9,800.00	10,976.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน→ 5 → 12 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 5,380 → 2,800 → 0	8,180.00	9,161.60
3	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 500 → 1,300 → 1,800 → 2,100 → 2,500 → 1,450 → 0	9,650.00	10,808.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน→ 7 → 8 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,000 → 3,500 → 0	7,500.00	8,400.00
	10 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9 → 10 → 11 → 12 → 13 →14 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 →5,000 → 1,630 → 2,000 → 2,120 → 2,200 → 2,300 →0	15,250.00	17,080.00
	9		85,501.00	95,761.12

(2) วิธีการที่นำเสนอ ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 19 - 21 มีรายละเอียดดังนี้

- ตัวอย่างที่ 1

มีลูกค้า 10 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 2 คัน ประกอบด้วย รถ 10 ล้อ 1 คัน และ รถ 6 ล้อ 1 คัน

ไม่มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า

- ตัวอย่างที่ 2

มีลูกค้า 12 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 4 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ 2 คัน และ รถ 4 ล้อ 2 คัน

มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า จำนวน 1 ราย คือลูกค้ารายที่ 5

ใช้รถในการแบ่งส่งสินค้าจำนวน 3 คัน

- ตัวอย่างที่ 3

มีลูกค้า 14 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 5 คัน ประกอบด้วย รถ 10 ล้อ 1 คัน และ รถ 4 ล้อ 4 คัน

ลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า จำนวน 2 ราย คือลูกค้ารายที่ 9 และ 12

ใช้รถในการแบ่งส่งสินค้าจำนวน 3 คันต่อราย

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า มีการเลือกใช้รถในการขนส่งสินค้าทั้งหมด 11 คัน โดยผลของคำตอบที่ได้ เป็นไปตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่ง และเงื่อนไขด้านเวลาทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 19 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 1

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
1	10 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.33 → 13.04 → 14.28 → 15.59 → 16.18 → 16.42 → 17.41 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,500 → 2,500 → 3,500 → 2,000 → 2,000 → 2,000 → 1,500 → 0	16,000.00	10,667.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 8 → 9 → 10 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.44 → 15.08 → 16.01 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,000 → 1,500 → 3,500 → 0	9,000.00	7,506.20
รวม	2 คัน		25,000.00	18,173.20

ตารางที่ 20 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 2

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
2	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3→ 5* → 7 →โรงงาน เวลา: 9.00 → 11.59 → 12.35 → 12.54→ 14.52 → 16.07 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,931 → 1,500 → 1,500→ 1,779* → 2,300 → 0	10,000.00	6,869.20
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 5* → 6 → 8 → 9 → 10 → 11 →โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.59 → 14.03 → 15.12 → 15.18 → 15.24 → 15.31 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,500 → 3,500 → 500 → 500 → 500 → 2,500 → 0	10,000.00	6,748.80
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 4→ โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.43 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,200 → 0	4,200.00	3,741.98
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 12 → 5*→ โรงงาน เวลา: 9.00 → 16.49 → 22.24 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,800 → 1,101 → 0	3,901.00	6,772.55
รวม	4 คัน		28,101.00	24,132.53

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

ตารางที่ 21 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 3

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
3	10 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 9* → 13 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.33 → 12.39 → 12.55 → 13.17 → 13.43 → 14.49 → 16.47 → 18.25 → 20.36 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 →500 → 1,300 → 1,800 → 2,100 → 2,500 → 1,450 → 4,000 → 150 → 2,200→ 0	16,000.00	12,653.00
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9* → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.59 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,200 → 0	4,200.00	3,941.30

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

ตารางที่ 21(ต่อ) ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ ตัวอย่างที่ 3

ตย.ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
3(ต่อ)	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9* → 12* → 11 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.59 → 14.00 → 14.19 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 650 → 1,550 → 2,000 → 0	4,200.00	4,401.10
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 10 → 12* → 14 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.59 → 14.12 → 14.41 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,630 → 270 → 230 → 0	4,200.00	4,449.57
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 8 → 12* → โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.04 → 14.58 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 3,500 → 300 → 0	3,800.00	4,569.61
รวม	5 คัน		32,400.00	30,015.00

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

(3) วิธีการที่นำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า โดยการกำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายสามารถแบ่งสินค้าได้ 2 ส่วนเท่านั้น ได้ผลการทดลองดังตารางที่ 22-24 พบว่า มีรายละเอียดดังนี้

- ตัวอย่างที่ 1

มีลูกค้า 10 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 2 คัน ประกอบด้วย รถ 10 ล้อ 1 คัน และ รถ 6 ล้อ 1 คัน

ไม่มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า

- ตัวอย่างที่ 2

มีลูกค้า 12 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 4 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ 2 คัน และ รถ 4 ล้อ 2 คัน

มีลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า จำนวน 1 ราย คือลูกค้ารายที่ 8

ใช้รถในการแบ่งส่งสินค้าจำนวน 2 คัน

- ตัวอย่างที่ 3

มีลูกค้า 14 ราย

เลือกใช้รถขนส่ง 4 คัน ประกอบด้วย รถ 10 ล้อ 1 คัน และ รถ 6 ล้อ 1 คัน และ รถ 4 ล้อ 2 คัน

ลูกค้าที่ถูกแบ่งสินค้า จำนวน 2 ราย คือลูกค้ารายที่ 9 และ 11

ใช้รถในการแบ่งส่งสินค้าจำนวน 2 คันต่อราย

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า มีการเลือกใช้รถในการขนส่งสินค้าทั้งหมด 10 คัน โดยผลของคำตอบที่ได้ เป็นไปตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่ง และเงื่อนไขด้านเวลาที่กำหนดทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 22 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 1

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
1	10 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.33 → 13.04 → 14.28 → 15.59 → 16.18 → 16.42 → 17.41 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,500 → 2,500 → 3,500 → 2,000 → 2,000 → 2,000 → 1,500 → 0	16,000.00	10,667.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 8 → 9 → 10 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.44 → 15.08 → 16.01 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,000 → 1,500 → 3,500 → 0	9,000.00	7,506.20
รวม	2 คัน		25,000.00	18,173.20

ตารางที่ 23 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 2

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม(kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
2	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3→ 9 → 10 → 11 → 7 →โรงงาน เวลา: 9.00 → 11.59 → 12.35 → 12.54→ 14.47 → 14.53 → 15.00 → 15.06 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,931 → 1,500 → 1,500→ 500 → 500 → 500 → 2,300 → 0	9,721.00	6,683.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 6 → 8* → 5 →โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.31 → 14.40 → 15.47 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 3,500 → 1,120* → 5,380 → 0	10,000.00	6,817.40
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 12 → 8*→ โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.31 → 14.32 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,800 → 1,380 → 0	4,180.00	4,406.53
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 4→ โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.43 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,200 → 0	4,200.00	3,741.98
รวม	4 คัน		28,101.00	21,648.91

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

ตารางที่ 24 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 3

ตย. ที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า (บาท/คัน)
3	10 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → 7 → 13 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.33 → 12.39 → 12.55 → 13.17 → 13.43 → 14.49 → 16.15 → 18.27 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 →500 → 1,300 → 1,800 → 2,100 → 2,500 → 1,450 → 4,000 → 2,200→ 0	15,850.00	11,475.00
	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9* → 8 → โรงงาน เวลา: 9.00 → 13.04 → 13.58 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,380 → 3,500 → 0	7,880.00	6,886.00
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 10 → 14 → 11*→ โรงงาน เวลา: 9.00 → 12.59 → 13.49 → 14.43→ โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,360 → 2,300 → 540 → 0	4,200.00	4,405.17
	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 11* → 12 → 9* → โรงงาน เวลา: 9.00 → 11.49 → 12.07 → 13.26→ โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,460 → 2,120 → 620 → 0	4,200.00	4,401.10
รวม	4 คัน		32,400.00	27,167.27

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

จากการพิจารณาเปรียบเทียบผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ของวิธีการที่นำเสนอและวิธีการของโรงงาน พบว่า มีการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่แตกต่างกัน เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอ จะเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถจากน้ำหนักสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมด และกำหนดให้เป็นการขนส่งแบบเต็มคันเสมอ (Full truck load) ตามนโยบายของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อให้สามารถใช้รถขนส่งได้อย่างเต็มประสิทธิภาพ รวมทั้งวิธีการที่นำเสนอมีการพิจารณาเวลาในการขนส่งสินค้าด้วย จึงจำเป็นจะต้องใช้รถขนส่งในจำนวนที่มากกว่า เพื่อสามารถไปส่งสินค้าให้อยู่ในกรอบเวลาที่กำหนดทุกราย ทำให้ผลที่ได้ มีจำนวนรถขนส่งมากกว่า สำหรับวิธีการของโรงงานในปัจจุบันนั้น ไม่ได้ให้ความสำคัญกับการเลือกใช้รถ เนื่องจากการพิจารณาราคาค่าขนส่งจะแปรผันตามจำนวนสินค้า ทำให้การเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถไม่ส่งผลต่อต้นทุนการขนส่ง จากเหตุผลดังกล่าวจะเห็นได้ว่า วิธีการเดิมของโรงงานมีการจัดรถขนส่งโดยยอมให้มีรถที่บรรทุกต่ำกว่าและมากกว่าขีดความสามารถที่กำหนด ดังนั้น จากการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งที่แตกต่างกันของทั้งสองวิธี จึงเป็นผลทำให้มีเส้นทางการขนส่งที่แตกต่างกันด้วย

เมื่อเพิ่มข้อกำหนดด้านการแบ่งสินค้า ในวิธีการที่นำเสนอ โดยกำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายสามารถแบ่งสินค้าได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น กล่าวคือ ลูกค้าแต่ละรายจะมีไปส่งสินค้าไม่เกิน 2 คัน พบว่า ตัวอย่าง 1 ได้ผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งเหมือนเดิม เนื่องจากไม่เกิดกรณีการแบ่งสินค้า ตัวอย่างที่ 2 มีการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าแบบเดิม โดยมีเส้นทางหรือลำดับการจัดส่งเปลี่ยนไป ตัวอย่างที่ 3 มีเปลี่ยนแปลงการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้า โดยมีจำนวนรถขนส่งลดลง 1 คัน ทั้งนี้พบว่า วิธีการที่นำเสนอโดยการเพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้าให้ผลการจัดที่ดีและสอดคล้องกับการทำงานของโรงงานกรณีศึกษามากขึ้น ซึ่งเห็นได้จาก จำนวนการแบ่งสินค้าที่ลดลง รวมทั้งต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลงซึ่งจะกล่าวรายละเอียดในหัวข้อถัดไป

3.1.2 ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงต้นทุนค่าขนส่งสินค้าที่เกิดขึ้นจากการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิมของโรงงาน โดยวิธีการที่นำเสนอพิจารณาต้นทุนค่าขนส่งรวมจาก ต้นทุนคงที่ ซึ่งประกอบด้วย ค่าเสื่อมราคา ค่าจ้างพนักงาน ค่าขนถ่ายสินค้า และต้นทุนผันแปรซึ่งจะแปรผันตามระยะทางที่ใช้ในการขนส่งทั้งหมดของรถแต่ละคัน และวิธีการของโรงงาน ซึ่งเป็นการคำนวณค่าขนส่งวิธีการเดิมของโรงงาน จะพิจารณาค่าขนส่งจากจำนวนสินค้าต่อกล่องตามพื้นที่ในการจัดส่ง ซึ่งสินค้ามีน้ำหนักเฉลี่ยต่อกล่อง เท่ากับ 13.25 กิโลกรัม โดยในเขตพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ มีค่าขนส่งเฉลี่ย กล่องละ 14.84 บาท/กล่อง (อ้างอิงจากอัตราค่าขนส่งสินค้าของโรงงาน) จากผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมของโรงงานดังแสดงใน ตารางที่ 25

ตารางที่ 25 ต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้าจากการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการเดิมของโรงงาน วิธีการที่นำเสนอและวิธีการที่นำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ของรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่างที่	ต้นทุนรวม (บาท)		
	วิธีการเดิมของโรงงาน	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการที่นำเสนอเพิ่มเงื่อนไข Split
1	28,000.00	18,173.20	18,173.20
2	31,473.12	24,132.53	21,648.91
3	36,288.00	30,014.58	27,167.27
รวม	95,761.12	72,320.31	66,989.38

จากผลการจัดรถและเส้นทางรถขนส่งสินค้าด้านต้นทุนการขนส่งสินค้า พบว่าวิธีการเดิมของโรงงานมีต้นทุนค่าขนส่งสินค้ารวม เท่ากับ 95,761.12 บาท และวิธีการที่นำเสนอมีต้นทุนค่าขนส่งสินค้ารวม เท่ากับ 72,320.31 บาท ทั้งนี้เนื่องจากวิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าของวิธีการนำเสนอ มีคำนวณค่าขนส่งตามจริง ซึ่งแปรผันตามประเภท จำนวนรถขนส่ง และระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า และมีขั้นตอนการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าโดยพิจารณาเลือกใช้รถขนส่งที่มีต้นทุนคงที่ต่ำและใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด รวมทั้งการจัดเส้นทางการขนส่งจะมีการพิจารณาเส้นทางเพื่อให้มีระยะทางที่สั้น เป็นผลให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของ

วิธีการนำเสนอต่ำกว่าวิธีการเดิมของโรงงาน ซึ่งพิจารณาต้นทุนตามจำนวนสินค้าที่ต้องจัดส่งเพียงอย่างเดียว แสดงให้เห็นว่า ปัจจุบันโรงงานกรณีศึกษามีต้นทุนค่าขนส่งค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอ ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษาสามารถนำวิธีการนำเสนอมาใช้พิจารณาเพื่อประเมินค่าขนส่งที่จะเกิดขึ้นสำหรับปรับเปลี่ยนค่าขนส่ง หรือเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้า รวมทั้งรูปแบบอื่นๆ ที่สามารถทำให้ต้นทุนใกล้เคียงกับวิธีการนำเสนอ เช่น รถบริษัท หรือบริษัทขนส่ง เป็นต้น

เมื่อเปรียบเทียบ ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของวิธีการนำเสนอเดิม กับวิธีการนำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า ซึ่งมีค่าขนส่งเท่ากับ 66,989.38 บาท พบว่า วิธีการนำเสนอที่เพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า มีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 7.37 ทั้งนี้เนื่องจากจำนวนการแบ่งแยกสินค้าที่ลดลง ทำให้จำนวนจุดในการจัดส่งสินค้าลดลง เป็นผลให้มีระยะทางในการขนส่งลดลงเช่นกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงกับ ค่าขนส่งสินค้าที่ลดลงดังกล่าว

3.2 การทดสอบการใช้งานการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ปรับปรุงโดยการเพิ่มขนาดรายการคำสั่งซื้อ

ในหัวข้อนี้ทำการทดสอบโดยใช้รายการคำสั่งซื้อสินค้าจริงของโรงงานกรณีศึกษา ซึ่งเป็นการเพิ่มขนาดรายการคำสั่งซื้อให้มีขนาดใหญ่ขึ้นจำนวน 2 ตัวอย่างประกอบด้วย ลูกค้า 20 ราย และลูกค้า 40 ราย ในเขตพื้นที่การจัดส่งกลุ่มเดียวกันตามการจัดกลุ่มลูกค้าของโรงงานกรณีศึกษา มีการกำหนดความต้องการสินค้าในหน่วย กิโลกรัม กำหนดพิกัดลูกค้าตามเขตอำเภอในการจัดส่งและลูกค้าแต่ละรายมีการกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า (ภาคผนวก หน้า 144 – 148) ได้ผลการทดสอบและต้นทุนในการขนส่งดังนี้

3.2.1 ผลการเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งและการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

จากการทดสอบการจัดรถและเส้นทางยานพาหนะโดยใช้รายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 ราย ได้ผลการจัดรถขนส่งสินค้า ซึ่งพบว่า วิธีการที่นำเสนอ สามารถรายงานผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า มีรายละเอียดดังนี้

(1) กรณีที่มีลูกค้า 20 ราย

วิธีการที่นำเสนอเลือกใช้รถขนส่งสินค้าทั้งหมด จำนวน 5 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ ทั้ง 5 คัน มีการแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่งเกิดขึ้นทั้งหมด 4 ราย ประกอบด้วย ลูกค้า 7, 15, 17 และ 18 ใช้รถขนส่งในการแบ่งสินค้าจำนวน 2 คันทุกราย ขนส่งสินค้าทุกคันเป็นไปตามเงื่อนไขความสามารถในการบรรทุกและสามารถจัดส่งสินค้าให้อยู่ในกรอบเวลาทุกราย แสดงดังตารางที่ 26

ตารางที่ 26 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ รายการคำสั่งซื้อลูกค้า 20 ราย

คันที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนักรวม (kg)	ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท/คัน)
1	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 2 → 1 → 15* → 9 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 7,817.40 → 941.88 → 808.36 → 284.16 → 0	9,851.80	9,976.50
2	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 13 → 18* → 15* →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 6,490.15 → 912.38 → 2,597.44→ 0	10,000.00	10,225.00
3	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 5 → 8 → 7* → 18*→ โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 7,013.42 → 1,482.85 → 872.67 → 631.01 → 0	10,000.00	9,444.50
4	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 7* → 20 → 14 → 19 → 17 → 14 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 65.50 → 657.84 → 3,972.06 → 928.94 → 665.25 → 3,710.30 → 0	10,000.00	12,019.80
5	6 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 3 → 11 → 12 → 10 → 6 → 17* → 16 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,582.72 → 2,493.36 → 1,233.32 → 1,493.84 → 1,996.86 → 229.50 → 148.20 → 0	9,177.83	11,304.40
รวม	5 คัน		49,029.63	52,970.20

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

(2) กรณีที่มีลูกค้า 40 ราย

ผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยใช้รายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 40 ราย ด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอไม่สามารถรายงานผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในกรณีที่มีลูกค้า 40 ราย ได้ เนื่องจากเงื่อนไขด้านเวลาทำให้มีรถไม่เพียงพอในการจัดส่งสินค้าให้ทันเวลาและไม่สามารถจัดส่งสินค้าภายใน 1 วันได้ ดังนั้นจึงแก้ไขโดยการขยายเวลาในการจัดส่งสินค้า โดยอนุญาตให้รถขนส่งสามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ 24 ชั่วโมง และพิจารณาลำดับการจัดส่งตามกรอบเวลาเช่นเดิม ได้ผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่ง ดังนี้ เลือกใช้รถขนส่งสินค้าทั้งหมด จำนวน 9 คัน ประกอบด้วย รถเทรลเลอร์ จำนวน 1 คัน และรถ 4 ล้อ 8 คัน รถขนส่งสินค้าทุกคันเป็นไปตามเงื่อนไขความสามารถในการบรรทุกและสามารถจัดส่งสินค้าให้อยู่ในกรอบเวลาทุกราย มีการแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่งเกิดขึ้นทั้งหมด 4 ราย ประกอบด้วย ลูกค้า 17, 18, 20, และ 22 ซึ่งลูกค้า 17 ใช้รถขนส่งจำนวน 4 คัน ลูกค้า 18 ใช้รถขนส่งจำนวน 3 คัน ลูกค้า 20 ใช้รถขนส่งจำนวน 2 คัน ลูกค้า 22 ใช้รถขนส่งจำนวน 3 คัน แสดงดังตารางที่ 27

ตารางที่ 27 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ รายการคำสั่งซื้อลูกค้า 40 ราย

คันที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนัก (kg)	ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท/คัน)
1	รถเทรลเลอร์	เส้นทาง: โรงงาน → 31 → 33 → 34 → 35 → 36 → 26 → 27 → 28 → 29 → 17* → 11 → 25 → 23 → 24 → 30 → 32 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 4,520.14 → 1,756.04 → 368.58 → 4,520.14 → 4,314.30→ 1,611.43 → 2,346.65 → 741.00 → 785.10 → 318.73 → 400.81 → 720.96 → 306.60 → 1,475.21 →1,482.00 → 4,314.30 → 0	30,000.00	20,980.43
2	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 1 → 17* → 7 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,035.46 → 749.48 → 2,415.06 → 0	4,200.00	4,621.71
3	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 17* → 37 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 2,178.09 → 2,021.91 → 0	4,200.00	5,354.66
4	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 17* → 18* → 39 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,275.75 → 237.17 → 2,687.07 → 0	4,200.00	5,821.25
5	4 ล้อ	เส้นทาง โรงงาน → 2 → 18* → 3 → โรงงาน น้ำหนัก 0 → 1,709.65 → 890.85 → 1,599.50 → 0	4,200.00	4,657.04

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

ตารางที่ 27 (ต่อ) ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอ รายการคำสั่งซื้อลูกค้า 40 ราย

คันที่	ประเภทรถ	เส้นทางวิธีนำเสนอ	น้ำหนัก (kg)	ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท/คัน)
6	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 4 → 6 → 8 → 18* → 22* → 5 → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,412.78 → 492.00 → 807.84 → 542.84 → 359.74 → 580.80 → 0	4,200.00	4,794.3.00
7	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 9 → 12 → 13 → 14 → 22* → 10 →โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,099.00 → 434.66 → 598.51 → 1,329.50 → 212.68 → 525.64 → 0	4,200.00	4,828.27
8	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 15 → 19 → 22* → 20*→ 16→ โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 1,046.38 → 768.41 → 979.77 → 346.58 → 698.85 → 0	4,200.00	4,899.85
9	4 ล้อ	เส้นทาง: โรงงาน → 21 → 38 → 40 → 20* → โรงงาน น้ำหนัก: 0 → 429.30 → 820.48 → 1,098.47 → 1,076.80 → 0	3,425.14	6,694.63
รวม	9 คัน		62,825.00	62,652.14

หมายเหตุ * คือ ลูกค้าที่ถูกแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่ง

จากผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้ รายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย ด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยมีการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าและการจัดเส้นทางรถขนส่งแต่ละคันภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดได้ ทั้งนี้วิธีการที่นำเสนออาจมีการเลือกลำดับในการจัดส่งหรือ เลือกใช้เส้นทางที่ไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุด ทำให้มีระยะทางและจำนวนรถขนส่งมาก เนื่องจากวิธีที่นำเสนอมีการพิจารณาเงื่อนไขด้านกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า ในการเลือกลำดับลูกค้าสำหรับการจัดส่งสินค้าเป็นสำคัญ รวมทั้งมีการยินยอมให้มีการเพิ่มรถขนส่งสินค้าได้ในกรณีที่มีลูกค้าที่ไม่สามารถจัดรถขนส่งได้ตามปกติ เพื่อให้รถขนส่งทุกคันไปถึงลูกค้าภายในกรอบเวลาที่กำหนด

เมื่อมีจำนวนลูกค้ามากขึ้นทำให้ไม่สามารถเดินทางเพื่อจัดส่งสินค้าให้กับลูกค้าภายใน 1 วันได้ (ในลูกค้าที่มีระยะทางไกลหรือมีระยะห่างระหว่างจุดมาก) จึงเกิดกรณีที่ไม่สามารถจัดส่งได้ให้กับลูกค้าได้ จำเป็นต้องใช้รถขนส่งจำนวนมากไป และเนื่องจากงานวิจัยนี้ ไม่ได้พิจารณาเวลาพักค้างคืนของรถขนส่งสินค้า ดังนั้น จึงขยายกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าของลูกค้าที่ต้องใช้เวลาเดินทางมากให้สามารถจัดส่งสินค้าได้ตลอด 24 ชั่วโมง (โดยยังใช้กรอบเวลาเดิมในการพิจารณาเส้นทางเริ่มต้นและสิ้นสุดเบื้องต้น) เพื่อความสะดวกในการจัดเส้นทางให้เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนดและวิธีการที่นำเสนอได้ นอกจากนี้ ยังพบว่า มีจำนวนลูกค้าที่มีการแบ่งสินค้าสูง เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอมีการกระจายความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละรายไปยังรถขนส่งแต่ละคันเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการใช้งานรถขนส่งสูงสุดตามเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละประเภท (Vehicle capacity constrain)

ดังนั้น จึงแสดงให้เห็นว่า เมื่อมีลูกค้าเพิ่มขึ้นประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบจะลดลง ซึ่งจะเห็นได้จากการเลือกใช้รถที่มีความสามารถในการบรรทุกต่ำจำนวนหลายคัน การใช้เส้นทางที่ไม่ใช่เส้นทางที่สั้นที่สุด และมีจำนวนลูกค้าที่มีการแบ่งความต้องการสินค้าในการจัดส่งมากขึ้น ซึ่งส่งผลกระทบต่อต้นทุนค่าขนส่งสินค้าโดยตรง ทำให้ต้นทุนที่ได้ค่อนข้างสูงเมื่อเปรียบเทียบกับการจัดรถขนส่งสินค้าในกรณีที่มีลูกค้าน้อยราย อย่างไรก็ตามโรงงานกรณีศึกษาจะ มีรายการคำสั่งซื้อที่ต้องจัดรถขนส่งสินค้ามีจำนวนลูกค้าประมาณ 10-15 รายเท่านั้น จึงสามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้ในการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาได้

3.2.2 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

จากผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยใช้รายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย ด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าเปรียบเทียบกับวิธีการเดิมของโรงงาน ดังแสดงใน ตารางที่ 28

ตารางที่ 28 ต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้าจากการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางโดยวิธีการที่นำเสนอและวิธีการเดิมของโรงงาน ของรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

ตัวอย่างที่	ต้นทุนรวม (บาท)	
	วิธีการที่นำเสนอ	วิธีการเดิมของโรงงาน
20	52,970.20	54,913.18
40	62,652.14	70,364.16

ต้นทุนการขนส่งสินค้าจากผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย ด้วยวิธีการที่นำเสนอ มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าเท่ากับ 52,970.2 และ 62,652.14 บาท ตามลำดับ เมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งสินค้าที่จัดรถขนส่งด้วยวิธีการเดิมของโรงงาน พบว่าตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย มีต้นทุนในการขนส่งสินค้า เท่ากับ 54,913.18 และ 70,364.16 บาท ตามลำดับ ซึ่งแตกต่างจากวิธีการที่นำเสนอที่พิจารณาค่าขนส่งตามจริง โดยต้นทุนค่าขนส่งของวิธีการที่นำเสนอ จะแปรผันตามประเภท จำนวนรถขนส่ง และระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ทำให้วิธีการที่นำเสนอ มีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าแตกต่างจากวิธีการเดิมของโรงงาน

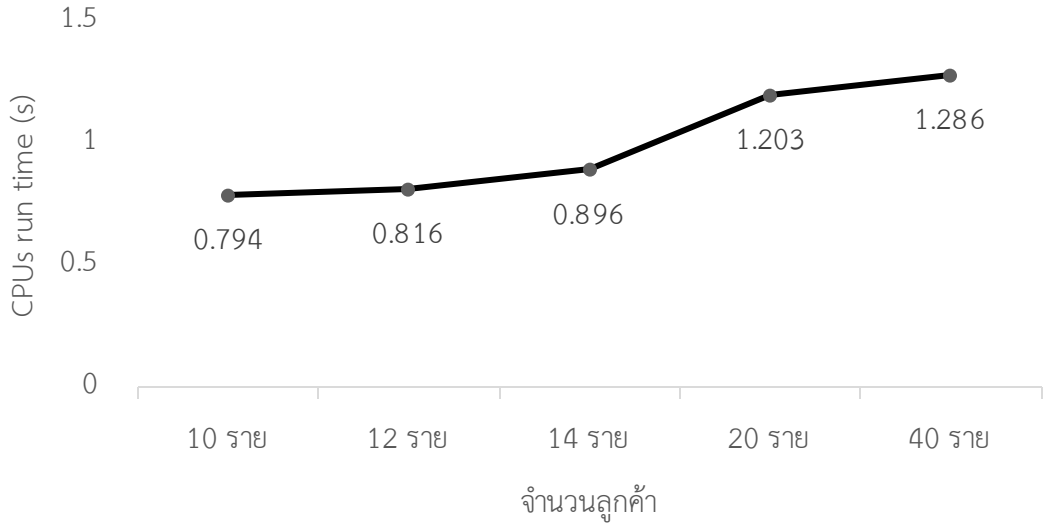
แสดงให้เห็นว่า ในกรณีที่มีลูกค้าจำนวนมากและจุดส่งสินค้าค่อนข้างกระจัดกระจาย การจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการเดิมของโรงงานอาจให้ผลที่ดีกว่า เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการพิจารณาหรือไม่พิจารณาแต่ละปัจจัยมากกว่าวิธีการที่นำเสนอ รวมทั้งในกรณีที่มีระยะทางในการเดินทางมาก การขนส่งสินค้าในรูปแบบของการพิจารณาเฉพาะค่าขนส่งต่อหน่วยโดยไม่ต้องพิจารณาเส้นทางหรือเวลาในการจัดส่งร่วมด้วย อาจจะมีต้นทุนที่ต่ำกว่าได้เช่นกัน ดังนั้น ขั้นตอนการจัดรถขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอซึ่งกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า จึงอาจไม่เหมาะสมกับการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าในกรณีที่ระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละรายมากและลูกค้าจำนวนมาก

3.3 การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs run time) และต้นทุนค่าขนส่ง

ในหัวข้อนี้ เปรียบเทียบผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้ ด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าและด้านเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs run time) ซึ่งทำการทดสอบบนเครื่องคอมพิวเตอร์รุ่น Intel® Core™i3 (1.80GHz, RAM 4 GB) ของตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ จัดรถขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอทั้งหมด 5 ตัวอย่าง (เฉลี่ยตัวอย่างละ 3 ซ้ำ) โดยมีรายละเอียดแสดงในตารางที่ 29

ตารางที่ 29 ต้นทุนค่าขนส่งและเวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs RUN Time)

ตัวอย่าง	จำนวนลูกค้า	ต้นทุนค่าขนส่ง (บาท)	เวลา (วินาที)
1	10 ราย	18,173.20	0.794
2	12 ราย	24,132.53	0.816
3	14 ราย	30,014.58	0.896
4	20 ราย	52,970.20	1.203
5	40 ราย	62,652.14	1.286



ภาพที่ 20 เวลาที่ใช้ในการประมวลผล (CPUs run time) ตัวอย่างทดสอบ 5 ตัวอย่าง

จากตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ 5 ตัวอย่าง ที่มีจำนวนลูกค้าแตกต่างกัน ประกอบด้วย ลูกค้า 10, 12, 14, 20 และ 40 ราย เมื่อเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผล โดยพิจารณาจากเวลา พบว่า ใช้เวลาในการประมวลผล สำหรับการจัดรถขนส่งสินค้า ด้วยวิธีการที่นำเสนอ เท่ากับ 0.794, 0.816, 0.896, 1.203 และ 1.286 วินาที ตามลำดับ ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยมาก และมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น ดังภาพที่ 20 โดยจะเห็นว่า ตัวอย่างที่มีจำนวนลูกค้ามากที่สุด คือ 40 ราย ใช้เวลาในการประมวลผลสูงที่สุดแต่เป็นเวลาที่ยอมรับได้ และเมื่อมีจำนวนลูกค้ามากขึ้น หากต้องการประหยัดเวลาในการประมวลผล สามารถเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของคอมพิวเตอร์ ให้มีความเร็วสูงขึ้น ซึ่งส่งผลต่อเวลาในการประมวลผลโดยตรง จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถค้นหาคำตอบ สำหรับการจัดรถขนส่งสินค้าที่เหมาะสมได้ ในเวลาอันรวดเร็ว ดังนั้น โรงงานกรณีศึกษา สามารถนำวิธีการที่นำเสนอ ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดรถขนส่งสินค้าเพื่อให้ได้คำตอบที่มีต้นทุนต่ำ โดยใช้เวลา ในการประมวลผลที่รวดเร็วได้

3.4 การทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อที่ถูกจัดส่งจริงโดยรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา

ในหัวข้อนี้เป็นการเปรียบเทียบผลการจัดรถขนส่งสินค้าระหว่างวิธีการที่นำเสนอและรถขนส่งสินค้าที่มีการเดินทางขนส่งสินค้าจริงของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อพิจารณาความแตกต่างของผลการจัดรถขนส่งสินค้า ด้านเส้นทาง ระยะทางและต้นทุนค่าขนส่งสินค้า โดยใช้ข้อมูลการจัดรถขนส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อของโรงงาน 2 กรณีดังนี้

(1) รายการคำสั่งซื้อสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 1-3) ดังตารางที่ 30 ในกรณีนี้ใช้ข้อมูลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้จากการสัมภาษณ์พนักงานจัดรถและพนักงานขับรถแต่ละคัน เกี่ยวกับลำดับการจัดส่งสินค้า จากนั้นคำนวณระยะทางด้วยวิธีการเดียวกับวิธีการที่นำเสนอและข้อมูลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าซึ่งพิจารณาตามจำนวนสินค้า (กล่อง) ดังนั้น การเปรียบเทียบผลในกรณีของรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย

- ผลด้านเส้นทางการจัดรถขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านระยะทางการจัดส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน

ตารางที่ 30 ข้อมูลการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ลูกค้า	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1 (รถ 6 ล้อ)	1	ภูเวียง	3,718.96	8	18
	2	ชุมแพ	2,211.90	8	18
	3	ชุมแพ	780.86	8	18
	4	ชุมแพ	3,282.14	8	18
รวม			9,993.86		
2 (รถ 10 ล้อ)	1	พยุห์	1,077.10	8	18
	2	เมืองอุบลราชธานี	6,892.12	8	18
	3	เดชอุดม	1,439.54	8	18
	4	เดชอุดม	76.79	8	18
	5	บุณฑริก	6,543.57	8	18
	6	นาจะหลวย	59.81	8	18
รวม			16,088.93		
3 (รถ 10 ล้อ)	1	วังสะพุง	3,277.60	8	18
	2	เชียงคาน	4,047.67	8	18
	3	เชียงคาน	2,225.10	8	18
	4	ปากชม	1,475.14	8	18
	5	ปากชม	3,151.81	8	18
รวม			14,177.32		

(2) รายการคำสั่งซื้อสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง 3 ตัวอย่าง (ตัวอย่างที่ 4-6) ดังตารางที่ 31 ในกรณีนี้ ใช้ข้อมูลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้จากระบบ GPS ของรถขนส่งแต่ละคัน โดยมีข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบการจัดรถขนส่งสินค้ากับวิธีการที่นำเสนอประกอบด้วย เส้นทางหรือลำดับในการจัดส่งสินค้า, ระยะทางที่ใช้ในการเดินทางจากระบบ GPS และระยะทางในเส้นทางเดียวกันกับระบบ GPS ซึ่งคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยการนำลำดับการจัดส่งสินค้าของรถขนส่งของโรงงานมาคำนวณหาระยะทาง ด้วยเส้นทางที่ได้จาก โปรแกรม Google map และต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ซึ่งพิจารณาตามจำนวนสินค้า (กล่อง) และต้นทุนค่าขนส่งสินค้าในเส้นทางเดียวกันซึ่งคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ โดยการพิจารณาค่าขนส่งซึ่งประกอบด้วยต้นทุนคงที่ ตามชนิดของรถที่ใช้และต้นทุนผันแปรซึ่งจะแปรผันตามระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ดังนั้นการเปรียบเทียบผลในกรณีของรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง ประกอบด้วย

- ผลด้านเส้นทางการจัดรถขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านระยะทางการจัดส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านระยะทางการจัดส่งสินค้าของวิธีการของโรงงานกับการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ
- ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอกับวิธีการของโรงงาน
- ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของวิธีการของโรงงานกับการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 31 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลางจำนวน 3 ตัวอย่าง (GPS)

ตัวอย่าง	ลูกค้า	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
4 (รถ 6 ล้อ)	1	ปากช่อง	2,750.80	8	18
	2	ปากช่อง	1,169.00	8	18
	3	เมืองนครราชสีมา	2,266.52	8	18
รวม			6,186.32		
5 (รถ 6 ล้อ)	1	เมืองอยุธยา	1,068.05	8	18
	2	บางประหัน	213.31	8	18
	3	เมืองอ่างทอง	2,379.89	8	18
	4	วิเศษชัยชาญ	1,159.52	8	18
	5	เมืองสิงห์บุรีย์	1,630.22	8	18
รวม			6,450.99		
6 (รถ 6 ล้อ)	1	บางน้ำเปรี้ยว	1,086.41	8	18
	2	บางน้ำเปรี้ยว	900.75	8	18
	3	แปลงยาว	369.00	8	18
	4	สนามชัยเขต	2,267.10	8	18
	5	บางน้ำเปรี้ยว	907.80	8	18
รวม			5,531.06		

ตารางที่ 32 ผลการเลือกใช้รถขนส่งและการจัดเส้นทางจากตัวอย่างรถขนส่งจริงของโรงงานโดยวิธีการที่นำเสนอ

ตัวอย่างที่	ประเภทรถ	เส้นทางการขนส่งสินค้า	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	ระยะทาง (กิโลเมตร)
1	6 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → โรงงาน	9,993.86	1,077.70
		นำเสนอ: โรงงาน → 2 → 3 → 4 → 1 → โรงงาน		1,077.70
2	10 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → 6 → โรงงาน	16,088.93	1,512.20
		นำเสนอ: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 6 → 5 → โรงงาน		1,508.20
3	10 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → โรงงาน	14,177.32	1,399.30
		นำเสนอ: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → โรงงาน		1,399.30
4	6 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → โรงงาน	6,186.32	685.81
		นำเสนอ: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → โรงงาน		622.30
5	6 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → โรงงาน	6,450.99	502.84
		นำเสนอ: โรงงาน → 4 → 3 → 2 → 1 → 5 → โรงงาน		424.90
6	6 ล้อ	โรงงาน: โรงงาน → 1 → 2 → 3 → 4 → 5 → โรงงาน	5,531.06	512.95
		นำเสนอ: โรงงาน → 1 → 2 → 5 → 3 → 4 → โรงงาน		481.20

หมายเหตุ: ตัวอย่างที่ 1-3 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และ ตัวอย่างที่ 4-6 กรณีรถขนส่งสินค้าภาคกลาง (ระบบGPS)

3.4.1 ผลการจัดรถขนส่งสินค้า

จากผลการทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอโดยใช้รายการคำสั่งซื้อที่ขนส่งจริง 6 ตัวอย่าง ได้ผลการทดสอบ ดังนี้

3.4.1.1 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ประกอบด้วย

(1) ผลด้านเส้นทางการจัดส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าซึ่งแสดงในตารางที่ 32 เมื่อพิจารณาด้านเส้นทางหรือลำดับในการจัดรถขนส่งสินค้าและเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีการของโรงงาน พบว่าเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอ มีความแตกต่างกับวิธีการเดิมของโรงงาน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 1 และ 2 และมี 1 ตัวอย่างที่ไม่แตกต่างกัน คือ ตัวอย่างที่ 3

(2) ผลด้านระยะทางการจัดส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้ สามารถแสดงระยะทางในการจัดส่งสินค้าดังตารางที่ 33 ซึ่งประกอบด้วยระยะทางจากการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงานโดยการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอ และระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ เมื่อทำการเปรียบเทียบระยะทางเพื่อพิจารณาความแตกต่างของระยะทางทั้งสองวิธี พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางเฉลี่ยต่ำกว่าร้อยละ 0.10 เป็นผลจากลำดับการจัดส่งสินค้าที่แตกต่างกัน

ตารางที่ 33 ระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยวิธีการของโรงงานโดยการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอ และระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ตัวอย่างที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	
	วิธีการของโรงงาน คำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ	วิธีการที่นำเสนอ
1	1,077.70	1,077.70
2	1,512.20	1,508.20
3	1,399.30	1,399.30
รวม	3,989.20	3,985.20

(3) ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้ สามารถแสดงต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ดังตารางที่ 34 ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงานและวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีต้นทุนรวมค่าขนส่งสินค้า 44,558.90 บาท และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของเส้นทางที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอกับ เส้นทางที่ได้จากวิธีการของโรงงานซึ่งคำนวณค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีค่าขนส่งต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 0.01 เป็นผลจากลำดับการจัดส่งสินค้าที่แตกต่างกัน ทำให้วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่า และมีต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำกว่าวิธีการนำเสนอ

ตารางที่ 34 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือด้วยวิธีการของโรงงานและวิธีการที่นำเสนอ

ตัวอย่าง	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า(บาท)		
	วิธีการของโรงงาน	วิธีการที่นำเสนอ	คำนวณค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ
1	11,193.12	9,305.90	9,305.90
2	18,019.60	18,171.00	18,211.00
3	15,878.60	17,082.00	17,082.00
รวม	45,091.32	44,558.90	44,598.90

3.4.1.2 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง (ระบบ GPS)

(1) ผลด้านเส้นการจัดส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าซึ่งแสดงในตารางที่ 31 เมื่อพิจารณาด้านเส้นทางหรือลำดับในการจัดรถขนส่งสินค้าและเปรียบเทียบระหว่างวิธีที่นำเสนอและวิธีการของโรงงาน พบว่าเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอมีความแตกต่างกับวิธีการเดิมของโรงงาน 2 ตัวอย่าง ได้แก่ ตัวอย่างที่ 5 และ 6 โดยมี 1 ตัวอย่างที่ไม่แตกต่างกัน คือ ตัวอย่างที่ 4

(2) ผลด้านระยะทางการจัดส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้สามารถแสดงระยะทางในการจัดส่งสินค้าดังตารางที่ 35 ซึ่งประกอบด้วยระยะทางจากระบบ GPS, ระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ และระยะทางจาการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ เมื่อเปรียบเทียบระยะทางเพื่อพิจารณาความแตกต่างระหว่างระยะทางจากระบบ GPS กับระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าร้อยละ 10.2 และเมื่อเปรียบเทียบระยะทางจากระบบ GPS กับระยะทางจากการคำนวณด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าร้อยละ 7

ตารางที่ 35 ระยะทางจากการจัดรถขนส่งสินค้ากรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลางจากระบบGPS, วิธีการที่นำเสนอ และการคำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ตัวอย่างที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)		
	ข้อมูลจาก GPS	วิธีการที่นำเสนอ	คำนวณระยะทางด้วยวิธีการที่นำเสนอ
4	685.81	622.30	622.30
5	502.84	424.90	472.00
6	512.95	481.20	489.20
รวม	1,701.60	1,528.40	1,583.50

(3) ผลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า

จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้สามารถแสดงต้นทุนค่าขนส่งสินค้า ดังตารางที่ 36 ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงาน, วิธีการที่นำเสนอ และวิธีการคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ตารางที่ 36 ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงาน, วิธีการที่นำเสนอ และคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ

ตัวอย่าง	ต้นทุนค่าขนส่งสินค้า(บาท)		
	วิธีการของโรงงาน	วิธีการที่นำเสนอ	คำนวณต้นทุนด้วยวิธีการที่นำเสนอ
4	6,928.67	6,118.10	6,118.10
5	7,049.83	4,736.30	5,066.00
6	6,044.51	5,130.40	5,186.40
รวม	20,023.02	15,984.80	16,370.50

เมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงานกับวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการที่นำเสนอมีต้นทุนต่ำกว่า คิดเป็นร้อยละ 20.2 และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนจากการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการของโรงงานกับวิธีการของโรงงานซึ่งคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ พบว่า วิธีการของโรงงานซึ่งคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 18.24

จากผลการทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อที่ถูกจัดส่งจริงโดยรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา และเปรียบเทียบกับวิธีการที่นำเสนอในหัวข้อต่างๆข้างต้น พบว่า วิธีการที่นำเสนอ สามารถแสดงผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่เหมาะสมได้ โดยจะเห็นได้จาก กรณีที่มีการเลือกใช้เส้นทางหรือลำดับในการจัดส่งสินค้าที่แตกต่างจากวิธีการของโรงงาน ซึ่งเป็นเส้นทางที่ทำให้มีระยะทางในการเดินทางเฉลี่ยต่ำกว่าวิธีการของโรงงาน เนื่องจากวิธีการที่นำเสนอพิจารณาเส้นทางที่สั้นที่สุด สำหรับการเดินทางในแต่ละจุด ซึ่งได้จากค้นหาโดยใช้โปรแกรม Google map และเลือกลำดับการจัดส่งสินค้าในขั้นตอนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยพิจารณาจากลำดับที่ทำให้มีระยะทางสั้นภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด รวมทั้งมีการปรับปรุงคำตอบที่

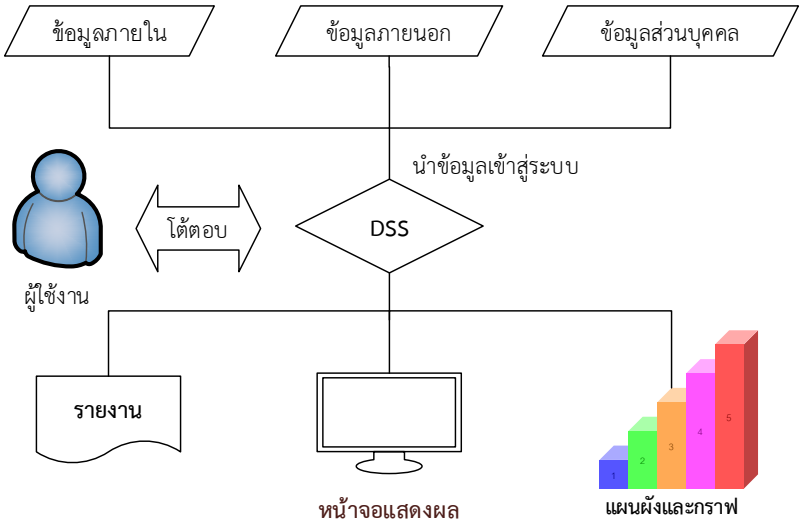
ได้อีกครั้ง เพื่อให้มีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำ โดยผลที่ได้ให้ผลของการจัดเส้นทาง พบว่า บางตัวอย่างได้ผลของลำดับการจัดส่งและระยะทางที่ไม่แตกต่างกันมากนัก เนื่องจากมีจำนวนลูกค้าน้อยราย และการจัดส่งสินค้าของพนักงานขับรถมีพื้นฐานการจัดส่งแบบส่งลูกค้าใกล้ก่อน ทำให้โอกาสในการสลับตำแหน่งที่แตกต่างจากเดิมเกิดขึ้นได้น้อยมาก

จากการเปรียบเทียบความแตกต่างด้านระยะทางในกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลางโดยใช้ข้อมูลจากระบบ GPS พบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถแสดงผลด้านระยะทางที่ใกล้เคียงกับข้อมูลจาก GPS โดยมีความแตกต่างกันคิดเป็นร้อยละ 7 ทั้งนี้วิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าวิธีการของโรงงานทุกตัวอย่าง จากผลที่ได้ดังกล่าวอาจเกิดขึ้นจากสาเหตุที่เป็นไปได้ดังนี้ (1) มีการเลือกใช้เส้นทางที่ต่างกัน โดยวิธีการที่นำเสนอเลือกใช้เส้นทางที่มีระยะทางในการเดินทางต่ำกว่าวิธีการของโรงงาน (2) วิธีการที่นำเสนอพิจารณาระยะทางระหว่างลูกค้าในหน่วยอำเภอ อาจทำให้ความละเอียดของระยะทางลดลง (3) วิธีการที่นำเสนอจะพิจารณาเฉพาะระยะทางและเวลาเดินทางในเส้นทางที่กำหนดเท่านั้น ซึ่งในการขนส่งจริงพบว่า รถขนส่งสินค้าที่มีระยะทางและเวลาในการเดินรถมากกว่าเนื่องจากมีการพักค้างคืนหรือมีการนอกเส้นทางเพื่อเติมแก๊ส เป็นต้น

จากข้อที่ (2) และ (3) ซึ่งเป็นส่วนของข้อมูลพื้นฐานที่ใช้ในการจัดรถขนส่งสินค้าและเป็นผลจากปัจจัยต่างๆที่อยู่นอกเหนือจากการพิจารณาของงานวิจัยนี้ จึงเป็นส่วนที่จะต้องมีการพิจารณาเพิ่มเติมและปรับปรุงเพื่อให้ได้ผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ดียิ่งขึ้นต่อไป ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษาสามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้ สำหรับการจัดรถขนส่งสินค้า เพื่อเลือกใช้ประเภทจำนวนรถขนส่ง และเส้นทางในการจัดขนส่งสินค้าที่เหมาะสม ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนดรวมทั้งสามารถใช้ในการประมาณการต้นทุนค่าขนส่งเบื้องต้นได้

4. การออกแบบและจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

งานวิจัยนี้ได้มีการออกแบบและจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจขึ้น เพื่อให้โรงงานกรณีศึกษาสามารถใช้งานวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอได้จริง รวมทั้งลดข้อผิดพลาดในการจัดรถขนส่งสินค้าที่อาจเกิดจากพนักงานจัดรถขนส่งสินค้า ซึ่งระบบสนับสนุนการตัดสินใจ มีรูปแบบความสัมพันธ์กับส่วนต่างๆ และการทำงานดังภาพที่ 21 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างส่วนต่างๆ ในระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System: DSS) โดยมีการนำข้อมูลจากแหล่งต่างๆ ใส่เข้ามายังระบบสนับสนุนการตัดสินใจ โดยผู้ใช้งาน จากนั้นผู้ใช้งานจะสั่งประมวลผล ซึ่งผลที่ได้จะปรากฏออกมาในรูปแบบต่างๆ



ภาพที่ 21 ความสัมพันธ์ส่วนต่างๆของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ
ที่มา: ประยุกต์จาก คงชลัช จันกลิ่น (2552)

4.1 รูปแบบและส่วนประกอบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

รูปแบบของระบบสนับสนุนการตัดสินใจของงานวิจัยนี้ สร้างขึ้นโดยการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ของระบบด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic Application) เพื่อให้สะดวกสำหรับการใช้งานของพนักงานจัดรถขนส่งสินค้า ประกอบด้วย 3 ส่วนดังนี้

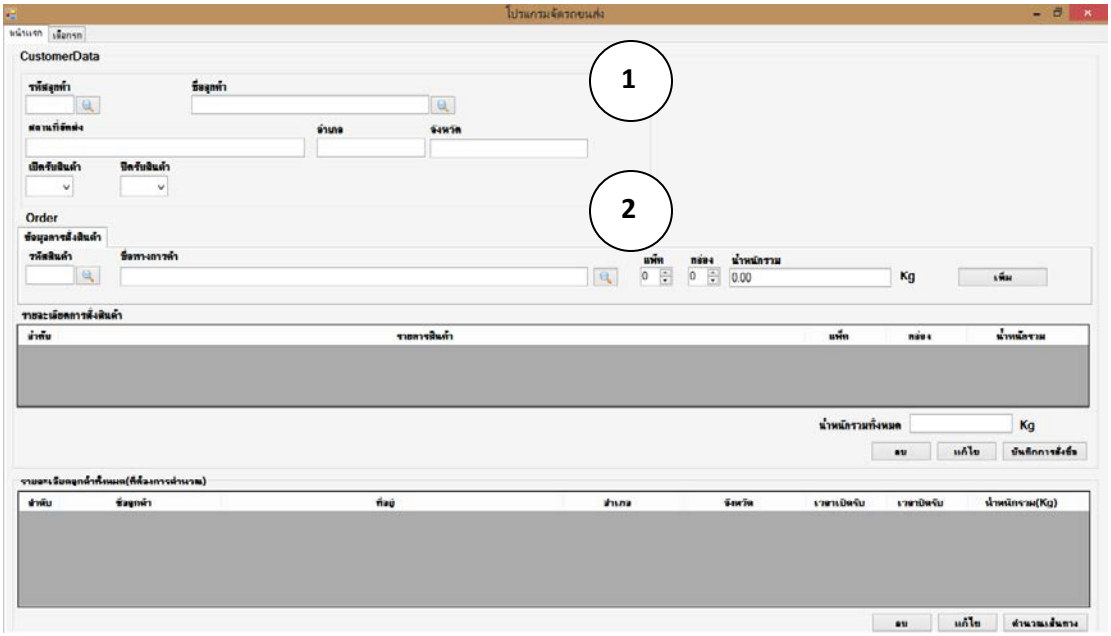
4.1.1 ส่วนข้อมูลนำเข้า (Input) ดังภาพที่ 22 เป็นส่วนที่ใช้สำหรับพนักงานจัดรถขนส่งสินค้ากรอกข้อมูล ซึ่งเป็นข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับลูกค้าสำหรับใช้ในการจัดรถขนส่งสินค้าที่ได้รับจากฝ่ายขาย ประกอบด้วย 2 หลักดังนี้ ดังนี้

(1) ข้อมูลลูกค้า (Customer data) โดยผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูล ดังนี้

- ชื่อลูกค้า
- สถานที่จัดส่งสินค้า
- กรอบเวลาในการรับส่งสินค้า

(2) รายการคำสั่งซื้อสินค้า (Order) โดยผู้ใช้จะต้องป้อนข้อมูล ดังนี้

- ชนิดสินค้า
- จำนวนสินค้า



ภาพที่ 22 ส่วนข้อมูลนำเข้า (Input)

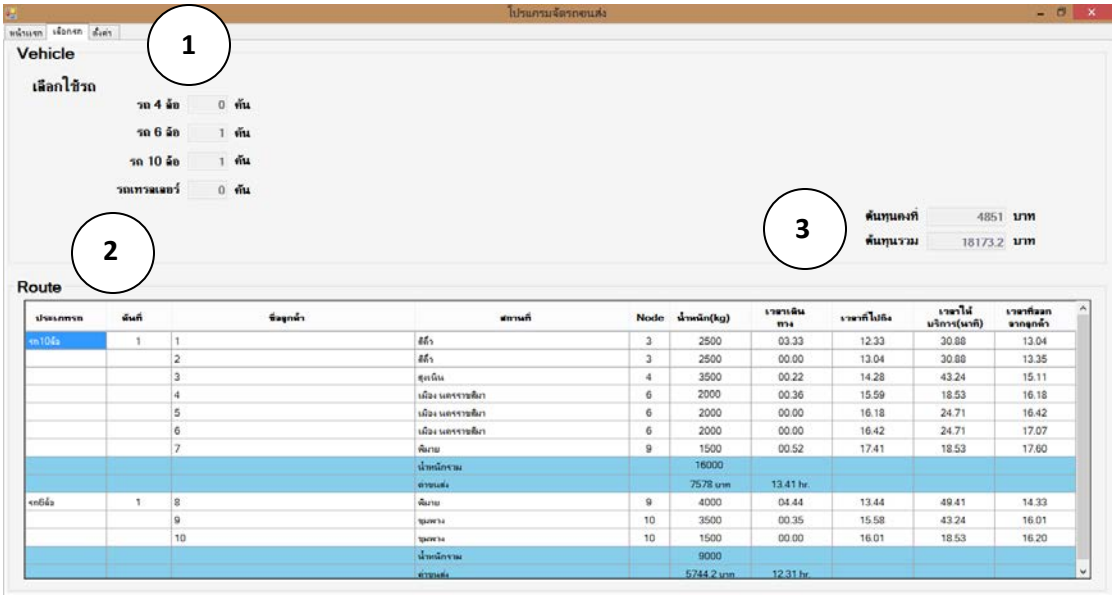
4.1.2 ส่วนประมวลผล (Operation) เป็นส่วนที่นำข้อมูลที่ได้จากส่วนข้อมูลนำเข้า มาดำเนินการ ซึ่งจะพิจารณาค่าต่างๆที่เกี่ยวข้องทั้ง พารามิเตอร์ ข้อจำกัด และตัวแปรต่างๆ เพื่อพิจารณาตามเงื่อนไขของปัญหาการจัดรถขนส่งของกรณีศึกษา เช่น ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก เวลาในการจัดส่ง เป็นต้น และประมวลผลด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอ แล้วได้ค่าที่เหมาะสมซึ่งจะแสดงผลในส่วนแสดงผล

4.1.3 ส่วนแสดงผล (Output) ดังภาพที่ 23 เป็นส่วนที่ได้จากการประมวลผลด้วยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอ ประกอบ 3 ส่วน ดังนี้

(1) ส่วนยานพาหนะ (Vehicle) เป็นส่วนที่แสดงประเภทรถและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่ขั้นตอนวิธีเลือกใช้ และต้นทุนจากการเลือกใช้ยานพาหนะซึ่งเป็นต้นทุนคงที่

(2) ส่วน Route เป็นส่วนแสดงเส้นทางในการขนส่งสินค้า เวลาในการขนส่งสินค้า

(3) ส่วน ต้นทุนรวม ซึ่งแสดงค่าขนส่งที่เกิดขึ้นจากการเลือกใช้รถและจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอ



ภาพที่ 23 ส่วนแสดงผล (Output)

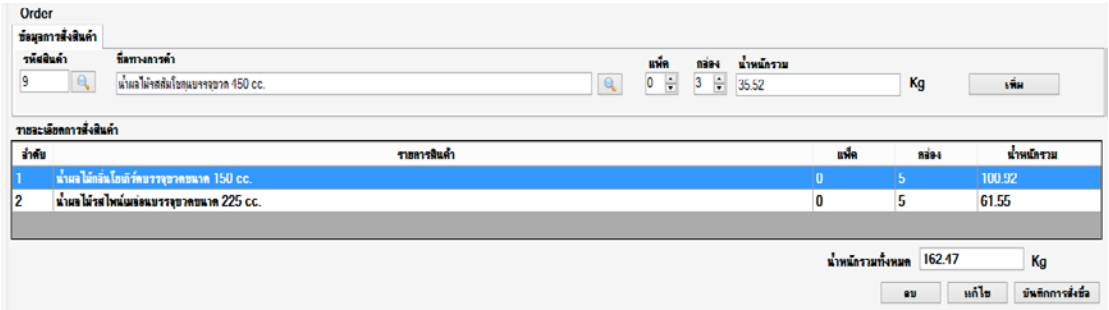
4.2 วิธีการใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจ

การใช้งานระบบสนับสนุนการตัดสินใจนั้น ผู้ใช้งานหรือพนักงานจัดรถขนส่งสินค้าจะโต้ตอบกับระบบผ่านทางหน้าข้อมูลนำเข้าซึ่งเป็นส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) จากภาพที่ 2 ซึ่งเป็นส่วนข้อมูลนำเข้า (Input) มีขั้นตอนในการดำเนินการสำหรับการนำเข้าข้อมูลในการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังนี้

(1) พนักงานจะทำการบันทึกข้อมูลลูกค้าในส่วน “Customer Data” ประกอบด้วย ชื่อลูกค้า สถานที่จัดส่งสินค้า และกรอบเวลาในการรับส่งสินค้า หรือค้นหาข้อมูลลูกค้าได้โดยการคลิกปุ่มรูปแว่นขยายเพื่อค้นหาได้ ดังตัวอย่างแสดงดังภาพที่ 24

ภาพที่ 24 การนำเข้าข้อมูลลูกค้าส่วน “Customer Data” ในหน้า Input

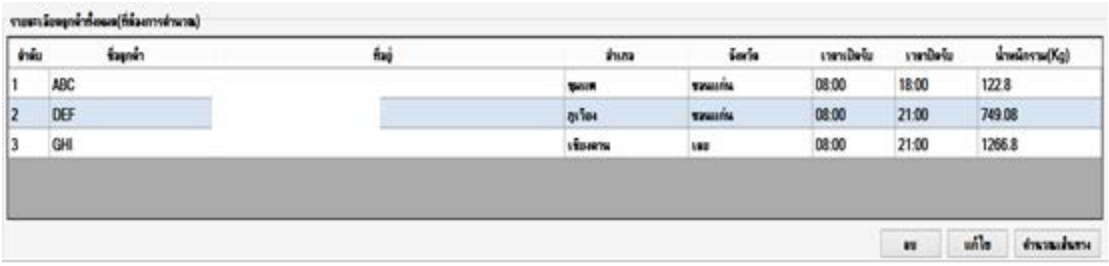
(2) พนักงานบันทึกรายการคำสั่งซื้อในส่วน “Order” โดยการเลือกรายการสินค้าจากการค้นหารหัสสินค้าหรือชื่อสินค้า และจำนวนสินค้า โดยระบุจำนวนสินค้าตามรายการคำสั่งซื้อที่ได้จากฝ่ายขาย แล้วคลิกปุ่ม “เพิ่ม” เพื่อเพิ่มรายการสินค้าเข้าสู่ระบบ หน้าจอจะแสดงผลรายการสินค้าและน้ำหนักความต้องการสินค้ารวมของลูกค้าในช่องถัดไป ดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 การนำเข้าข้อมูลรายการคำสั่งซื้อส่วน “Order” ในหน้า Input

(3) พนักงานตรวจสอบรายการคำสั่งซื้อของลูกค้าแต่ละรายอีกครั้งในส่วน “รายละเอียดการสั่งซื้อสินค้า” หากมีรายการคำสั่งซื้อที่ผิดพลาดสามารถดำเนินการได้ โดยการเลือกรายการคำสั่งซื้อที่มีข้อผิดพลาดและคลิก “ลบ” หรือ “แก้ไข” หากไม่พบข้อผิดพลาดใดๆ ให้คลิก “บันทึกการสั่งซื้อ” ดังภาพที่ 25 เพื่อบันทึกรายการคำสั่งซื้อเข้าสู่ระบบสำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าในขั้นตอนถัดไป

(4) พนักงานตรวจสอบรายการคำสั่งซื้อทั้งหมดอีกครั้งในช่อง “รายการคำสั่งซื้อสินค้าทั้งหมด” ดังภาพที่ 26 ที่ต้องการจัดรถขนส่งสินค้าอีกครั้ง หากมีรายการคำสั่งซื้อที่ผิดพลาดสามารถดำเนินการได้โดยการเลือกรายการคำสั่งซื้อที่มีข้อผิดพลาดและคลิก “ลบ” หรือ “แก้ไข” หากไม่พบข้อผิดพลาดใดๆ ให้คลิก “คำนวณเส้นทาง” จากนั้นระบบสนับสนุนการตัดสินใจจะแสดงผล (Output)

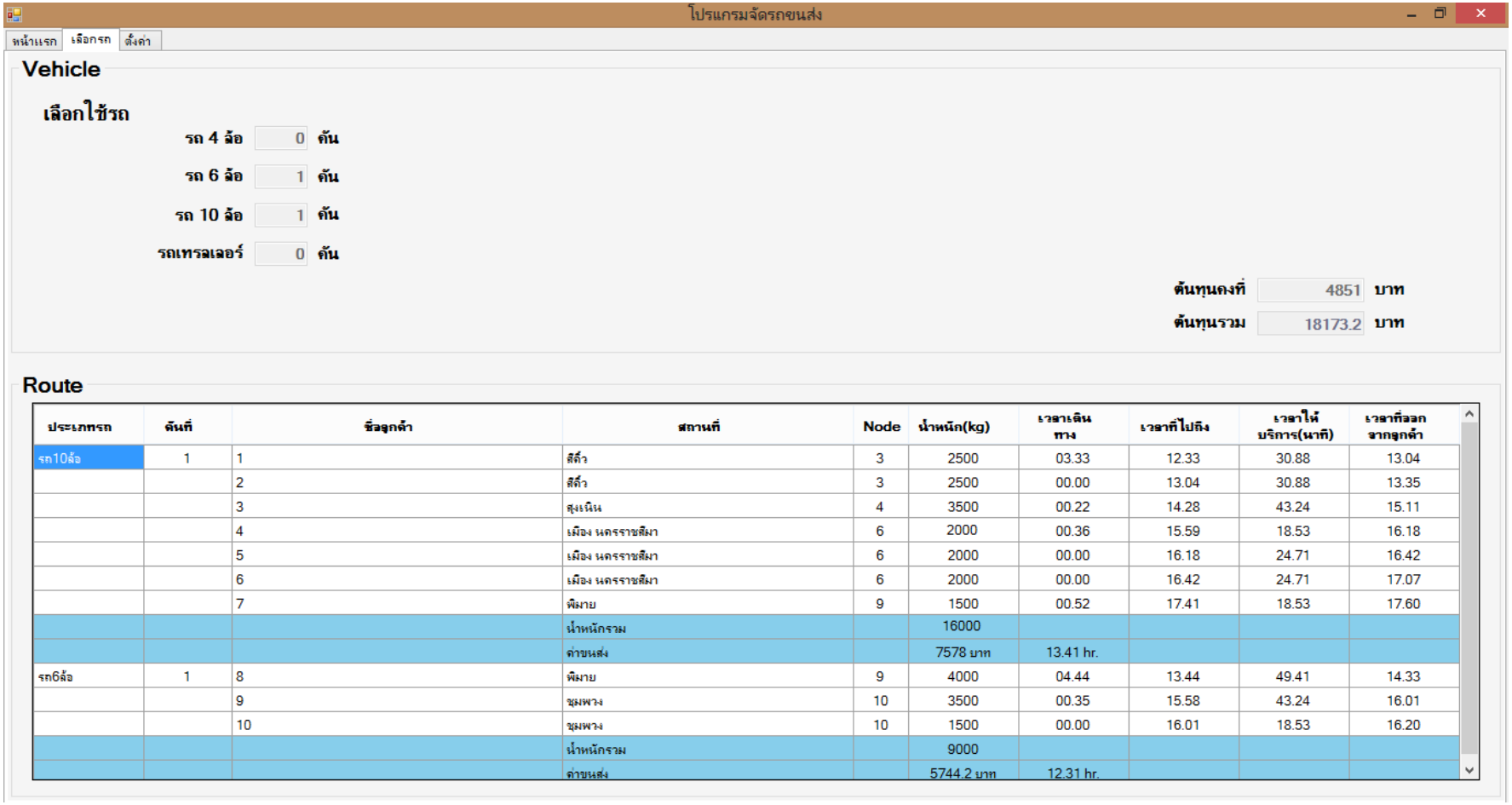


ลำดับ	ชื่อลูกค้า	ที่อยู่	ประเภท	จังหวัด	เวลาเปิดรับ	เวลาปิดรับ	น้ำหนักรวม(Kg)
1	ABC		ชุดแพ	ขอนแก่น	08:00	18:00	122.8
2	DEF		ถุงโอ่ง	ขอนแก่น	08:00	21:00	749.08
3	GHI		เรือนยาง	เลย	08:00	21:00	1266.8

ภาพที่ 26 ช่องแสดงแสดงรายการคำสั่งซื้อของลูกค้า “รายการคำสั่งซื้อสินค้าทั้งหมด” ในหน้า Input

4.3 การทดลองใช้งานระบบโดยการจัดส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อจริงของโรงงานกรณีศึกษา

ในหัวข้อนี้เป็นการทดลองใช้งานระบบ โดยการใช้รายการคำสั่งซื้อของโรงงาน 3 ตัวอย่างเช่นเดียวกับข้อ 3.1 เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอและผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่ระบบแสดงในหน้าแสดงผล (Output) พบว่า ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่จัดทำขึ้น สามารถแสดงผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ครบถ้วนและถูกต้องตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วย ประเภทและจำนวนรถขนส่ง และเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถแต่ละคัน รวมทั้งต้นทุนรวมที่ใช้ในการขนส่งสินค้าตามวิธีการที่นำเสนอ ดังตัวอย่างการแสดงผล ในภาพที่ 27 จากผลการจัดรถขนส่งสินค้าโดยใช้ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้นโดยการใช้รายการคำสั่งซื้อของโรงงาน พบว่า ได้ผลตรงกับผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ



ประเภทรถ	คันที่	ชื่อลูกค้า	สถานที่	Node	น้ำหนัก(kg)	เวลาเดินทาง	เวลาที่ไปถึง	เวลาให้บริการ(นาที)	เวลาที่ออกจากลูกค้า
รถ10ล้อ	1	1	สีดำ	3	2500	03.33	12.33	30.88	13.04
		2	สีดำ	3	2500	00.00	13.04	30.88	13.35
		3	สุงเนิน	4	3500	00.22	14.28	43.24	15.11
		4	เมือง นครราชสีมา	6	2000	00.36	15.59	18.53	16.18
		5	เมือง นครราชสีมา	6	2000	00.00	16.18	24.71	16.42
		6	เมือง นครราชสีมา	6	2000	00.00	16.42	24.71	17.07
		7	พิมาย	9	1500	00.52	17.41	18.53	17.60
			น้ำหนักรวม		16000				
			ค่าขนส่ง		7578 บาท	13.41 hr.			
รถ6ล้อ	1	8	พิมาย	9	4000	04.44	13.44	49.41	14.33
		9	ชุมพวง	10	3500	00.35	15.58	43.24	16.01
		10	ชุมพวง	10	1500	00.00	16.01	18.53	16.20
			น้ำหนักรวม		9000				
			ค่าขนส่ง		5744.2 บาท	12.31 hr.			

ภาพที่ 27 ตัวอย่างผลการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีการนำเสนอจากระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่สร้างขึ้น (ตัวอย่างที่ 1)

จากผลที่ได้แสดงให้เห็นว่า ระบบสนับสนุนการตัดสินใจที่จัดทำขึ้นสามารถใช้งานสำหรับการจัดรถขนส่งสินค้า ที่มีต้นทุนต่ำภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกและกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้าของลูกค้าแต่ละรายได้ และสามารถใช้ข้อมูลที่ได้จากการแสดงผลของระบบเป็นแนวทางในการตัดสินใจ สำหรับดำเนินการจัดขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษาได้ เช่น การจัดหารถขนส่งให้เพียงพอต่อความต้องการ การแจ้งลูกค้าทราบในกรณีที่มีการแบ่งสินค้าโดยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน รวมทั้งการประมาณการค่าขนส่งที่เกิดขึ้นเพื่อการตัดสินใจเลือกใช้การขนส่งในรูปแบบต่างๆ เช่น การจ้างบริษัทขนส่งจากภายนอก หรือรถขนส่งของบริษัทแทนรูปแบบเดิมซึ่งมีค่าขนส่งค่อนข้างสูง เป็นต้น ทั้งนี้ โปรแกรมการจัดรถขนส่งที่สร้างขึ้น สามารถปรับเปลี่ยนข้อมูลพื้นฐาน ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงข้อมูล หรือเพื่อให้เหมาะสมมากขึ้น ได้ในฐานข้อมูล ได้แก่ ต้นทุนค่าขนส่ง ระยะทาง เวลาเดินทาง ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก เป็นต้น ซึ่งจะแสดงรายละเอียดใน ภาคผนวกหน้า 189 - 217

บทที่ 4

บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า เป็นปัญหาหนึ่งที่มีความสำคัญในระบบการขนส่ง และส่งผลกระทบโดยตรงต่อต้นทุนการขนส่งสินค้า เนื่องจากมีหลายปัจจัยที่เกี่ยวข้องและจำเป็นจะต้องพิจารณาอย่างรอบคอบ หากบริษัทมีแบบแผนในการจัดรถขนส่งสินค้าที่ดี จะทำให้สามารถลดระยะทางหรือจำนวนยานพาหนะได้ ซึ่งจะส่งผลให้ต้นทุนในการจัดส่งสินค้าลดลงได้เช่นกัน จากการวิเคราะห์ปัญหาต้นทุนการขนส่งสินค้าค่อนข้างสูงของโรงงานกรณีศึกษา พบว่า ปัจจุบันเป็นการจัดรถขนส่งสินค้าโดยใช้ประสบการณ์และความเคยชินของพนักงานแต่ละคน ซึ่งไม่มีวิธีการปฏิบัติงานที่เป็นแบบแผนแน่นอน ไม่มีการเลือกใช้รถหรือเส้นทางในการจัดส่งสินค้าเพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำ เนื่องจากโรงงานกรณีศึกษาจะพิจารณาจากต้นทุนการจัดส่งสินค้าต่อกล่องตามพื้นที่ การจัดส่งเป็นหลัก จึงทำให้โรงงานกรณีศึกษาไม่สามารถ ประเมินต้นทุนในการจัดส่งสินค้าที่แท้จริงได้ เป็นเหตุผลหนึ่งที่ทำให้ ต้นทุนค่าขนส่งค่อนข้างสูง โดยเฉพาะในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดังนั้น เพื่อให้มีวิธีการจัดรถขนส่งที่ชัดเจนและลดความผิดพลาดดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงเสนอแนวทาง การปรับปรุงการจัดรถขนส่งสินค้า โดยการพัฒนาวิธีการจัดรถขนส่งสินค้า ซึ่งมีวัตถุประสงค์ เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้า โดยจำลองปัญหาในรูปแบบของสมการทางคณิตศาสตร์ และประยุกต์ใช้วิธีการหาผลเฉลยด้วยวิธีการทางฮิวริสติกส์ และออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการจัดส่งสินค้า

การศึกษาปัญหาการจัดรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา เพื่อสร้างรูปแบบปัญหาในลักษณะแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยรูปแบบปัญหาของโรงงานกรณีศึกษา เป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งแยกสินค้า (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Demand Delivery) ที่มีลักษณะการขนส่งแบบเต็มคัน (Full truck load) มีคลังสินค้าเดียว โดยรถขนส่งจะเริ่มต้นและกลับมายังคลังสินค้าเสมอ ใช้รถบรรทุกสินค้า 4 ชนิด ประกอบด้วย (1) รถบรรทุก 4 ล้อ (2) รถบรรทุก 6 ล้อ (3) รถบรรทุก 10 ล้อ และ (4) รถเทรลเลอร์ ดังนั้น จึงมีการพิจารณาเงื่อนไข ด้านความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle capacity constrain) และ ลูกค้าแต่ละรายมีการกำหนดกรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า ซึ่งเป็นเงื่อนไขด้านเวลาในการจัดส่งสินค้า (Time Windows constrain) รวมทั้งเงื่อนไข

การแบ่งสินค้า (Split Demand Delivery) และได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งประกอบด้วยฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์และฟังก์ชั่นเงื่อนไขที่สอดคล้องกับปัญหาดังกล่าว

การปรับปรุงการขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา ด้วยวิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่นำเสนอ มีวัตถุประสงค์เพื่อให้มีต้นทุนต่ำภายใต้ข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุกสินค้า กรอบเวลา และการแบ่งสินค้าในการจัดส่งสินค้า ประกอบด้วยขั้นตอนดังนี้ (1) เลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนต่ำจากการคำนวณ (2) การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ วิธีการแทรกไปข้างหน้า (Push-Forward Insertion Heuristics) แบบแทรกใกล้สุด (Nearest Insertion) และ (3) ปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) ประกอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange) และวิธีการการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One Move Operator) จากการศึกษาและทดสอบการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการที่นำเสนอ สามารถสรุปได้ดังนี้

การทดสอบการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยขั้นตอนวิธีที่นำเสนอและความถูกต้องของขั้นตอนวิธีโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง แต่ละตัวอย่างมีลูกค้า 10 ถึง 14 ราย และ ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ ที่มีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น ประกอบด้วย 20 และ 40 ราย พบว่าวิธีการที่นำเสนอมีการเลือกใช้ประเภท จำนวนรถขนส่ง และเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีความแตกต่างกับวิธีการเดิมของโรงงาน สามารถแสดงผลคำตอบการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนต่ำได้ ภายใต้เงื่อนไขที่กำหนด เมื่อมีขนาดลูกค้าเพิ่มขึ้น อาจทำให้ประสิทธิภาพในการจัดรถขนส่งสินค้าของวิธีที่นำเสนอลดลง ทั้งนี้โรงงานกรณีศึกษามีการจัดรถและเส้นทางการส่งสินค้าให้ลูกค้าในภาคตะวันออกเฉียงเหนือต่อวันประมาณ 10 -15 ราย ซึ่งเป็นจำนวนที่วิธีการนำเสนอสามารถค้นหาคำตอบและให้คำตอบที่เหมาะสมและเป็นที่พึงพอใจของโรงงานกรณีศึกษาได้ เมื่อเพิ่มข้อจำกัดด้านการแบ่งสินค้า โดยกำหนดให้ลูกค้าแต่ละรายสามารถแบ่งสินค้าได้เพียง 1 ครั้งเท่านั้น พบว่า ได้ผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่ดีขึ้น เห็นได้จาก ในตัวอย่างทดสอบเดียวกับมีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำกว่าวิธีการนำเสนอเดิมคิดเป็นร้อยละ 7.37 เนื่องจาก จำนวนการแบ่งแยกสินค้าที่ลดลง ทำให้จำนวนจุดในการจัดส่งสินค้าลดลง เป็นผลให้มีระยะทางในการขนส่งลดลงเช่นกัน ซึ่งส่งผลโดยตรงกับค่าขนส่งสินค้าที่ลดลงดังกล่าว

การเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการประมวลผลและต้นทุนค่าขนส่งสินค้า โดยพิจารณาจากเวลา CPUs Run Time จากการทดสอบ 5 ตัวอย่าง ที่มีจำนวนลูกค้าแตกต่างกัน พบว่า วิธีการที่นำเสนอสามารถค้นหาคำตอบ สำหรับการจัดรถขนส่งสินค้าที่เหมาะสมได้ ในเวลาอันรวดเร็วโดยมีแนวโน้มสูงขึ้น เมื่อมีจำนวนลูกค้าเพิ่มขึ้น และเป็นเวลาที่ยอมรับได้ ดังนั้น โรงงานกรณีศึกษา สามารถนำวิธีการที่นำเสนอ ไปใช้เป็นแนวทางในการจัดรถขนส่งสินค้าเพื่อให้ได้คำตอบที่เหมาะสม ในเวลาอันรวดเร็วได้

การทดสอบการจัดรถขนส่งสินค้าจากรายการคำสั่งซื้อที่ถูกจัดส่งจริงโดยรถขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ 3 ตัวอย่าง โดยใช้ข้อมูลเส้นทางจากการสัมภาษณ์พนักงานขับรถขนส่งแต่ละคัน และกรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง 3 ตัวอย่างโดยใช้ระบบ GPS กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พบว่า เส้นทางการขนส่งสินค้าที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอบางเส้นทาง มีความแตกต่างกับวิธีการเดิมของโรงงาน โดยวิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าร้อยละ 0.10 และมีต้นทุนค่าขนส่งสินค้าต่ำกว่าคิดเป็นร้อยละ 0.10 กรณีรถขนส่งสินค้าพื้นที่ภาคกลาง พบว่า เส้นทางการขนส่งสินค้าที่ได้จากวิธีการที่นำเสนอบางเส้นทาง มีความแตกต่างกับวิธีการเดิมของโรงงานเช่นกัน โดยวิธีการที่นำเสนอมีระยะทางต่ำกว่าข้อมูลจากระบบ GPS คิดเป็นร้อยละร้อยละ 10.20 และมีต้นทุนค่าขนส่งต่ำกว่าต้นทุนของวิธีการเดิมของโรงงานซึ่งคำนวณต้นทุนค่าขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอ คิดเป็นร้อยละ 20.20 จากผลดังกล่าวแสดงให้เห็นว่า วิธีการที่นำเสนอให้ผลการจัดรถที่ดีกว่า ทั้งด้านการจัดเส้นทางหรือลำดับการจัดส่งสินค้าที่ทำให้มีระยะทางลดลง และด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้า และสามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้กับการจัดรถขนส่งสินค้าได้ เนื่องจากแสดงผลด้านระยะทางค่อนข้างใกล้เคียงกับการวัดระยะทางโดยระบบ GPS

การออกแบบและจัดทำระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System) โดยใช้ขั้นตอนการจัดรถขนส่งที่ปรับปรุงขึ้น โดยการสร้างส่วนติดต่อกับผู้ใช้งาน (User Interface) ของระบบด้วยโปรแกรมวิชวลเบสิก (Visual Basic Application) เพื่อให้โรงงานกรณีศึกษามีวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่ชัดเจน และสามารถใช้งานวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอได้จริง รวมทั้งลดข้อผิดพลาดในการจัดรถขนส่งสินค้าที่อาจเกิดจากพนักงานจัดรถขนส่งสินค้า และเป็นแนวทางในการตัดสินใจ สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าของโรงงานกรณีศึกษา จากการทดสอบใช้งาน

พบว่า ระบบที่จัดทำขึ้นสามารถแสดงผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าครบถ้วนถูกต้องตามขั้นตอนวิธีที่นำเสนอ ซึ่งประกอบด้วย ประเภทและจำนวนรถขนส่ง และเส้นทางการขนส่งสินค้าของรถแต่ละคัน รวมทั้งต้นทุนรวมที่ใช้ในการขนส่งสินค้าตามผลของวิธีการที่นำเสนอ ทั้งนี้ โรงงานกรณีศึกษาสามารถนำวิธีการที่นำเสนอไปใช้ สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า เพื่อเลือกใช้ประเภท จำนวนรถขนส่งและเส้นทางในการขนส่งสินค้าที่เหมาะสม รวมทั้งประมาณการต้นทุนค่าขนส่งเบื้องต้นได้

ข้อเสนอแนะ

1. วิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าที่นำเสนอสามารถใช้กับโรงานกรณีศึกษาและอุตสาหกรรมการขนส่งสินค้าอื่นๆ ที่มีเงื่อนไขการขนส่งเช่นเดียวกับโรงงานกรณีศึกษาได้ หรือหากมีเงื่อนไข หรือปัจจัยอื่นๆ จำเป็นจะต้องมีการดัดแปลงขั้นตอนวิธีในการพิจารณาจัดรถขนส่งให้เหมาะสมต่อไป

2. เพื่อให้ได้ผลการจัดรถขนส่งสินค้าที่มีดีขึ้น อาจมีการพิจารณาปัจจัยต่างๆเพิ่มเติม เช่น การจัดเส้นทางโดยการใช้พิกัดจริงของลูกค้า หรือการพิจารณาด้านเวลาที่ครอบคลุมการพักค้างคืนร่วมด้วย เป็นต้น

3. การจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าในกรณีที่มีระยะทางมาก โดยมีการพิจารณาเงื่อนไขด้านเวลาร่วมด้วย อาจทำให้ประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบลดลง ดังนั้นเพื่อประสิทธิภาพในการค้นหาคำตอบ ควรพิจารณาเฉพาะปัจจัยด้านอื่นๆ ที่จะทำให้มีระยะทางที่สั้นที่สุดมากกว่าการพิจารณาด้านกรอบเวลาเป็นสำคัญ เช่น การกำหนดค่าโทษในกรณีที่จัดส่งสินค้านอกกรอบเวลาที่กำหนด หรือไม่พิจารณาเงื่อนไขด้านเวลา (Time window constrain) แต่ยังคงมีการคำนวณเวลาเดินทางร่วมด้วย เพื่อแสดงเวลาที่ไปถึงสำหรับใช้ในการนัดหมายลูกค้าและคาดการณ์เวลาที่ใช้ในการขนส่งสินค้าทั้งหมด เป็นต้น

4. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ (Decision Support System) สร้างขึ้นเฉพาะการจัดรถขนส่งสินค้าในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ จำนวน 52 เขตอำเภอ (ภาคผนวกหน้า 147-148) เท่านั้น หากต้องการใช้งานในพื้นที่การจัดส่งสินค้าที่เพิ่มขึ้น จำเป็นจะต้องมีการเพิ่มเติมข้อมูลเขตพื้นที่จัดส่งสินค้าในฐานข้อมูล ตามความเหมาะสมเพื่อให้ครอบคลุมพื้นที่ในการจัดส่งสินค้าที่ต้องการ

5. การหาคำตอบของวิธีการที่นำเสนอ เป็นการหาคำตอบในลักษณะ Local Search ซึ่งเป็นการค้นหาคำตอบเพียงครั้งเดียว โดยจะหยุดหาคำตอบ เมื่อได้คำตอบที่ดีกว่า หรือมีต้นทุนต่ำกว่า เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น ผู้ใช้สามารถทำการปรับปรุงวิธีการ โดยการหาคำตอบซ้ำหลายๆ รอบในลักษณะ Global Search เพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุด

เอกสารอ้างอิง

โกศล ดีศีลธรรม. 2547. ต้นทุนกิจกรรมการขนถ่าย. Industrial technology review. 126: 158–160.

กัลยา วานิชย์บัญชา. (2552). การวิเคราะห์ข้อมูลหลายตัวแปร. กรุงเทพมหานคร: ภาควิชาสถิติ คณะพาณิชยศาสตร์และการบัญชี จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.พิมพ์ครั้งที่ 4.

เครือวัลย์ จำปาเงิน. 2547. การพัฒนาระบบสนับสนุนการตัดสินใจเพื่อจัดเส้นทางเดินรถสำหรับการขนส่งสินค้าเพื่อการบริโภคสู่ร้านค้าปลีกในสถานีบริการน้ำมันในจังหวัดนนทบุรี. วิทยานิพนธ์ปริญญาอักษรศาสตร์มหาบัณฑิต. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

คงชลัช จันทร์กลิ่น. 2552. วิธีการหาค่าที่เหมาะสมและระบบสนับสนุนการตัดสินใจในปัญหาการจัดรถขนส่งเม็ดพลาสติก. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัย เทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ฉัตรทิพย์ มีสุข และคณะ. 2555. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจสำหรับการจัดรถเทรลเลอร์ในการขนส่งรถยนต์สินค้า. เอกสารการประชุมวิชาการข่ายงานอุตสาหการประจำปี 2555. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี

ณัติฐาการ ชูก้าน. 2545. การออกแบบระบบสนับสนุนการตัดสินใจในการประเมินบริษัทขนส่งโดยใช้ตัวแบบการขนส่ง Multicommodity, AHP และ LP. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ.

ณกร อินทร์พยุง. 2548.การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.

ทวินันท์ สิมะจารึก และคณะ. 2552. การลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งสินค้า กรณีศึกษา โรงงานเคมีภัณฑ์. เอกสารการประชุมวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ครั้งที่ 9 (ThaiVCML2009). มหาวิทยาลัยศิลปากร.

ทวีศักดิ์ นาคม่วง .2547. ระบบสนับสนุนการตัดสินใจ(Decision Support Systems) . (ออนไลน์). สืบค้นจาก http://www.sirikitdam.egat.com/WEB_MIS/107/index.html (10 กรกฎาคม 2555)

ธรินี มณีศรี. 2552. ขั้นตอนวิธีการสำหรับการหาผลเฉลยเชิงทนทานของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและเวลาเดินทางไม่แน่นอน. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร์ดุษฎีบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ธรินี มณีศรี. 2553. การประยุกต์ขั้นตอนวิธีเมต้าฮิวริสติกส์สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายขนาดและแบ่งแยกส่งสินค้าได้. มหาวิทยาลันศรีปทุม.

นิรันดร์ สมมุติ .2552. วิธีฮิวริสติกส์ GRASP สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ.วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี

อุบลรัตน์ เธียรธนาคม. 2551. การใช้วิธีเชิงฮิวริสติกส์เพื่อแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายแห่ง. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

Alan, L.E. Michael, H. Martin, W.P. Yang, Z. Creating schedules and computing operating costs for LTL load plans .Computers and Operations Research. 0305-0548

Barker, K. 1974. Introduction to sequencing and scheduling. New York

Bowersox, D.J. and Closs, D.J., 1996. Logistic management: The Integrated supply chain process. McGraw Hill. Singapore. pp: 470 – 479

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.

Bodin, L. and Levy, L. 1994. Visualization in vehicle routing and scheduling problems. ORSA Journal on Computing 6. 3: 261-268

Chen, M.F. and Wang, F.Y. 1997. Estimation of spectral gap for elliptic operators. Trans. Amer. Math. Soc. 349: 1209-1237

Christofides, N. Mingozzi, A. and Toth, P. 1981. Exact algorithms for the vehicle routing problem, based on spanning tree and shortest path relaxations. Mathematical Programming. 20: 255-282.

French, S. 1982. Sequencing and scheduling: An Introduction to the Mathematics of the job-shop. New York

Fisher, M. and Jaikumar, R. 1978. A decomposition algorithm for large-scale vehicle routing. University of Pennsylvania, Dept. of Decision Sciences. 78-11-05.

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.

Feng, Z., Yibo, C., and Hu, Q. 2011. Linear programming solution for transporting multiple petroleumproducts using pipelines. IEEE.

Golden, B., Magnanti, T., and Nguyen, H. 1977. Implementing vehicle routing algorithms. Network 7: 113-148.

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.

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

Koh, N. and Oli B.G. Madsen. 1997. An Optimization Algorithm for the Vehicle Routing Problem with Time Windows Based on Lagrangian Relaxation. Operations Research. 45(3): 395-406.

Soonhui, L. Jonathan, T. Mark, S. D. Tito, H. Karen, S. 2012. Improving fleet utilization for carriers by interval scheduling. European Journal of Operational Research. 218: 261–269.

Mallach, E. G. 1994. Understanding design support and expert system. Irwin

Mathur, S.B. and Kongsdal, O. 2003. Common laboratory seed health testing method for detecting fungi. First edition. International Seed Testing Association. pp : 425.

Solomon, M. and Desrosiers, J. 1988. Time window constrained routing and scheduling problem. Transportation Science. 22:1-13

Vitória, P. Reinaldo, M. and Marc, R. 2011. Vehicle routing with multiple deliverymen: Modeling and heuristic approaches. European Journal of Operational Research 218: 636–647.

Zeng, L. Ong, H.L. Ng, K.M.and Liu, S.B. 2008. Two composite methods for soft drink distribution problem. Advances in Engineering Software. 39: 438–443.

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก

ข้อมูลรายการคำสั่งซื้อ ชื่อจุดส่งสินค้า ระยะทาง เวลาเดินทาง สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

ตารางผนวกที่ ก1 รายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	1	สีคิ้ว	2,500	6	18
	2	สีคิ้ว	2,500	8	18
	3	สูงเนิน	3,500	9	16
	4	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	5	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	6	เมือง นครราชสีมา	2,000	9	20
	7	พิมาย	1,500	8	21
	8	พิมาย	4,000	8	19
	9	ชุมพวง	3,500	8	19
	10	ชุมพวง	1,500	13	20
รวม	10		25,000		
2	1	ปากช่อง	2,921	8	16
	2	ปากช่อง	1,500	8	16.
	3	ปากช่อง	1,500	8	16
	4	สูงเนิน	4,200	9	16
	5	เทพสถิตย์	5,380	9	23
	6	บำเหน็จณรงค์	3,500	8	18
	7	จัตุรัส	2,300	9	24
	8	จัตุรัส	2,500	9	21
	9	จัตุรัส	500	9	21
	10	จัตุรัส	500	9	21
	11	จัตุรัส	500	9	24
	12	มหาชนะชัย	2,800	8	18
รวม	12		28,101		

ตารางผนวกที่ ก1(ต่อ) รายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

ตัวอย่าง	ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
3	1	สีคิ้ว	500	7	18
	2	สีคิ้ว	1,300	9	18
	3	สีคิ้ว	1,800	9	18
	4	สีคิ้ว	2,100	9	18
	5	สีคิ้ว	2,500	9	18
	6	ปากช่อง	1,450	9	19
	7	เมือง นครราชสีมา	4,000	9	20
	8	เมือง นครราชสีมา	3,500	9	19
	9	เทพสถิตย์	5,000	8	19
	10	เทพสถิตย์	1,630	8	19
	11	จัตุรัส	2,000	8	20
	12	จัตุรัส	2,120	9	19
	13	บำเหน็จณรงค์	2,200	8	21
	14	บำเหน็จณรงค์	2,300	9	20
รวม	14		32,400		

ตารางผนวกที่ ก2 ชื่อจุดส่งสินค้าสำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

Node. No	**ชื่อ**
1	โรงงาน
2	ปากช่อง
3	สีคิ้ว
4	สูงเนิน
5	เทพสถิตย์
6	เมืองนครราชสีมา
7	บำเหน็จณรงค์
8	จัตุรัส
9	พิมาย
10	ชุมพวง
11	เมืองยโสธร
12	มหาชนะชัย

ตารางผนวกที่ ก3 ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	228	272	283	305	313	341	351	372	410	587	602
2	228	0	44.6	56.2	95.1	81.3	117	124	145	183	360	375
3	272	44.6	0	17.1	112	47.1	76.5	83	106	144	320	336
4	283	56.2	17.1	0	114	35	78.2	84.7	94.2	132	308	324
5	305	95.1	112	114	0	114	35.7	55.5	152	109	366	328
6	313	81.3	47.1	35	114	0	89.7	84.7	61.7	99.8	276	292
7	341	117	76.5	78.2	35.7	89.7	0	20.7	131	169	326	324
8	351	124	83	84.7	55.5	84.7	20.7	0	123	152	305	321
9	372	145	106	94.2	152	61.7	131	123	0	38.6	235	251
10	410	183	144	132	109	99.8	169	152	38.6	0	200	216
11	587	360	320	308	366	276	326	305	235	200	0	43.6
12	602	375	336	324	328	292	342	321	251	216	43.6	0

ตารางผนวกที่ ก4 เวลาเดินทาง (นาที) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ 3 ตัวอย่าง

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
1	0	179	213	223	239	244	271	269	284	318	438	469
2	179	0	35	46	100	68	105	95	106	138	284	296
3	213	35	0	22	94	43	80	70	82	117	180	271
4	223	46	22	0	104	36	90	80	75	109	233	264
5	239	100	94	104	0	96	33	53	119	152	278	309
6	244	68	43	36	96	0	82	71	52	85	211	242
7	271	105	80	90	33	82	0	26	105	138	264	290
8	269	95	70	80	53	71	26	0	94	126	238	270
9	284	106	82	75	119	52	105	94	0	35	155	187
10	318	138	117	109	152	85	138	126	35	0	155	187
11	438	284	180	233	278	211	264	238	181	155	0	48
12	469	296	271	264	309	242	290	270	212	187	48	0

ภาคผนวก ข

ข้อมูลรายการคำสั่งซื้อ ชื่อจุดส่งสินค้า ระยะทาง เวลาเดินทาง สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในการทดสอบโดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

ตารางผนวกที่ ข1 รายการคำสั่งซื้อที่ประกอบด้วยลูกค้า 20 ราย

ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	ชุมแพ	941.88	9	20
2	ชุมแพ	7,817.40	7	20
3	ชุมแพ	1,582.72	9	20
4	ชุมแพ	3,710.33	9	21
5	เมืองขอนแก่น	7,013.42	8	20
6	เมืองขอนแก่น	1,996.86	9	20
7	เมืองขอนแก่น	938.25	10	20
8	เมืองขอนแก่น	1,482.85	9	20
9	เมืองขอนแก่น	284.16	9	22
10	ภูเวียง	1,493.84	9	20
11	สีชมพู	2,493.36	9	20
12	ภูผาม่าน	1,233.32	9	20
13	ศรีบุญเรือง	6,490.15	7	20
14	ศรีบุญเรือง	3,972.06	9	20
15	น้ำพอง	3,405.83	9	20
16	น้ำพอง	148.20	9	20
17	น้ำพอง	894.78	9	20
18	กระนวน	1,543.44	9	20
19	กระนวน	928.94	9	20
20	นากลาง	657.84	8	20
20		49,029.63		

ตารางผนวกที่ ข2 รายการคำสั่งซื้อที่ประกอบด้วยลูกค้า 40 ราย

ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	ปากช่อง	1,035.46	8	18
2	ปากช่อง	1,709.65	9	18
3	ปากช่อง	1,599.50	9	18
4	ปากช่อง	1,412.78	9	18
5	เมืองนครราชสีมา	580.80	9	18
6	เมืองนครราชสีมา	496.00	9	18
7	เมืองนครราชสีมา	2,415.06	9	19
8	เมืองนครราชสีมา	807.84	9	18
9	เมืองนครราชสีมา	1,099.00	9	18
10	เมืองนครราชสีมา	525.64	9	18
11	ขามสะแกแสง	400.81	9	19
12	โนนสูง	434.66	9	18
13	โนนสูง	598.51	9	18
14	โนนสูง	1,329.50	9	18
15	พิมาย	1,406.38	9	18
16	พิมาย	698.85	9	18
17	จักราราช	4,522.06	9	18
18	จักราราช	1,670.86	9	18
19	ห้วยแถลง	768.41	9	18
20	ห้วยแถลง	1,423.48	9	18
21	ห้วยแถลง	429.30	9	18
22	ห้วยแถลง	1,552.21	9	18
23	โนนแดง	306.60	9	18
24	โนนแดง	1,475.21	9	18
25	คง	720.96	8	18
26	ลำปลายมาศ	1,611.43	9	18
27	ลำปลายมาศ	2,346.65	9	18

ตารางผนวกที่ ข2(ต่อ) รายการคำสั่งซื้อที่ประกอบด้วยลูกค้า 40 ราย

ลูกค้า (ที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
28	ลำปลายมาศ	741.00	9	18
29	ลำปลายมาศ	785.10	9	18
30	ปะทาย	1,482.00	9	18
31	เมืองบุรีรัมย์	4,520.14	7	20
32	เมืองบุรีรัมย์	4,314.30	9	20
33	เมืองบุรีรัมย์	1,756.04	9	20
34	เมืองบุรีรัมย์	386.58	9	20
35	เมืองบุรีรัมย์	4,520.14	9	20
36	เมืองบุรีรัมย์	4,314.30	9	20
37	ลำทะเมนชัย	2,021.91	8	18
38	ลำทะเมนชัย	820.48	9	18
39	แก้งคร้อ	2,687.07	8	18
40	แก้งคร้อ	1,098.47	9	18
40		62,825.14		

ตารางที่ผนวก ข3 ชื่อจุดส่งสินค้าสำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

Node. No	**ชื่อ**
1	โรงงาน
2	ปากช่อง
3	เมืองนครราชสีมา
4	โนนสูง
5	ขามสะแกแสง
6	พิมาย
7	จักราช
8	ห้วยแถลง
9	โนนแดง
10	คง
11	ลำปลายมาศ
12	ปะทาย
13	เมืองบุรีรัมย์
14	ลำทะเมนชัย
15	แก้งคร้อ
16	ชุมแพ
17	เมืองขอนแก่น
18	ด่านซ้าย
19	บรบือ
20	โกสุมพิสัย
21	ภูเวียง
22	เมืองมหาสารคาม
23	สีชมพู
24	ภูผาม่าน
25	เมืองหนองบัวลำภู
26	ศรีบุญเรือง

ตารางผนวกที่ ข3(ต่อ) ชื่อจุดส่งสินค้าสำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

Node. No	**ชื่อ**
27	น้ำพอง
28	วังสะพุง
29	กระนวน
30	ไพรบึง
31	โนนสะอาด
32	เมืองศรีสะเกษ
33	นากลาง
34	ป่าติ้ว
35	เอราวัณ
36	เมืองอำนาจเจริญ
37	เสนางนิคม
38	เมืองหนองคาย
39	เมืองมุกดาหาร
40	เขมราฐ
41	พรรณานิคม
42	สิรินธร
43	คำตากล้า
44	โพธิ์ไทร
45	นาแก
46	ธาตุพนม
47	ปากคาด
48	เรณูนคร
49	เมืองนครพนม
50	บ้านแพง
51	ท่าอุเทน
52	เมืองบึงกาฬ

ตารางผนวกที่ ข4 ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	231	313	357	364	375	376	384	392	395	413	421	433	441	443	497	504	511	511	520
2	231	0	90	134	145	152	153	161	169	179	190	198	210	217	219	274	281	345	288	297
3	313	90	0	44.9	58.5	63.3	63.2	71.2	79.8	82.8	99.9	109	136	128	175	230	192	402	199	208
4	357	134	44.9	0	34.8	29.6	72.3	63.7	46.2	49.1	92.5	75.2	129	94.8	167	221	159	399	166	174
5	364	145	58.5	34.8	0	61.2	111	95.3	61.7	27.1	12.4	90.7	161	131	131	185	174	363	181	190
6	375	152	63.3	29.6	61.2	0	44.4	35.8	42.6	45.6	64.6	71.6	101	66.9	163	218	155	395	162	171
7	376	153	63.2	72.3	111	44.4	0	29.9	85.2	88.2	58.7	114	95.2	105	206	260	198	438	205	214
8	384	161	71.2	63.7	95.3	35.8	29.9	0	76.8	79.7	35.8	106	72.4	68.8	197	252	189	429	196	205
9	392	169	79.8	46.2	61.7	42.6	85.2	76.8	0	40.7	105	36.8	142	80.6	133	187	125	365	132	141
10	395	179	82.8	49.1	27.1	45.6	88.2	79.7	40.7	0	108	69.7	145	110	127	182	153	359	160	169
11	413	190	99.9	92.5	12.4	64.6	58.7	35.8	105	108	0	78.7	45.8	42.3	226	280	218	458	180	234
12	421	198	109	75.2	90.7	71.6	114	106	36.8	69.7	78.7	0	128	59.2	137	191	129	369	136	144
13	433	210	136	129	161	101	95.2	72.4	142	145	45.8	128	0	66.8	246	306	225	484	160	204
14	441	217	128	94.8	131	66.9	105	68.8	80.6	110	42.3	59.2	66.8	0	184	239	176	417	140	192
15	443	219	175	167	131	163	206	197	133	127	226	137	246	184	0	60.9	98.4	239	123	128

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16	497	274	230	221	185	218	260	252	187	182	280	191	306	239	60.9	0	87.4	186	184	126
17	504	281	192	159	174	155	198	189	125	153	218	129	225	176	98.4	87.4	0	265	101	42.7
18	511	345	402	399	363	395	438	429	365	359	458	369	484	417	239	186	265	0	362	303
19	511	288	199	166	181	162	205	196	132	160	180	136	160	140	123	184	101	362	0	68.9
20	520	297	208	174	190	171	214	205	141	169	234	144	204	192	128	126	42.7	303	68.9	0
21	521	298	267	233	249	230	272	264	199	228	292	203	209	251	84.6	59.7	80.4	237	176	117
22	527	304	215	181	197	178	221	212	148	176	190	151	169	151	138	157	73.8	335	34.4	38
23	529	306	261	253	217	249	292	283	219	213	312	223	338	271	92.6	35.7	119	175	215	156
24	534	313	269	261	225	257	300	291	227	221	320	230	346	278	100	47.4	127	159	222	164
25	538	359	308	275	271	271	314	305	241	269	334	245	341	293	147	89.6	118	171	218	159
26	546	322	278	265	234	261	304	295	231	230	324	234	331	282	109	52.4	112	194	207	149
27	548	324	236	202	211	198	241	233	168	196	261	172	268	220	138	127	45.5	305	145	85.9
28	567	373	329	302	284	317	359	351	286	280	379	209	405	338	160	107	186	96.1	282	223
29	568	345	256	223	238	219	262	253	189	217	282	192	259	240	158	147	57.8	325	124	81.6
30	575	351	286	284	342	256	255	227	270	300	201	248	189	214	367	410	330	588	262	292

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
31	576	353	264	231	246	227	270	261	197	225	209	201	297	248	167	156	74.2	281	174	115
32	593	370	278	263	278	243	237	214	228	257	188	206	165	201	325	368	288	546	219	249
33	612	389	338	305	301	301	344	335	271	299	364	274	371	322	176	119	148	153	247	189
34	617	393	304	271	286	267	291	268	236	265	241	214	221	218	275	295	214	473	171	176
35	617	394	350	341	305	338	380	372	307	302	401	311	427	359	181	128	208	118	303	244
36	642	491	330	297	312	293	317	394	262	291	267	240	247	244	301	321	204	499	197	202
37	666	443	354	321	336	317	341	318	285	315	291	264	271	268	325	314	227	492	221	226
38	676	453	364	330	346	327	369	361	296	325	390	300	397	348	242	185	174	272	273	214
39	698	475	386	353	368	349	373	350	317	347	323	296	303	300	348	329	243	507	244	241
40	712	489	400	366	382	363	386	364	331	361	337	310	317	314	371	390	310	568	267	272
41	721	497	409	375	390	371	414	405	341	369	395	345	375	356	318	261	218	347	242	238
42	725	501	436	447	462	405	399	376	421	441	350	390	327	363	451	471	390	649	347	352
43	734	511	422	388	404	385	427	419	355	383	448	358	455	406	331	274	232	361	322	272
44	737	514	425	391	407	388	406	384	356	386	357	335	344	339	396	415	335	593	292	297
45	745	522	433	400	415	396	439	423	366	394	396	369	376	373	357	343	251	429	252	249

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
46	753	530	441	407	423	404	427	405	372	402	378	351	358	355	387	373	282	460	283	280
47	770	547	158	425	440	421	464	455	391	419	484	395	491	442	337	280	268	366	368	309
48	771	548	459	425	441	422	445	422	390	420	396	369	375	372	381	367	276	454	277	274
49	789	565	479	443	458	439	482	457	409	437	403	403	410	407	400	374	295	460	296	292
50	794	507	481	448	463	444	487	478	414	442	457	418	437	419	391	334	291	420	304	301
51	802	579	490	457	472	453	496	487	423	451	479	451	458	455	414	388	309	474	310	306
52	811	588	499	465	481	462	504	496	432	460	525	435	532	483	377	320	309	407	408	349

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	521	527	529	534	538	546	548	567	568	575	576	593	612	617	617	642	666	676	698	712
2	298	304	306	313	359	322	324	373	345	351	353	370	389	393	394	491	443	453	475	489
3	267	215	261	269	308	278	236	329	256	286	264	278	338	304	350	330	354	364	386	400
4	233	181	253	261	275	265	202	302	223	284	231	263	305	271	341	297	321	330	353	366
5	249	197	217	225	271	234	211	284	238	342	246	278	301	286	305	312	336	346	368	382
6	230	178	249	257	271	261	198	317	219	256	227	243	301	267	338	293	317	327	349	363
7	272	221	292	300	314	304	241	359	262	255	270	237	344	291	380	317	341	369	373	386
8	264	212	283	291	305	295	233	351	253	227	261	214	335	268	372	394	318	361	350	364
9	199	148	219	227	241	231	168	286	189	270	197	228	271	236	307	262	285	296	317	331
10	228	176	213	221	269	230	196	280	217	300	225	257	299	265	302	291	315	325	347	361
11	292	190	312	320	334	324	261	379	282	201	209	188	364	241	401	267	291	390	323	337
12	203	151	223	230	245	234	172	209	192	248	201	206	274	214	311	240	264	300	296	310
13	209	169	338	346	341	331	268	405	259	189	297	165	371	221	427	247	271	397	303	317
14	251	151	271	278	293	282	220	338	240	214	248	201	322	218	359	244	268	348	300	314
15	84.6	138	92.6	100	147	109	138	160	158	367	167	325	176	275	181	301	325	242	348	371

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
16	59.7	157	35.7	47.4	89.6	52.4	127	107	147	410	156	368	119	295	128	321	314	185	329	390
17	80.4	73.8	119	127	118	112	45.5	186	57.8	330	74.2	288	148	214	208	204	227	174	243	310
18	237	335	175	159	171	194	305	96.1	325	588	281	546	153	473	118	499	492	272	507	568
19	176	34.4	215	222	218	207	145	282	124	262	174	219	247	171	303	197	221	273	244	267
20	117	38	156	164	159	149	85.9	223	81.6	292	115	249	189	176	244	202	226	214	241	272
21	0	131	79	99.1	92.2	59.1	102	159	122	385	130	343	122	270	148	295	288	188	304	365
22	131	0	187	195	190	180	103	254	89.5	254	146	211	220	138	276	164	188	246	204	234
23	79	187	0	57.5	68.9	31.7	159	83	179	442	174	400	98.6	327	104	353	345	165	361	422
24	99.1	195	57.5	0	136	99.1	166	111	187	450	195	408	166	334	132	360	353	232	369	430
25	92.2	190	68.9	136	0	44.7	140	81.8	148	443	111	401	30.8	327	57.2	353	352	102	327	423
26	59.1	180	31.7	99.1	44.7	0	115	125	186	459	150	417	74.4	343	101	369	362	140	366	439
27	102	103	159	166	140	115	0	226	33.9	346	50	303	171	230	197	256	243	150	259	326
28	159	254	83	111	81.8	125	226	0	229	509	192	467	63.9	394	28.6	420	413	183	408	489
29	122	89.5	179	187	148	186	33.9	229	0	332	69	209	177	216	204	242	229	156	245	321
30	385	254	442	450	443	459	346	509	332	0	375	41.1	449	156	506	163	186	475	252	188

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	130	146	174	195	111	150	50	192	69	375	0	356	142	283	168	308	296	121	247	378
32	343	211	400	408	401	417	303	467	209	41.1	356	0	407	114	464	139	163	432	218	165
33	122	220	98.6	166	30.8	74.4	171	63.9	177	449	142	407	0	357	39.2	383	382	132	357	452
34	270	138	327	334	327	343	230	394	216	156	283	114	357	0	415	25.9	49.8	385	116	95.5
35	148	276	104	132	57.2	101	197	28.6	204	506	168	464	39.2	415	0	441	408	158	384	511
36	295	164	353	360	353	369	256	420	242	163	308	139	383	25.9	441	0	23.9	375	89.9	70.1
37	288	188	345	353	352	362	243	413	229	186	296	163	382	49.8	408	23.9	0	363	77.7	93.6
38	188	246	165	232	102	140	150	183	156	475	121	432	132	385	158	375	363	0	330	419
39	304	204	361	369	327	366	259	408	245	252	247	218	357	116	384	89.9	77.7	330	0	89.9
40	365	234	422	430	423	439	326	489	321	188	378	165	452	95.5	511	70.1	93.6	419	89.9	0
41	263	207	240	308	178	216	194	258	156	403	168	369	207	266	234	241	228	180	153	246
42	446	314	503	510	503	519	406	507	392	173	459	162	533	202	591	177	200	559	266	152
43	277	288	254	321	191	230	208	272	196	484	179	449	221	347	247	321	309	162	234	326
44	390	259	447	455	459	464	351	514	337	193	403	169	488	121	515	95.2	132	461	134	428
45	313	218	322	377	259	298	276	340	253	325	247	291	289	189	315	163	151	262	75	168

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
46	343	249	353	408	290	328	307	371	284	307	278	273	320	170	346	145	132	293	56.8	150
47	282	340	259	326	196	235	244	277	251	569	215	527	226	455	256	429	417	94.7	342	434
48	337	243	347	402	284	322	301	365	278	325	272	290	314	188	340	162	150	287	74.2	167
49	356	261	353	421	291	329	307	371	269	359	278	325	320	222	347	197	184	293	109	202
50	336	270	313	381	251	289	267	331	255	442	238	408	280	305	307	279	267	240	192	285
51	370	275	367	435	305	343	321	385	283	408	292	373	334	271	361	245	233	270	158	250
52	323	353	300	367	237	275	285	318	261	537	256	503	267	401	293	375	363	135	287	380

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
1	721	725	734	737	745	753	770	771	789	794	802	811
2	497	501	511	514	522	530	547	548	565	507	579	588
3	409	436	422	425	433	441	158	459	479	481	490	499
4	375	447	388	391	400	407	425	425	443	448	457	465
5	390	462	404	407	415	423	440	441	458	463	472	481
6	371	405	385	388	396	404	421	422	439	444	453	462
7	414	399	427	406	439	427	464	445	482	487	496	504
8	405	376	419	384	423	405	455	422	457	478	487	496
9	341	421	355	356	366	372	391	390	409	414	423	432
10	369	441	383	386	394	402	419	420	437	442	451	460
11	395	350	448	357	396	378	484	396	403	457	479	525
12	345	390	358	335	369	351	395	369	403	418	451	435
13	375	327	455	344	376	358	491	375	410	437	458	532
14	356	363	406	339	373	355	442	372	407	419	455	483
15	318	451	331	396	357	387	337	381	400	391	414	377

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
16	261	471	274	415	343	373	280	367	374	334	388	320
17	218	390	232	335	251	282	268	276	295	291	309	309
18	347	649	361	593	429	460	366	454	460	420	474	407
19	242	347	322	292	252	283	368	277	296	304	310	408
20	238	352	272	297	249	280	309	274	292	301	306	349
21	263	446	277	390	313	343	282	337	356	336	370	323
22	207	314	288	259	218	249	340	243	261	270	275	353
23	240	503	254	447	322	353	259	347	353	313	367	300
24	308	510	321	455	377	408	326	402	421	381	435	367
25	178	503	191	459	259	290	196	284	291	251	305	237
26	216	519	230	464	298	328	235	322	329	289	343	275
27	194	406	208	351	276	307	244	301	307	267	321	285
28	258	507	272	514	340	371	277	365	371	331	385	318
29	156	392	196	337	253	284	251	278	269	255	283	261
30	403	173	484	193	325	307	569	325	359	442	408	537

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
31	168	459	179	403	247	278	215	272	278	238	292	256
32	369	162	449	169	291	273	527	290	325	408	373	503
33	207	533	221	488	289	320	226	314	320	280	334	267
34	266	202	347	121	189	170	455	188	222	305	271	401
35	234	591	247	515	315	346	256	340	347	307	361	293
36	241	177	321	95.2	163	145	429	162	197	279	245	375
37	228	200	309	132	151	132	417	150	184	267	233	363
38	180	559	162	461	262	293	94.7	287	293	240	270	135
39	153	266	234	134	75	56.8	342	74.2	109	192	158	287
40	246	152	326	428	168	150	434	167	202	285	250	380
41	0	417	83.5	284	84.5	115	167	109	116	124	130	149
42	417	0	502	137	343	325	610	343	377	460	426	556
43	83.5	502	0	364	164	195	100	189	196	76.1	121	81.8
44	284	137	364	0	206	188	427	205	240	323	288	418
45	84.5	343	164	206	0	37.4	249	31.2	89.3	172	138	230

ตารางผนวกที่ ข4(ต่อ) ระยะทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
46	115	325	195	188	37.4	0	294	26.6	60.7	144	110	239
47	167	610	100	427	249	294	0	292	234	157	188	52.7
48	109	343	189	205	31.2	26.6	292	0	60.2	143	109	239
49	116	377	196	240	89.3	60.7	234	60.2	0	87.3	53.1	183
50	124	460	76.1	323	172	144	157	143	87.3	0	39.3	104
51	130	426	121	288	138	110	188	109	53.1	39.3	0	135
52	149	556	81.8	418	230	239	52.7	239	183	104	135	0

ตารางผนวกที่ ข5 เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
1	0	170	221	257	276	262	285	280	286	279	303	298	306	339	325	363	347	311	355	364
2	170	0	70	106	125	111	134	130	156	128	152	147	155	188	174	213	196	281	204	213
3	221	70	0	44	65	49	67	63	73	66	86	85	114	126	140	179	134	309	142	151
4	257	106	44	0	54	32	84	64	57	49	87	68	114	109	136	175	117	320	125	134
5	276	125	65	54	0	74	124	105	84	43	128	95	156	147	134	173	144	381	153	161
6	262	111	49	32	74	0	57	37	50	42	60	61	88	83	129	168	110	313	119	127
7	285	134	67	84	124	57	0	51	101	93	74	113	102	129	181	219	162	364	170	179
8	280	130	63	64	105	37	51	0	82	74	42	94	70	100	162	200	143	345	151	159
9	286	156	73	57	84	50	101	82	0	54	105	51	133	104	125	164	106	309	105	123
10	279	128	66	49	43	42	93	74	54	0	97	64	125	115	126	165	112	310	121	129
11	303	152	86	87	128	60	74	42	105	97	0	105	49	79	183	222	164	367	151	181
12	298	147	85	68	95	61	113	94	51	64	105	0	121	82	120	159	102	304	110	118
13	306	155	114	114	156	88	102	70	133	125	49	121	0	93	210	142	184	327	140	177
14	339	188	126	109	147	83	129	100	104	115	79	82	93	0	176	215	158	360	145	175
15	325	174	140	136	134	129	181	162	125	126	183	120	210	176	0	60	92	205	107	112

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
16	363	213	179	175	173	168	219	200	164	165	222	159	142	215	60	0	69	161	141	104
17	347	196	134	117	144	110	162	143	106	112	164	102	184	158	92	69	0	214	81	44
18	311	281	309	320	381	313	364	345	309	310	367	304	327	360	205	161	214	0	284	247
19	355	204	142	125	153	119	170	151	105	121	151	110	140	145	107	141	81	284	0	68
20	364	213	151	134	161	127	179	159	123	129	181	118	177	175	112	104	44	247	68	0
21	415	265	207	191	218	184	235	216	180	186	238	175	258	231	112	77	85	219	155	119
22	357	206	144	127	154	120	171	152	116	122	155	111	143	149	109	122	62	264	34	40
23	397	246	212	208	207	201	253	234	197	198	255	192	275	349	93	43	102	220	172	136
24	384	251	217	213	211	206	257	238	202	203	260	197	280	253	98	54	107	149	177	141
25	430	279	242	225	239	218	269	250	214	220	270	209	292	266	126	76	116	162	189	153
26	411	240	226	220	220	213	264	245	209	212	267	204	287	260	107	57	114	201	184	148
27	384	233	171	154	182	148	199	180	204	150	201	139	222	195	125	102	45	244	118	83
28	432	286	252	248	246	241	292	273	237	238	295	232	315	288	133	89	142	104	212	176
29	414	263	201	184	211	177	228	209	173	179	231	168	227	224	156	133	74	275	117	106
30	406	255	214	239	274	213	216	195	238	249	174	215	153	211	301	321	257	464	226	239

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
31	408	257	195	178	206	172	223	204	168	174	225	163	246	219	149	126	69	253	142	107
32	422	271	218	216	243	192	206	174	200	211	153	178	140	191	264	283	219	426	188	202
33	458	307	270	254	268	247	298	279	243	249	301	238	321	294	155	105	144	151	217	182
34	435	284	222	205	232	198	243	211	189	200	190	166	179	189	215	230	166	372	140	208
35	452	301	267	263	261	256	308	289	252	253	310	247	330	303	148	104	157	121	227	191
36	454	304	241	225	252	218	262	230	209	220	210	186	198	208	234	250	186	392	159	228
37	482	332	269	253	280	246	290	258	237	248	238	214	226	236	262	267	201	409	187	196
38	482	317	254	238	265	231	282	263	227	233	285	222	305	278	196	146	128	236	201	166
39	495	344	282	265	292	258	303	271	249	260	250	227	239	249	273	254	188	396	198	197
40	517	366	304	267	315	281	325	293	272	283	270	249	261	271	297	313	248	455	222	231
41	515	364	301	265	312	278	329	310	274	280	321	269	310	315	257	207	175	297	202	201
42	544	394	352	341	368	325	339	307	325	336	286	302	273	323	351	366	302	508	276	284
43	538	387	325	308	335	301	352	333	297	303	355	292	375	348	280	230	199	320	269	236
44	561	410	348	331	359	325	356	324	316	327	304	293	290	315	341	357	293	499	266	275
45	541	391	328	312	339	305	356	334	301	307	314	290	302	312	293	273	208	363	218	217

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
46	544	393	331	314	341	307	352	320	298	309	299	276	288	298	315	295	230	385	240	239
47	550	399	337	320	348	313	365	346	309	316	307	305	388	361	279	229	211	319	284	349
48	560	409	347	330	357	323	368	336	314	325	315	291	304	314	317	297	232	387	242	241
49	557	406	344	327	355	320	372	348	317	323	327	304	316	326	309	279	224	369	234	233
50	600	450	387	371	398	364	415	396	360	366	404	355	392	398	343	293	261	383	264	283
51	595	444	382	365	393	358	410	391	355	361	370	346	359	369	347	317	262	407	272	271
52	566	415	353	336	364	329	381	362	325	332	383	321	404	377	295	245	227	335	300	265

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
1	415	357	397	384	430	411	384	432	414	406	408	422	458	435	452	454	482	482	495	517
2	265	206	246	251	279	240	233	286	263	255	257	271	307	284	301	304	332	317	344	366
3	207	144	212	217	242	226	171	252	201	214	195	218	270	222	267	241	269	254	282	304
4	191	127	208	213	225	220	154	248	184	239	178	216	254	205	263	225	253	238	265	267
5	218	154	207	211	239	220	182	246	211	274	206	243	268	232	261	252	280	265	292	315
6	184	120	201	206	218	213	148	241	177	213	172	192	247	198	256	218	246	231	258	281
7	235	171	253	257	269	264	199	292	228	216	223	206	298	243	308	262	290	282	303	325
8	216	152	234	238	250	245	180	273	209	195	204	174	279	211	289	230	258	263	271	293
9	180	116	197	202	214	209	204	237	173	238	168	200	243	189	252	209	237	227	249	272
10	186	122	198	203	220	212	150	238	179	249	174	211	249	200	253	220	248	233	260	283
11	238	155	255	260	270	267	201	295	231	174	225	153	301	190	310	210	238	285	250	270
12	175	111	192	197	209	204	139	232	168	215	163	178	238	166	247	186	214	222	227	249
13	258	143	275	280	292	287	222	315	227	153	246	140	321	179	330	198	226	305	239	261
14	231	149	349	253	266	260	195	288	224	211	219	191	294	189	303	208	236	278	249	271
15	112	109	93	98	126	107	125	133	156	301	149	264	155	215	148	234	262	196	273	297

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
16	77	122	43	54	76	57	102	89	133	321	126	283	105	230	104	250	267	146	254	313
17	85	62	102	107	116	114	45	142	74	257	69	219	144	166	157	186	201	128	188	248
18	219	264	220	149	162	201	244	104	275	464	253	426	151	372	121	392	409	236	396	455
19	155	34	172	177	189	184	118	212	117	226	142	188	217	140	227	159	187	201	198	222
20	119	40	136	141	153	148	83	176	106	239	107	202	182	208	191	228	196	166	197	231
21	0	142	109	116	110	93	121	151	152	341	145	303	139	250	157	269	287	181	274	332
22	142	0	153	157	170	164	96	192	87	199	150	161	198	107	208	127	155	182	165	190
23	109	153	0	86	71	52	135	93	166	355	158	317	99	264	208	283	301	141	288	346
24	116	157	86	0	120	201	138	105	169	358	162	320	149	267	120	286	304	190	291	349
25	110	170	71	120	0	51	109	71	132	362	695	324	34	271	51	290	298	78	245	353
26	93	164	52	201	51	0	142	115	173	368	136	331	77	277	95	297	314	119	286	360
27	121	96	135	138	109	142	0	172	42	284	56	246	138	193	155	212	228	115	214	275
28	151	192	93	105	71	115	172	0	199	394	163	356	61	302	30	322	340	145	313	385
29	152	87	166	169	132	173	42	199	0	275	90	237	157	184	175	204	219	135	206	267
30	341	199	355	358	362	368	284	394	275	0	305	41	380	130	391	142	169	364	205	169

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
31	145	150	158	162	695	136	56	163	90	305	0	274	126	220	143	240	255	103	221	303
32	303	161	317	320	324	331	246	356	237	41	274	0	342	91	352	108	136	325	166	135
33	139	198	99	149	34	77	138	61	157	380	126	342	0	301	41	321	328	108	276	384
34	250	107	264	267	271	277	193	302	184	130	220	91	301	0	315	20	48	285	83	83
35	157	208	208	120	51	95	155	30	175	391	143	352	41	315	0	336	346	126	293	399
36	269	127	283	286	290	297	212	322	204	142	240	108	321	20	336	0	29	301	64	65
37	287	155	301	304	298	314	228	340	219	169	255	136	328	48	346	29	0	303	66	91
38	181	182	141	190	78	119	115	145	135	364	103	325	108	285	126	301	303	0	243	354
39	274	165	288	291	245	286	214	313	206	205	221	166	276	83	293	64	66	243	0	113
40	332	190	346	349	353	360	275	385	267	169	303	135	384	83	399	65	91	354	113	0
41	242	171	202	250	139	180	162	206	157	318	150	280	169	197	187	178	180	137	121	231
42	385	243	399	402	407	413	328	438	320	164	356	133	437	161	452	143	169	415	205	158
43	265	238	225	274	162	203	185	229	187	386	173	347	193	264	210	245	247	160	188	299
44	376	234	390	390	396	404	319	429	311	183	347	150	426	127	464	109	138	394	152	65
45	294	187	268	311	205	246	228	272	226	268	216	230	235	147	253	128	130	203	71	181

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38	39	40
46	317	210	390	333	227	268	250	294	248	254	238	216	257	133	275	114	105	225	56	167
47	263	265	224	273	161	202	198	228	217	447	186	408	191	343	209	324	326	85	267	378
48	318	211	292	335	229	269	252	296	250	270	240	231	259	148	277	129	71	227	72	183
49	310	203	274	323	211	252	234	278	228	282	222	244	241	161	259	142	143	209	84	195
50	328	253	288	337	225	266	248	292	249	357	236	319	255	236	273	217	219	189	160	271
51	348	241	312	361	249	290	272	316	266	325	260	286	279	203	297	184	186	209	127	238
52	279	277	240	289	177	218	214	244	225	414	202	375	267	292	225	273	275	101	216	327

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
1	515	544	538	561	541	544	550	560	557	600	595	566
2	364	394	387	410	391	393	399	409	406	450	444	415
3	301	352	325	348	328	331	337	347	344	387	382	353
4	265	341	308	331	312	314	320	330	327	371	365	336
5	312	368	335	359	339	341	348	357	355	398	393	364
6	278	325	301	325	305	307	313	323	320	364	358	329
7	329	339	352	356	356	352	365	368	372	415	410	381
8	310	307	333	324	334	320	346	336	348	396	391	362
9	274	325	297	316	301	298	309	314	317	360	355	325
10	280	336	303	327	307	309	316	325	323	366	361	332
11	321	286	355	304	314	299	307	315	327	404	370	383
12	269	302	292	293	290	276	305	291	304	355	346	321
13	310	273	375	290	302	288	388	304	316	392	359	404
14	315	323	348	315	312	298	361	314	326	398	369	377
15	257	351	280	341	293	315	279	317	309	343	347	295

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
16	207	366	230	357	273	295	229	297	279	293	317	245
17	175	302	199	293	208	230	211	232	224	261	262	227
18	297	508	320	499	363	385	319	387	369	383	407	335
19	202	276	269	266	218	240	284	242	234	264	272	300
20	201	284	236	275	217	239	349	241	233	283	271	265
21	242	385	265	376	294	317	263	318	310	328	348	279
22	171	243	238	234	187	210	265	211	203	253	241	277
23	202	399	225	390	268	390	224	292	274	288	312	240
24	250	402	274	390	311	333	273	335	323	337	361	289
25	139	407	162	396	205	227	161	229	211	225	249	177
26	180	413	203	404	246	268	202	269	252	266	290	218
27	162	328	185	319	228	250	198	252	234	248	272	214
28	206	438	229	429	272	294	228	296	278	292	316	244
29	157	320	187	311	226	248	217	250	228	249	266	225
30	318	164	386	183	268	254	447	270	282	357	325	414

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
31	150	356	173	347	216	238	186	240	222	236	260	202
32	280	133	347	150	230	216	408	231	244	319	286	375
33	169	437	193	426	235	257	191	259	241	255	279	267
34	197	161	264	127	147	133	343	148	161	236	203	292
35	187	452	210	464	253	275	209	277	259	273	297	225
36	178	143	245	109	128	114	324	129	142	217	184	273
37	180	169	247	138	130	105	326	71	143	219	186	275
38	137	415	160	394	203	225	85	227	209	189	209	101
39	121	205	188	152	71	56	267	72	84	160	127	216
40	231	158	299	65	181	167	378	183	195	271	238	327
41	0	319	49	269	78	100	165	102	84	134	62	118
42	319	0	394	164	277	262	473	278	290	366	333	422
43	49	394	0	332	141	163	123	165	147	99	124	75
44	269	164	332	0	222	207	418	223	235	311	278	367
45	78	277	141	222	0	51	231	53	79	155	122	184

ตารางผนวกที่ ข5(ต่อ) เวลาเดินทาง (กิโลเมตร) สำหรับตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อที่มีลูกค้า 20 และ 40 ราย

	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52
46	100	262	163	207	51	0	239	44	56	132	99	188
47	165	473	123	418	231	239	0	242	187	141	101	53
48	102	278	165	223	53	44	242	0	57	132	99	188
49	84	290	147	235	79	56	187	57	0	81	48	137
50	134	366	99	311	155	132	141	132	81	0	54	89
51	62	333	124	278	122	99	101	99	48	54	0	109
52	118	422	75	367	184	188	53	188	137	89	109	0

ภาคผนวก ค

ตัวอย่างการคำนวณ

ค1. ตัวอย่างการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าขั้นตอนวิธีการจัดรถขนส่งสินค้าที่นำเสนอ

ในหัวข้อนี้ จะยกตัวอย่างการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าตามขั้นตอนวิธีการที่นำเสนอ โดยใช้ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อสินค้า ดังตารางผนวกที่ ค1

ตารางผนวกที่ ค1 ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อสินค้าสำหรับแสดงวิธีการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า

ตัวอย่าง	ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา	
				เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	1	สีคิ้ว	2,500	6 am.	6 pm.
	2	สีคิ้ว	2,500	8 am.	6 pm.
	3	สูงเนิน	3,500	9 am.	4 pm.
	4	เมือง นครราชสีมา	2,000	9 am.	8 pm.
	5	เมือง นครราชสีมา	2,000	9 am.	8pm.
	6	เมือง นครราชสีมา	2,000	9 am.	8pm.
	7	พิมาย	1,500	8 am.	9 pm.
	8	พิมาย	4,000	8 am.	7 pm.
	9	ชุมพวง	3,500	9 am.	8 pm.
	10	ชุมพวง	1,500	9 am.	8 pm
รวม	10		25,000		

จากตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อข้างต้นสามารถดำเนินการตามขั้นตอนการจัดรถขนส่งด้วยวิธีการที่นำเสนอได้ ดังนี้

ค1.1. ตัวอย่างการเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 1 นำเข้าข้อมูล(Input) ซึ่งประกอบด้วย จำนวนลูกค้า สถานที่จัดส่ง ชนิดและปริมาณความต้องการสินค้า ดังตารางผนวกที่ ค1 เพื่อนำข้อมูลดังกล่าวไปใช้ในการคำนวณในขั้นตอนต่อไป

ขั้นตอนที่ 2 ระบุลูกค้าตามเขตอำเภอในการจัดส่งสินค้า

ขั้นตอนที่ 3 รวมน้ำหนักสินค้าทั้งหมดในทุกเขตพื้นที่ในการจัดส่งสินค้าจากสมการที่(13) หน้า 37

ขั้นตอนที่ 4 เลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าที่มีต้นทุนในการขนส่งสินค้าต่ำที่สุดจากการพิจารณาฟังก์ชั่นวัตถุประสงค์ ตัวแปรตัดสินใจ และเงื่อนไขดังสมาการที่ (14) – (16) หน้า 37 จากขั้นตอนที่ 4 พิจารณาเลือกใช้รถจากโอกาสที่เป็นไปได้ทั้งหมด ดังตัวอย่างในตารางผนวกที่ ค2

ตารางผนวกที่ ค2 ตัวอย่างโอกาสที่เป็นไปได้ในการเลือกใช้รถขนส่งทั้งหมดจากตัวอย่างคำสั่งซื้อ

ลำดับที่	4 ล้อ	6 ล้อ	10 ล้อ	เทรลเลอร์	ความสามารถในการบรรทุกสูงสุด (กิโลกรัม)	ต้นทุนค่าขนส่งคงที่ (บาท)
1*	6	0	0	0	25,200*	7,068*
2	2	2	0	0	28,400	5,880
3	3	0	1	0	28,600	6,623
4*	0	1	1	0	26,000*	4,851*
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮

จากตาราง จะเห็นว่า มีโอกาสในการเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้าลำดับที่ 1 และ 4 เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด คือ ความสามารถในการบรรทุกจะต้องมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการสินค้าที่จะต้องจัดส่งทั้งหมดแต่ไม่เกิน 1,000 กิโลกรัม และเมื่อเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งคงที่ ที่จะเกิดขึ้นจากการเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่ง พบว่า โอกาสในการเลือก

รถในลำดับที่ 4 มีต้นทุนค่าขนส่งคงที่ต่ำกว่า ดังนั้น ในขั้นตอนนี้จึงเลือกใช้ผลการเลือกรถในลำดับที่ 4 คือ รถ 10 ล้อ จำนวน 1 คัน และรถ 6 ล้อ จำนวน 1 คัน

ค1.2. ตัวอย่างการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า

กรณีที่ 1 มีลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าขีดความสามารถของรถขนาดใหญ่ที่สุด ดำเนินการตามขั้นตอน ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับความสามารถในการบรรทุกสินค้า(Q_{km}) ของรถบรรทุกที่ได้คำตอบจากขั้นตอนที่ 1 จากมากไปน้อยจะได้ ดังนี้

ลำดับที่ 1 รถ 10 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุก 16,000 กิโลกรัม
ลำดับที่ 2 รถ 6 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุก 10,000 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาตำแหน่งลูกค้าที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าหรือเท่ากับขีดความสามารถของรถในลำดับที่ 1 คือ รถ 10 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุก 16,000 กิโลกรัม พบว่า ไม่มีลูกค้ารายใดที่มีความต้องการสินค้ามากกว่าหรือเท่ากับ 16,000 กิโลกรัม ดังนั้น ขั้นตอนวิธีจะหยุดและดำเนินการในตามขั้นตอนวิธีในกรณีที่ 2 ต่อไป

กรณีที่ 2 การจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าสำหรับลูกค้าส่วนที่เหลือจากการพิจารณาในกรณีที่ 1 และกรณีที่มีแบ่งสินค้าได้ด้วยรถขนส่งมากกว่า 1 คัน สำหรับขั้นตอนนี้ ตั้งสมมติฐานว่าลูกค้าทุกรายยินยอมให้มีการแบ่งสินค้าได้ ดำเนินการดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 เรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าเร็วที่สุด (E_i) ของลูกค้าแต่ละรายทั้งหมด จากน้อยไปมาก โดยพิจารณาในหน่วยนาทีสำหรับการคำนวณ โดยกำหนดให้รถออกจากโรงงานเวลา 9.00 น. เสมอ ดังนั้น ที่เวลา 9.00 น. จะเท่ากับนาทีที่ 0 (ถ้ามีเวลาเท่ากันให้เรียงลำดับโดยระยะทางจากน้อยไปมาก) ในขั้นตอนนี้ จะได้ผลดังแสดงในตารางผนวกที่ ค3

ตารางผนวกที่ ค3 ผลจากการเรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าเร็วที่สุด (E_i)

ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	เวลามาถึงเร็วสุด(นาทีที่)
1	สีคิ้ว	- 240
2	สีคิ้ว	- 60
7	พิมาย	- 60
8	พิมาย	- 60
3	สูงเนิน	0
4	เมือง นครราชสีมา	0
5	เมือง นครราชสีมา	0
6	เมือง นครราชสีมา	0
9	ชุมพวง	0
10	ชุมพวง	0

ขั้นตอนที่ 2 เรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าช้าที่สุด (L_i) ของลูกค้าแต่ละรายทั้งหมด จากมากไปน้อย (ถ้ามีเวลาเท่ากันให้เรียงลำดับโดยระยะทางจากมากไปน้อย) ในขั้นตอนนี้จะได้ผลดังแสดงในตารางผนวกที่ ค4

ตารางผนวกที่ ค4 ผลการเรียงลำดับเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าช้าที่สุด (L_i)

ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	เวลามาถึงช้าสุด(นาทีที่)
7	พิมาย	720
9	ชุมพวง	660
10	ชุมพวง	660
4	เมือง นครราชสีมา	660
5	เมือง นครราชสีมา	660
6	เมือง นครราชสีมา	660
8	พิมาย	600
1	สีคิ้ว	540
2	สีคิ้ว	540
3	สูงเนิน	420

ขั้นตอนที่ 3 เรียงลำดับตามขีดสามารถในการบรรทุกของรถที่เหลือจากการพิจารณาในกรณีที่ 1 จากมากไปน้อย เนื่องจากในกรณี 1 ไม่พบลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าเกินขีดความสามารถในการบรรทุกของรถคันใหญ่ที่สุด การจัดลำดับของรถขนส่งยังคงไม่เปลี่ยนแปลง ดังนี้

ลำดับที่ 1 รถ 10 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุก 16,000 กิโลกรัม

ลำดับที่ 2 รถ 6 ล้อ มีความสามารถในการบรรทุก 10,000 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 4 เริ่มต้นขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทาง โดยการเลือกรถขนส่งที่มีขีดความสามารถในการบรรทุกสูงสุดจากขั้นตอนการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 3 เพื่อกำหนดลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุดให้กับเส้นทาง และเลือกลูกค้าที่มีเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าเร็วที่สุด (E_i) น้อยที่สุดจากการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 1 มาเป็นลูกค้าเริ่มต้น และเลือกลูกค้าที่มีเวลาที่อนุญาตให้มาถึงลูกค้าช้าที่สุด (L_i) จากการเรียงลำดับในขั้นตอนที่ 2 มาเป็นลูกค้าสิ้นสุดของเส้นทาง ในขั้นตอนนี้ จะได้เซตของเส้นทางเริ่มต้น ดังนี้ [(1) , (7)] หรือ ได้เส้นทางเริ่มต้นคือ โรงงาน → (1)สีคิ้ว → (7)พิมาย → โรงงาน สำหรับใช้ในการแทรกลูกค้าระหว่างเส้นทาง (1)สีคิ้ว → (7)พิมาย ในขั้นตอนถัดไป ดังนั้น เมื่อตัดลูกค้าที่ถูกเลือกในขั้นตอนนี้ออกจากการพิจารณา จะได้ลูกค้าที่เหลือสำหรับการแทรกในขั้นตอนถัดไป ดังแสดงดังตารางผนวกที่ ค5

ตารางผนวกที่ ค5 ลูกค้าที่เหลือจากการจัดเส้นทางเริ่มต้นสำหรับใช้ในขั้นตอนการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางเริ่มต้น

ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา (นาที)	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
2	สีคิ้ว	2,500	- 60	540
3	สูงเนิน	3,500	0	420
4	เมือง นครราชสีมา	2,000	0	660
5	เมือง นครราชสีมา	2,000	0	660
6	เมือง นครราชสีมา	2,000	0	660
8	พิมาย	4,000	- 60	600
9	ชุมพวง	3,500	0	660
10	ชุมพวง	1,500	0	660

ขั้นตอนที่ 5 ทำการแทรกลูกค้าด้วยวิธีการแทรกไปข้างหน้า (Push Forward Insertion Heuristic) เข้าไปในเซตระหว่างลูกค้าเริ่มต้นและลูกค้าสิ้นสุดโดยการพิจารณาลูกค้าที่มีระยะทาง (d_{ij}) จากลูกค้าเริ่มต้นน้อยที่สุดจากตารางระยะทางเดินทางที่สร้างขึ้นตามลำดับทีละปม จนครบจำนวนตามขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถแต่ละคัน ขั้นตอนนี้จะต้องพิจารณาเงื่อนไขขีดความสามารถสูงสุดในการบรรทุกและเวลาที่ไปถึงให้อยู่ในกรอบของเวลาที่กำหนดโดยอนุญาตให้ไปถึงก่อนเวลาได้ไม่เกิน 30 นาที โดยมีลูกค้าที่เหลืออยู่สำหรับการแทรกดังตัวอย่างการแทรกในตารางผนวกที่ ค6

ขั้นตอนที่ 6 คำนวณค่าขนส่ง จากตัวอย่างการจัดรถขนส่งสินค้าข้างต้น ได้ดังนี้

ต้นทุนคงที่ รถ 10 ล้อ จำนวน 1 คัน จะได้ $(1{,}762 \times 1) = 4{,}851$ บาท

ต้นทุนผันแปร รถ 10 ล้อ มีระยะทางเท่ากับ 757.8 กิโลเมตร

จะได้ $(10 \times 757.8) = 7{,}578$ บาท

ต้นทุนรวม เท่ากับ ต้นทุนคงที่ + ต้นทุนผันแปร

จะได้ $(4{,}851 + 7{,}578) = 12{,}492$ บาท

ตารางผนวกที่ ค6 ตัวอย่างการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางเริ่มต้น

		การแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทาง	**น้ำหนัก(กิโลกรัม)**
เส้นทางเริ่มต้น	เส้นทาง (กิโลเมตร)	โรงงาน → (1) → (7) → โรงงาน	750
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	0 → 2,500 → 1,500 →0	4,000✓
	เวลาเดินทาง (นาที)	0 → 213 →82 → 284	-
	เวลาให้บริการ (นาที)	0 → 31 → 19 →0	-
	เวลาที่ไปถึง (นาทีที่)	0 → 213✓ → 326 ✓→ 629	-
แทรกครั้งที่ 1	เส้นทาง (กิโลเมตร)	โรงงาน → (1) → (2)* → (7) → โรงงาน	750
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	0 → 2,500 → 2,500* → 1,500 →0	6,500✓
	เวลาเดินทาง (นาที)	0 → 213 → 0 →82 → 284	-
	เวลาให้บริการ (นาที)	0 → 31 → 31 → 19 →0	-
	เวลาที่ไปถึง (นาทีที่)	0 → 213✓ → 244✓ → 357✓ → 660	-
แทรกครั้งที่ 2	เส้นทาง (กิโลเมตร)	โรงงาน → (1) → (2) → (3)* → (7) → โรงงาน	755.3
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	0 → 2,500 → 2,500 → 3,500 → 1,500 →0	10,000✓
	เวลาเดินทาง (นาที)	0 → 213 → 0 →22 → 75 → 284	-
	เวลาให้บริการ (นาที)	0 → 31 → 31 → 43 →19 →0	-
	เวลาที่ไปถึง (นาทีที่)	0 → 213✓ → 244✓ → 297✓ → 415✓ →718	-
⋮	⋮	⋮	⋮
แทรกครั้งที่ 5	เส้นทาง (กิโลเมตร)	โรงงาน → (1) → (2) → (3) → (4)→ (5) → (6)* → (7) → โรงงาน	757.8
	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	0 → 2,500 → 2,500 → 3,500 → 2,000→ 2,000 → 2,000 → 1,500 → 0	16,000✓
	เวลาเดินทาง (นาที)	0 → 2,500 → 2,500 → 3,500 → 2,000→ 2,000 → 2,000 → 1,500 → 0	
	เวลาให้บริการ (นาที)	0 → 31 → 31 → 43 → 25→ 25 → 25 → 19 → 0	
	เวลาที่ไปถึง (นาทีที่)	0 → 213✓ → 244✓ → 297✓ → 376✓ → 401✓ → 426✓ → 503✓ → 806	

หมายเหตุ: (*) คือ ลูกค้าที่ถูกแทรก, (✓) เป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนการแบ่งสินค้า (Split delivery) เมื่อเกิดกรณีที่ไม่สามารถแทรกลูกค้าได้เนื่องจากความต้องการสินค้า มีมากกว่าขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถคงเหลือ โดยจะยอมให้มีการแบ่งสินค้าได้ โดยการพิจารณาความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ของแต่ละคันตามลำดับ ดังตัวอย่างต่อไปนี้

ตารางผนวกที่ ค7 ตัวอย่าง เส้นทางในระหว่างการดำเนินการจัดเส้นทาง

ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา (นาที)	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	สีคิ้ว	2,000	- 60	540
2	สูงเนิน	4,000	0	420
3	เมือง นครราชสีมา	3,000	0	660
4	เมือง นครราชสีมา	3,000	0	660
5	พิมาย	2,000	0	720

เมื่อขั้นตอนวิธีเลือกใช้ประเภทและจำนวนรถขนส่งดังนี้ ลำดับที่ 1 รถ 6 ล้อ จำนวน 1 คัน มีขีดความสามารถในการบรรทุก 10,000 กิโลกรัม และลำดับที่ 2 รถ 4 ล้อ จำนวน 1 คัน มีขีดความสามารถในการบรรทุก 4,200 กิโลกรัม และจากขั้นตอนการจัดเส้นทางเริ่มต้น จะได้เส้นทางเริ่มต้น ดังนี้

เส้นทางเริ่มต้น

โรงงาน → (1) → (5) → โรงงาน มีน้ำหนักรวม 4,000 กิโลกรัม

ทำการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางเริ่มต้นครั้งที่ 1 จะได้

โรงงาน → (1) →(2)* → (5) → โรงงาน มีน้ำหนักรวม 8,000 กิโลกรัม

ทำการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางครั้งที่ 2 จะได้

โรงงาน → (1) →(2) → (3)* → (5) → โรงงาน มีน้ำหนักรวม 12,000 กิโลกรัม

จากการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางครั้งที่ 2 พบว่า ไม่สามารถทำการแทรกลูกค้า (3) หรือ (4) ได้ เนื่องจาก จะทำให้เกินขีดความสามารถในการบรรทุกของรถขนส่งสินค้า ดังนั้น ดำเนินการตามขั้นตอนการแบ่งสินค้าในขั้นตอนถัดไป

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่ของรถบรรทุกแต่ละคัน

ขั้นตอนที่ 2 แบ่งความต้องการสินค้าที่ไม่สามารถแทรกได้ออกเป็น 2 ส่วนดังนี้ ส่วนแรก $q_{ikm}(1)$ แบ่งเท่ากับความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เหลืออยู่ของรถขนส่งคันแรก $Qrem_{km}(1)$ ซึ่งกำลังแทรกเพื่อจัดเส้นทาง จากเส้นทางที่ได้จากการแทรกลูกค้าเข้าสู่เส้นทางข้างต้น จะได้เส้นทางก่อนการนำมาแบ่งความต้องการสินค้า ดังนี้ โรงงาน → (1) →(2) → (5) → โรงงาน เนื่องจากไม่สามารถแทรกลูกค้าลำดับที่ (3) หรือ (4) ดังนั้น ขั้นตอนวิธีจะดำเนินการแบ่งสินค้าของลูกค้า (3) ออกเป็น 2 ส่วน ดังนี้ ส่วนแรก ($q_{ikm}(1)$) แบ่งให้เท่ากับความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ คือ (12,000 – 8,000) = 2,000 กิโลกรัม ดังนั้น จะแบ่งความต้องการสินค้าของลูกค้า (3) ออกเป็น 2 ส่วน คือ ส่วนแรก ($q_{221}(1)$) = 2,000 กิโลกรัม และ ส่วนที่ 2 ($q_{221}(2)$) = 1,000 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 3 แทรกลูกค้าส่วนความต้องการสินค้าส่วนแรกเข้าไปในเส้นทาง ($q_{221}(1)$) โดยพิจารณาเงื่อนไขด้านความสามารถในการบรรทุกและด้านเวลาร่วมด้วย เมื่อนำไปแทรกเข้าสู่เส้นทางจะได้ เส้นทางดังนี้ โรงงาน → (1) →(2) → (3)* → (5) → โรงงาน มีน้ำหนักรวม 10,000 กิโลกรัม และเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

ขั้นตอนที่ 4 นำส่วนความต้องการที่เหลือหรือส่วนที่ 2 ($q_{221}(2)$) = 1,000 กิโลกรัม จัดให้รถขนส่งคันถัดไปในการให้บริการขนส่ง โดยดำเนินการตามขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งตั้งแต่ต้น จะได้เส้นทางดังนี้ โรงงาน →(3)* → (4) → โรงงาน มีน้ำหนักรวม 4,000 กิโลกรัม และเป็นไปตามเงื่อนไขที่กำหนด

จากขั้นตอนที่ 4 หากเกิดกรณีลูกค้าไม่ได้รับบริการ (Unmet Customer: P_{unmet}) และจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ (Unmet Demand: q_{unmet}) ขั้นตอนวิธีจะอนุญาตให้มีการเพิ่มจำนวนรถขนส่งได้ โดยการพิจารณาน้ำหนักรวมจากลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการรวมทั้งจำนวนความต้องการสินค้าที่ไม่ได้รับบริการ (กิโลกรัม) และจะทำการเพิ่มจำนวนรถขนส่งโดยการเลือกรถขนส่งสินค้าที่มีขีดความสามารถในการบรรทุกสินค้าใกล้เคียงกับน้ำหนักสินค้ารวมที่ไม่ได้รับการจัดส่งที่สุด

ค1.3. ตัวอย่างการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้า จากตัวอย่าง ดังตารางผนวกที่ ค7 ซึ่งได้ผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่งซึ่งเป็นคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้า ดังนี้

<u>คันที่ 1 รถ 6 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน→ (1) →(2) → (3)* → (5) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 →4,000 → 2,000 → 2,000 → 0

น้ำหนักรวม 10,000 กิโลกรัม

<u>คันที่ 2 รถ 6 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน →(3)* → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 1,000 →3,000 → 0

น้ำหนักรวม 4,000 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 2 ดำเนินการสลับด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทางโดยให้ $q_{ikmn}(1)$ สลับกับลูกค้าทุก Node ของคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้ายกเว้น Node ต่อไปนี้ (1) Node ของ $q_{ikmn}(2)$ ซึ่งเป็นส่วนแบ่งของ $q_{ikmn}(1)$, และ (2) Node 1 ซึ่งกำหนดให้เป็นโรงงาน เมื่อทำการสลับแล้วจะรวมคู่ของการแบ่งสินค้าเข้าด้วยกันในตำแหน่งเดิมของเส้นทางหลัก เมื่อทำการสลับ หากมีเส้นทางหนึ่งเส้นทางใดในคู่ของเส้นทางที่นำมาสลับไม่เป็นไปตามเงื่อนไข จะไม่พิจารณาเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้น จากคู่ของเส้นทางที่มีการแบ่งสินค้า พบว่า ลูกค้า (3) มีการแบ่งสินค้า ดังนั้น สามารถทำการสลับได้ดังนี้

<u>สลับส่วนของแบ่งสินค้าส่วนที่ 1</u>

เส้นทางที่ 1 โรงงาน→ (1) →(2) → (3)* → (5) → โรงงาน

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(3)* → (4) → โรงงาน

จะได้เส้นทางใหม่จากการสลับตำแหน่งดังนี้

เส้นทางที่ 1 โรงงาน→ (1) →(2) → (4) → (5) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 →4,000 → 3,000 → 2,000 → 0

น้ำหนักรวม 1,1000 กิโลกรัม ✗ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(3)* → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 4,000 → 0

น้ำหนักรวม 4,000 กิโลกรัม ✓ เป็นไปตามเงื่อนไข

จากการสลับตำแหน่งส่วนของแบ่งสินค้าส่วนที่ 1 กับลูกค้าในเส้นทางที่ 2 พบว่า ไม่สามารถทำการสลับได้เนื่องจาก เส้นทางใหม่ที่ได้มีหนึ่งเส้นทางที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเกิดขึ้น ดังนั้นจึงไม่พิจารณาเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้น

<u>สลับส่วนของแบ่งสินค้าส่วนที่ 2</u>

เส้นทางที่ 1 โรงงาน→ (1) →(2) → (3)* → (5) → โรงงาน

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(3)* → (4) → โรงงาน

จะได้เส้นทางใหม่จากการสลับตำแหน่ง ดังนี้

ครั้งที่ 1 สลับลูกค้า 1 จากเส้นทางที่ 1 กับ ลูกค้า 3 เส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 1 โรงงาน →(2) → (3) → (5) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 4,000 → 3,000 → 2,000 → 0

น้ำหนักรวม 9,000 กิโลกรัม ✓ เป็นไปตามเงื่อนไข

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(1) → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 →4,000 → 0

น้ำหนักรวม 6,000 กิโลกรัม ✗ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

ครั้งที่ 2 สลับลูกค้า 2 จากเส้นทางที่ 1 กับ ลูกค้า 3 เส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 1 โรงงาน →(1) → (3) → (5) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 → 3,000 → 2,000 → 0

น้ำหนักรวม 7,000 กิโลกรัม ✗ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(2) → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 4,000 →4,000 → 0

น้ำหนักรวม 6,000 กิโลกรัม ✗ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

ครั้งที่ 3 สลับลูกค้า 5 จากเส้นทางที่ 1 กับ ลูกค้า 3 เส้นทางที่ 2

เส้นทางที่ 1 โรงงาน →(1) → (2) → (3) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 → 4,000 → 3,000 → 0

น้ำหนักรวม 9,000 กิโลกรัม ✓ เป็นไปตามเงื่อนไข

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(5) → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 3,000 →2,000 → 0

น้ำหนักรวม 5,000 กิโลกรัม ✗ ไม่เป็นไปตามเงื่อนไข

จากการสลับตำแหน่งส่วนของการแบ่งสินค้าส่วนที่ 2 กับลูกค้าในเส้นทางที่ 1 พบว่าไม่สามารถทำการสลับได้เนื่องจาก เส้นทางใหม่ที่ได้มีหนึ่งเส้นทางที่ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขเกิดขึ้น ดังนั้น จึงไม่พิจารณาเส้นทางใหม่ที่เกิดขึ้น ถ้าพบกรณีที่สลับได้จะพิจารณาเปรียบเทียบค่าขนส่งเส้นทางใหม่กับเส้นทางเดิม หากเส้นทางใหม่มีต้นทุนค่าขนส่งต่ำกว่าหรือเท่ากับเส้นทางเดิม ขั้นตอนวิธีจะเลือกเส้นทางใหม่

ค1.4. ตัวอย่างการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 1 ค้นหาเส้นทางที่เป็นรถขนส่งที่ถูกเพิ่มเข้ามา M_add จากตัวอย่างผลการจัดรถและเส้นทางการขนส่ง โดยตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อสินค้า ดังตารางผนวกที่ ค8

ตารางผนวกที่ ค8 ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อสินค้าสำหรับแสดงตัวอย่างขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการย้ายลูกค้าระหว่างเส้นทาง

ลูกค้า (รายที่)	สถานที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	กรอบเวลา (นาที)	
			เวลามาถึงเร็วสุด	เวลามาถึงช้าสุด
1	สีคิ้ว	4,000	- 60	540
2	สูงเนิน	5,000	0	420
3	เมือง นครราชสีมา	3,000	0	660
4	พิมาย	2,000	0	720

จากตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อข้างต้น สมมติขั้นตอนวิธีจัดรถขนส่งได้ผลดังนี้ ใช้รถจำนวน 2 คัน ประกอบด้วย รถ 6 ล้อ จำนวน 1 คัน และรถ 4 ล้อ จำนวน 1 คัน โดยที่รถคันที่ 2 เป็นรถที่ถูกเพิ่มเข้ามาในขั้นตอนการจัดรถขนส่งสินค้าโดยมีเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังนี้

<u>คันที่ 1 รถ 6 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน → (1) → (2) → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 4,000 → 5,000 → 1,000 → 0

น้ำหนักรวม 10,000 กิโลกรัม

<u>คันที่ 2 รถ 4 ล้อ*</u>

เส้นทาง โรงงาน →(3) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 → 0

น้ำหนักรวม 4,000 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 2 พิจารณาความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ $Qrem_{km}$ ของรถคันที่ถูกเพิ่ม ดังนี้ $Qrem_{11}$ = 4,200 – 2,000 = 2,200 พบว่า มีความสามารถในการบรรทุกคงเหลือ เท่ากับ 2,200 กิโลกรัม

ขั้นตอนที่ 3 ค้นหาลูกค้าที่มีความต้องการสินค้า น้อยกว่าหรือเท่ากับความสามารถในการบรรทุกที่เหลืออยู่ของรถคันที่ถูกเพิ่ม $Qrem_{11}$ ของเส้นทางที่ 1 พบว่า มีลูกค้ารายที่ 5 ที่มีความต้องการสินค้า น้อยกว่า ความสามารถในการบรรทุกคงเหลือของรถคันที่ถูกเพิ่ม (1,000 < 2,200) ดำเนินการต่อในขั้นตอนถัดไป โดยกำหนดให้รถคันที่ถูกเพิ่มไม่พิจารณาเงื่อนไขความจุต่ำสุดในการบรรทุก

ขั้นตอนที่ 4 ย้ายลูกค้าที่เป็นไปตามเงื่อนไขมาอยู่ในรถคันที่ถูกเพิ่ม ดังนี้

เส้นทางที่ 1 โรงงาน→ (1) →(2) → (4) → โรงงาน

เส้นทางที่ 2* โรงงาน →(3) → โรงงาน

จะได้เส้นทางใหม่จากการย้ายตำแหน่งดังนี้

เส้นทางที่ 1 โรงงาน→ (1) →(2) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 4,000 →5,000 → 0

น้ำหนักรวม 9,000 กิโลกรัม ✓ เป็นไปตามเงื่อนไข

เส้นทางที่ 2 โรงงาน →(3) → (4) → โรงงาน

น้ำหนัก 0 → 2,000 →1,000 → 0

น้ำหนักรวม 3,000 กิโลกรัม ✓ เป็นไปตามเงื่อนไข

ขั้นตอนที่ 5 พิจารณาต้นทุนรวมในการขนส่งสินค้าโดยเปรียบเทียบเส้นทางเดิมและเส้นทางใหม่ที่ได้หลังจากดำเนินการปรับปรุงคำตอบ

- เส้นทางเดิม

<u>คันที่ 1 รถ 6 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน→ (1) →(2) → (4) → โรงงาน

ระยะทาง 0 → 272 → 17.1 → 94.2 → 372

ระยะทางรวม 755.3 กิโลเมตร

ต้นทุนค่าขนส่ง (1,762 × 1) + (7×755.3) = 7,049.10 บาท

<u>คันที่ 2 รถ 4 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน →(3) → โรงงาน

ระยะทาง 0 → 313 → 313

ระยะทางรวม 626 กิโลเมตร

ต้นทุนค่าขนส่ง (1,178 × 1) + (4.53×) = 4,013.78 บาท

ดังนั้น เส้นทางเดิมมีต้นทุนรวม เท่ากับ 7,049.10 + 4,013.78 = 11,062.88 บาท

- เส้นทางใหม่

<u>คันที่ 1 รถ 6 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน→ (1) →(2) → โรงงาน

ระยะทาง 0 → 272 → 17.1 → 283

ระยะทางรวม 572.1 กิโลเมตร

ต้นทุนค่าขนส่ง (1,762 × 1) + (7×572.1) = 5,766.70 บาท

<u>คันที่ 2 รถ 4 ล้อ</u>

เส้นทาง โรงงาน →(3) → (4) → โรงงาน

ระยะทาง 0 → 313 → 61.7 → 372

ระยะทางรวม 746.7 กิโลเมตร

ต้นทุนค่าขนส่ง (1,178 × 1) + (4.53×764.7) = 4,642.10 บาท

ดังนั้น เส้นทางเดิมมีต้นทุนรวม เท่ากับ 5,766.70 + 4,642.10 = 10,408.80 บาท

จากการพิจารณาต้นทุนค่าขนส่ง พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งของเส้นทางใหม่ที่ได้จากการปรับปรุงคำตอบมีต้นทุนรวมในการขนส่งสินค้าต่ำกว่าเส้นทางเดิม ดังนั้น ขั้นตอนวิธีจะพิจารณาเลือกแสดงผลโดยใช้เส้นทางใหม่สำหรับการจัดส่งสินค้า

ภาคผนวก ง

โครงสร้างโปรแกรม

หัวข้อนี้ จะกล่าวถึงรายละเอียดของโปรแกรม ซึ่งถูกพัฒนาขึ้น เพื่อ ให้ผู้ใช้งานสามารถนำวิธีการที่นำเสนอมาใช้สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้าได้ โดยมีรายละเอียดดังนี้

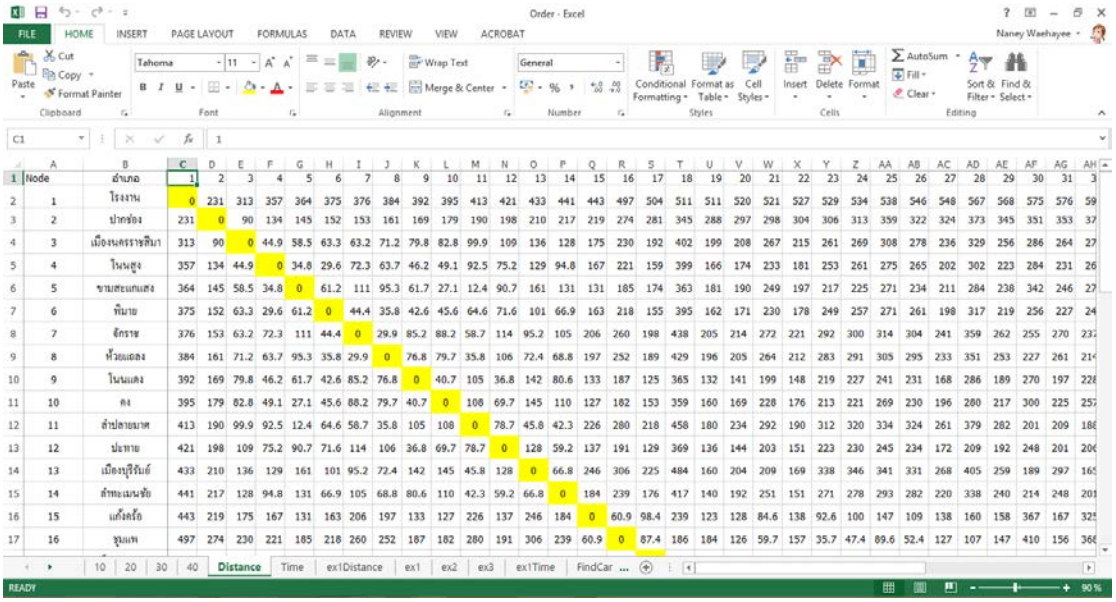
ง.1 เครื่องมือที่ใช้ในการพัฒนาโปรแกรม ประกอบด้วย

(1) Visual studio 2012 ซึ่งสามารถ Download รุ่น Express เพื่อใช้งานฟรีได้จาก http://www.visualstudio.com โดยใช้ภาษา C# กับ Linq ในการพัฒนาโปรแกรม

(2) Microsoft Office 2013 โดยใช้ไมโครซอฟต์แอคเซส (Microsoft Access 2013) และไมโครซอฟต์เอกเซล (Microsoft Excel 2010 Spreadsheet)

ง. 2 ฐานข้อมูล (Database) ประกอบด้วย

(1) ฐานข้อมูลในไฟล์ Excel ชื่อไฟล์ “Order” ประกอบด้วยข้อมูลที่ใช้สำหรับจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ดังแสดงในภาพ ง1 ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้



ภาพที่ ง1 ฐานข้อมูลในไฟล์ Excel ชื่อไฟล์ “Order”

- ตัวอย่างรายการคำสั่งซื้อ ซึ่งใช้เป็นโจทย์ตัวอย่าง ชื่อ Sheet “Ex1” “Ex2” “Ex3” “Ex20” และ “Ex40” แสดงรายละเอียดในภาคผนวก หน้า 139-140 และ 144-146

- ข้อมูลเวลาเดินทาง ชื่อ Sheet “ex1Distance” สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ตัวอย่าง Ex1, Ex2 และ Ex3 และ ชื่อ Sheet “Distance” เป็นข้อมูลสำหรับตัวอย่าง 20 และ 40 และโจทย์อื่นๆ แสดงรายละเอียดในภาคผนวก หน้า 142 และ 149-160

- ระยะทาง ชื่อ Sheet “ex1Time” สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ตัวอย่าง Ex1, Ex2 และ Ex3 ชื่อ Sheet “Time” เป็นข้อมูลสำหรับตัวอย่าง 20 และ 40 และโจทย์อื่นๆ ที่ผู้ใช้กำหนดเอง แสดงรายละเอียดในภาคผนวก หน้า 143 และ 161-172

- ข้อมูลด้านต้นทุนค่าขนส่งสินค้าคงที่ (Fix cost) ชื่อ Sheet “FindCar”

(2) ฐานข้อมูลในไฟล์ Access ดังภาพที่ ง4 ประกอบด้วย ข้อมูลของลูกค้า และข้อมูลสินค้า โดยมีรายละเอียด ดังนี้

- ข้อมูลของลูกค้า (Table Customer) เก็บข้อมูลของลูกค้า ประกอบด้วย รหัสลูกค้า ชื่อลูกค้า ที่อยู่ลูกค้า อำเภอ น้ำหนักสินค้า กรอบเวลาในการจัดส่งสินค้า ชื่อ Node และชื่อจังหวัด ดังภาพที่ ง2

ID	Name	Address	District	Weight	Ei	Li	node	Province
1			ชุมแพ	3710.33	10	17	16	ขอนแก่น
2			ภูผาม่าน	1233.32	8	18	24	ขอนแก่น
3			เอราวัณ	929.81	8	18	35	เลย
4			เอราวัณ	153.78	9	19	35	เลย
5			เอราวัณ	705.2	7	19	35	เลย
6			เมืองมหาสารค	851.94	7	18	22	มหาสารคาม
7			ธาตุพนม	3953.22	8	20	46	นครพนม
8			ธาตุพนม	1220.77	9	21	46	นครพนม
9			ธาตุพนม	4427.65	13	21	46	นครพนม
10			บ้านแพง	4043.52	10	21	50	นครพนม
11			เมืองนครราชสี	2415.06	7	18	3	นครราชสีมา
12			พิมาย	698.85	8	17	6	นครราชสีมา
13			ลำทะเมนชัย	2021.91	10	17	14	นครราชสีมา
14			เมืองศรีสะเกษ	2505.02	9	24	32	ศรีสะเกษ
15			เขมราฐ	492.92	8	21	40	อุบลราชธานี
16			โพธิ์ไทร	3039.23	8	21	44	อุบลราชธานี
17			นากลาง	657.84	10	21	33	หนองบัวลำภ
18			ศรีบุญเรือง	2970.51	13	22	26	หนองบัวลำภ
19			ธาตุพนม	2698.62	10	20	46	นครพนม
20			ท่าอุเทน	7460.46	10	21	51	นครพนม
21			เมืองขอนแก่น	284.16	10	23	17	ขอนแก่น
22			เมืองนครพนม	2090.67	10	20	49	นครพนม
23			เมืองนครพนม	3144.55	10	24	49	นครพนม
24			เมืองนครราชสี	58.8	7	17	3	นครราชสีมา
25			เมืองนครราชสี	396	10	17	3	นครราชสีมา

ภาพที่ ง2 ข้อมูลของลูกค้า (Table Customer) เก็บข้อมูลของลูกค้า

- ข้อมูลของสินค้า ประกอบด้วย รหัสสินค้า ชื่อสินค้า น้ำหนักสินค้าต่อกล่อง และน้ำหนักสินค้าต่อแพ็ค ดังภาพที่ ง3

ID	Item	pack	box
1		1.04	16.7
2		1.05	16.82
3		1.98	15.84
4		1.54	12.28
5		1.53	12.27
6		1.54	12.31
7		1.54	12.3
8		2.97	14.48
9		2.96	11.84
10		1.07	12.87
11		1.08	12.96
12		1.08	12.97
13		0	10.73
15		4.43	22.17
14		4.39	21.95
15		.49	14.68
16		.42	12.58
17		.49	14.7
18		.49	14.72
19		.75	9.02
20		.62	7.48
21		.76	9.08
22		.76	9.06
23		.83	8.28
*			

ภาพที่ ง3 ข้อมูลของสินค้า

- ข้อมูลของเวลาที่ออกจากโรงงาน ใน Table Setting เก็บข้อมูลของเวลาที่ออกจากโรงงาน ส่วนนี้ออกแบบเพื่อให้สามารถปรับปลี่ยนเวลาได้ ดังภาพที่ ง4

Time
09:00
*

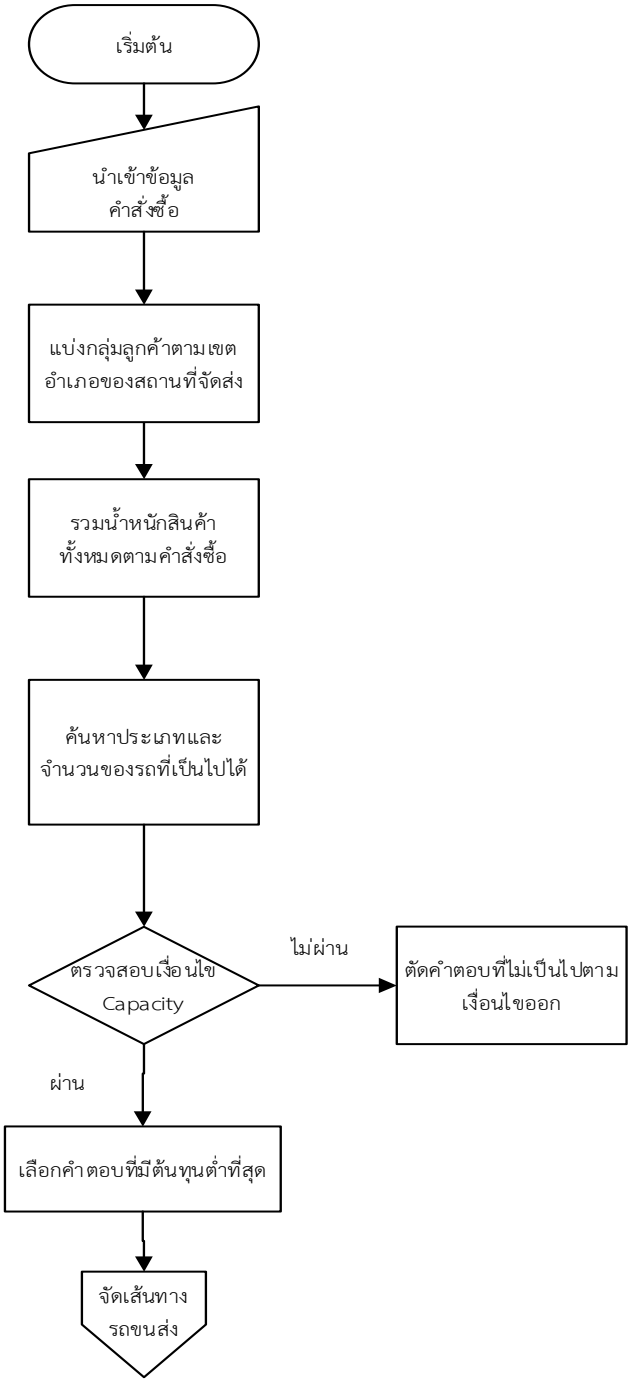
ภาพที่ ง4 ข้อมูลของเวลาที่ออกจากโรงงาน

นอกจากนี้ยังมีข้อมูลพื้นฐานด้านอื่นๆ ที่สามารถปรับเปลี่ยนได้ในกรณีที่ต้องการพัฒนาโปรแกรม ได้แก่ ข้อมูลในการลงสินค้าแต่ละจุด ข้อมูลด้านต้นทุนผันแปร เป็นต้น ซึ่งถูกสร้างให้อยู่ลักษณะคำสั่ง โดยจะแสดงรายละเอียดในรูปแบบ Source code ในหัวข้อถัดไป

ภาคผนวก จ.

แผนภาพโปรแกรม (Flow chart programming)

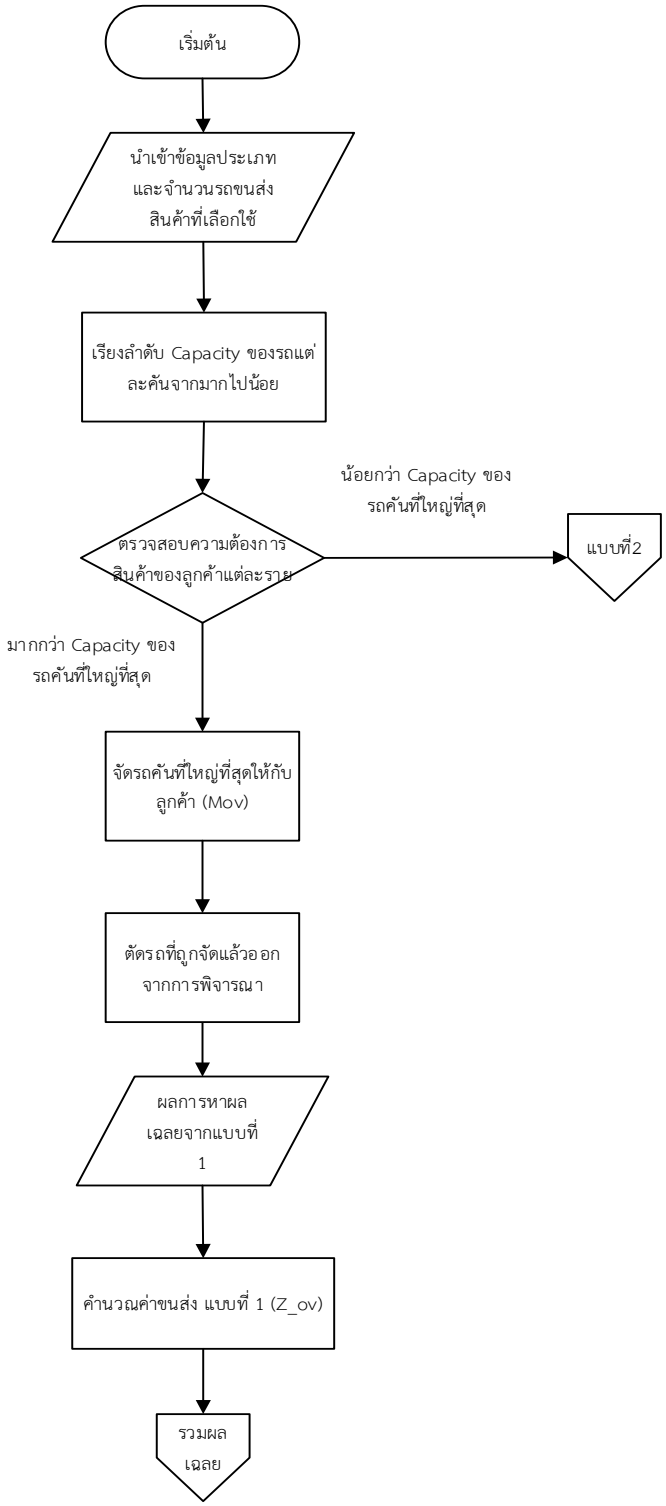
จ.1 ขั้นตอนการเลือกรถ



ภาพที่ จ1 ขั้นตอนการเลือกประเภทและจำนวนรถขนส่งสินค้า

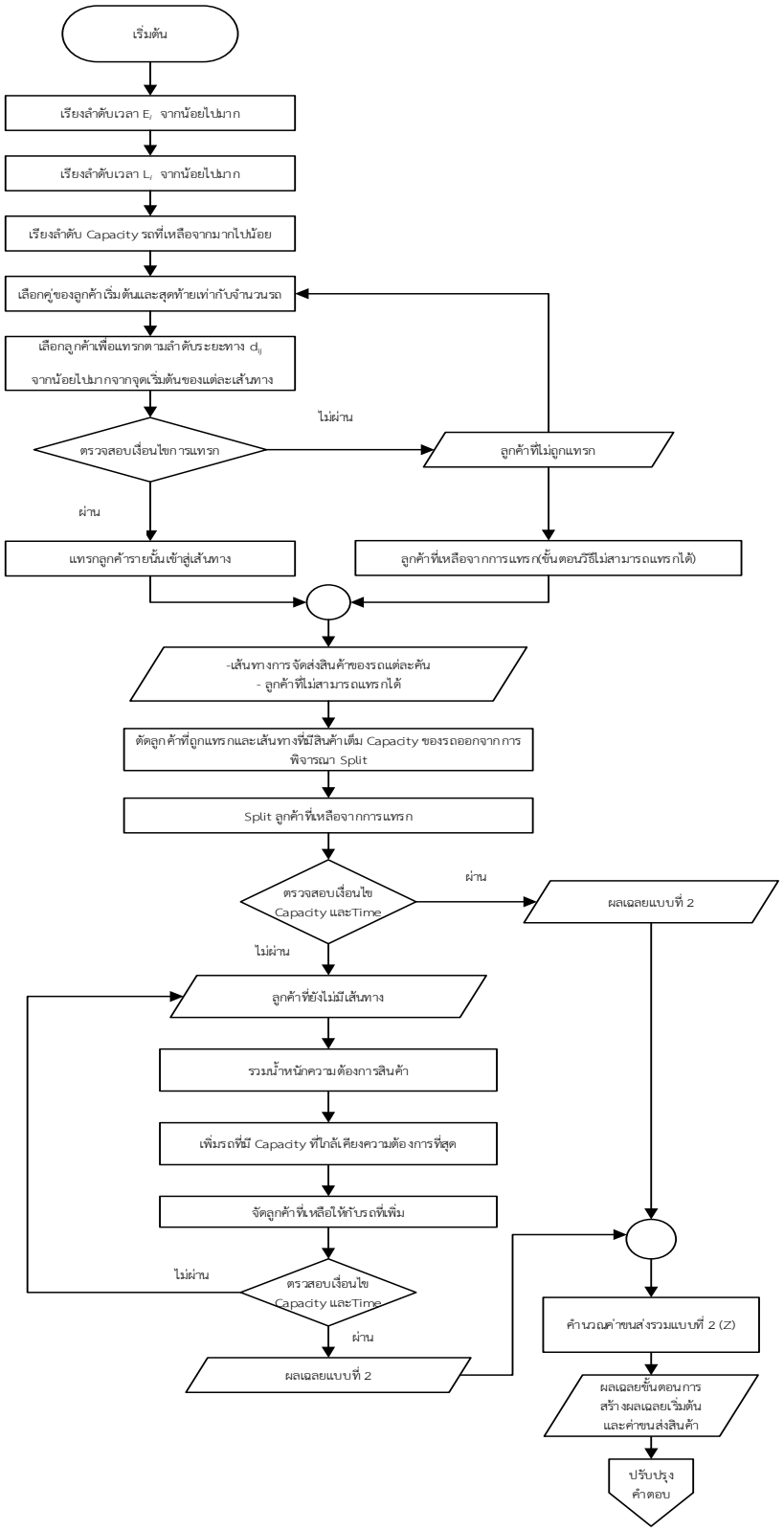
จ.2 การจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า

(1) กรณี Over Maximum Capacity Demand



ภาพที่ จ2 ขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้ากรณี Over Maximum Capacity Demand

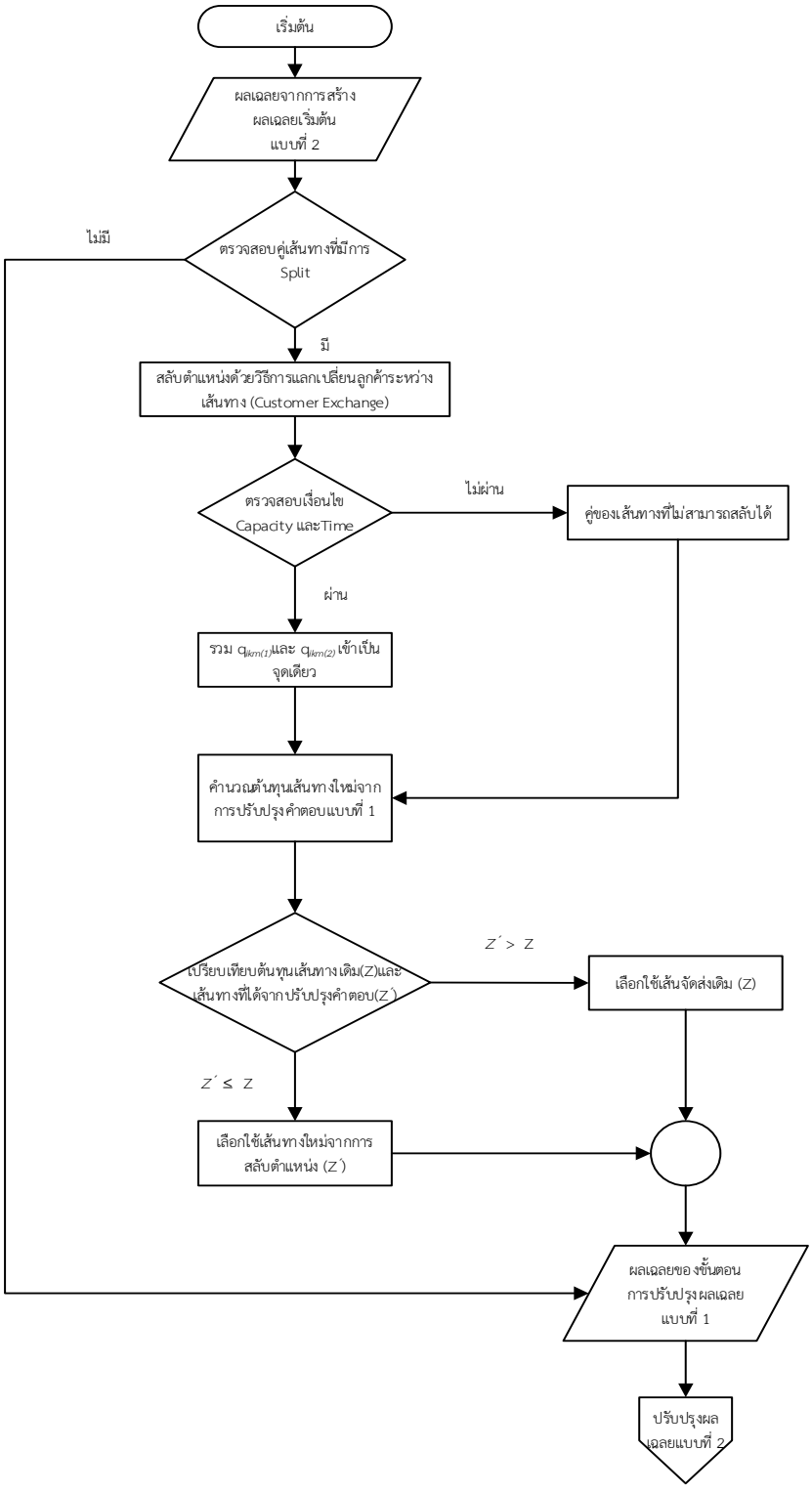
(2) การจัดรถขนส่งสินค้า



ภาพที่ จ3 ขั้นตอนการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า

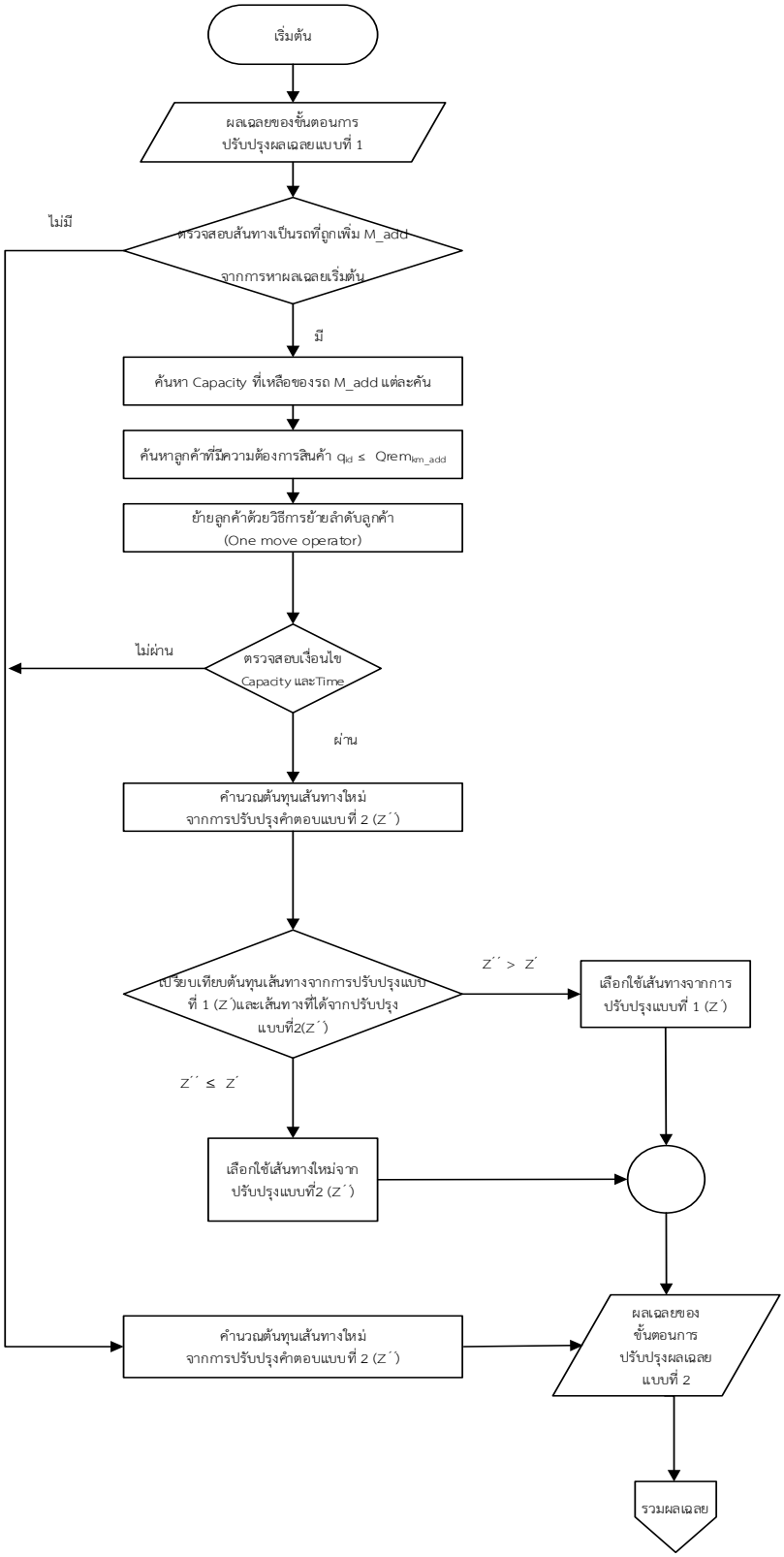
จ.3 การปรับปรุงคำตอบ

(1) วิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง (Customer Exchange)



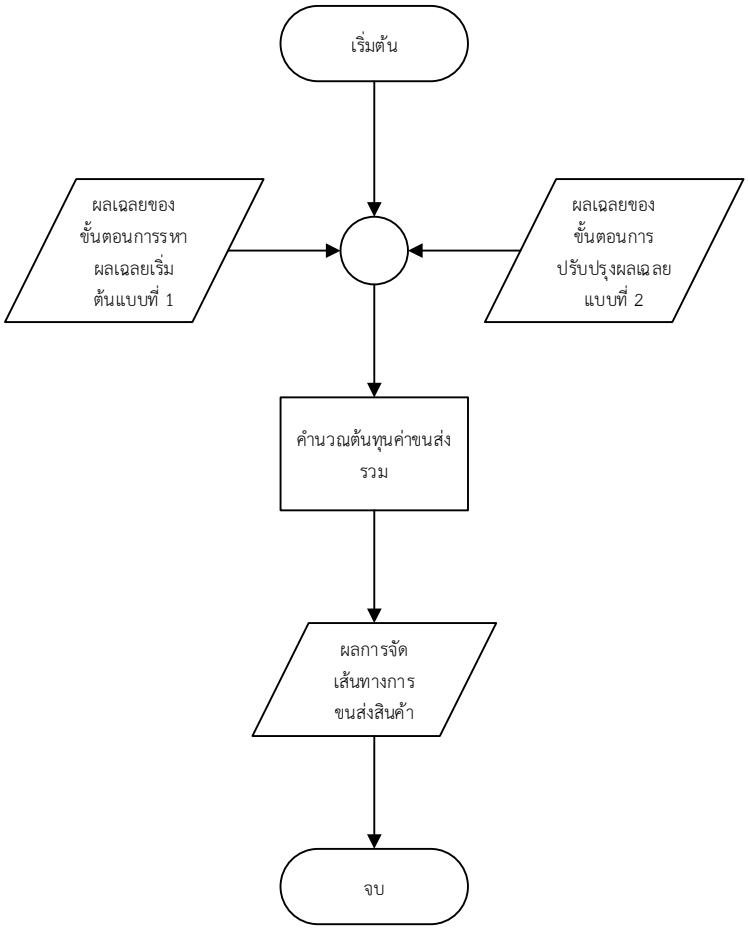
ภาพที่ จ4 ขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนลูกค้าระหว่างเส้นทาง

(2) วิธีการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง (One move operator)



ภาพที่ จ5 ขั้นตอนการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีวิธีการย้ายลำดับลูกค้าหนึ่งรายระหว่างเส้นทาง

จ.4 รวมผลเฉลย



ภาพที่ จ6 ขั้นตอนการรวมผลเฉลย

ภาคผนวก ฉ

Source code

(1) ชื่อ ไฟล์ “DBService.cs” เป็น Source code ที่ทำหน้าที่ติดต่อกับ Data base ในส่วนนี้มี Source code ดังนี้

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.Data;
using System.Data.SqlClient;
using System.Linq;
using System.Web;
using System.Data.OleDb;
using System.IO;
using System.Reflection;
using System.Threading;

namespace RoutingProject
{
    public class DBService
    {
        OleDbConnection con = new OleDbConnection();
        //string Scon = "Server=.;Database=Product;Trusted_Connection=True";
        string Scon = @"Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data Source=" +
System.IO.Path.GetFullPath(".\\RoutingProject.accdb");

        public Boolean Exe(String sql)
        {
            try
            {

                checkCon();
                OleDbCommand ole = new OleDbCommand();
                ole.CommandType = CommandType.Text;
                ole.CommandText = sql;
                ole.Connection = con;
                ole.ExecuteNonQuery();
                con.Close();
                Thread.Sleep(30);
                return true;
            }
            catch (Exception)
            {

                return false;
            }


        }

        public DataTable ReadExcel(string sql)
        {
```

```
            string SourceConstr = @"Provider=Microsoft.ACE.OLEDB.12.0;Data
Source=" + System.IO.Path.GetFullPath(".\\order.xlsx") + "; Extended
Properties= 'Excel 8.0;HDR=Yes;IMEX=1'";
            OleDbConnection conn = new OleDbConnection();
            conn.ConnectionString = SourceConstr;
            OleDbCommand command = new OleDbCommand(sql, conn);

            DataSet ds = new DataSet();
            OleDbDataAdapter adapter = new OleDbDataAdapter(command);
            adapter.Fill(ds);
            return ds.Tables[0];
        }
        private void checkCon()
        {
            if (con.State != ConnectionState.Open)
            {
                con.ConnectionString = Scon;
                con.Open();
            }
        }

        public DataTable getDataTable(String sql)
        {
            try
            {
                checkCon();
                DataTable dt = new DataTable();
                OleDbDataAdapter sql_da = new OleDbDataAdapter(sql, con);
                sql_da.Fill(dt);
                con.Close();
                return dt;
            }
            catch (Exception)
            {

                return null;
            }

        }
        public DataSet getDataset(string sql)
        {
            try
            {
                checkCon();
                DataSet ds = new DataSet();
                OleDbDataAdapter sql_da = new OleDbDataAdapter(sql, con);
                sql_da.Fill(ds);
                return ds;
            }
            catch (Exception)
            {

                return null;
            }

        }

    }
}
```

(2) ชื่อ File “Dss.cs” เป็น Source code สำหรับการจัดรถและเส้นทางการขนส่งสินค้า ในส่วนนี้มี Source code ดังนี้

```
using System;
using System.Collections.Generic;
using System.ComponentModel;
using System.Data;
using System.Drawing;
using System.Linq;
using System.Text;
using System.Windows.Forms;

namespace RoutingProject
{
    public partial class Dss : Form
    {
        String sql = "";
        DataTable dt = new DataTable();
        DBService db = new DBService();
        DataTable tempItem = new DataTable();
        DataTable tempCustomer = new DataTable();
        string sheetName = "";
        DataTable data = new DataTable();

        public Dss()
        {
            InitializeComponent();
        }

        private void Dss_Load(object sender, EventArgs e)
        {


            try
            {
                tempItem.Columns.Add("ID");
                tempItem.Columns.Add("ลำดับ");
                tempItem.Columns.Add("รายการสินค้า");
                tempItem.Columns.Add("แพ็ค");
                tempItem.Columns.Add("กล่อง");
                tempItem.Columns.Add("น้ำหนักรวม");

                tempCustomer.Columns.Add("ID");
                tempCustomer.Columns.Add("ลำดับ");
                tempCustomer.Columns.Add("ชื่อลูกค้า");
                tempCustomer.Columns.Add("ที่อยู่");
                tempCustomer.Columns.Add("อำเภอ");
                tempCustomer.Columns.Add("จังหวัด");
                tempCustomer.Columns.Add("Ei");
                tempCustomer.Columns.Add("Li");
                tempCustomer.Columns.Add("น้ำหนัก");
            }
            catch (Exception)
            {
```

```
            }


        }

        private void btnCusID_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {
                if (int.Parse(txtCusID.Text) > 0)
                {
                    sql = "select *  From [Customer] where ID =" +
int.Parse(txtCusID.Text);
                    dt = new DataTable();
                    dt = db.getDataTable(sql);
                    if (dt.Rows.Count < 0)
                    {
                        MessageBox.Show("ไม่พบข้อมูลที่ต้องการค้นหา", "",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Information);
                        return;
                    }
                    txtCusname.Text = dt.Rows[0][1].ToString();
                    txtLocation.Text = dt.Rows[0][2].ToString();
                    txtDistrict.Text = dt.Rows[0][3].ToString();
                    txtProvince.Text = dt.Rows[0][8].ToString();
                    int ei = int.Parse(dt.Rows[0][5].ToString());
                    int li = int.Parse(dt.Rows[0][6].ToString());
                    switch (ei)
                    {
                        case 1: ddlEi.SelectedItem = "01:00"; break;
                        case 0: ddlEi.SelectedItem = "00:00"; break;
                        case 2: ddlEi.SelectedItem = "02:00"; break;
                        case 3: ddlEi.SelectedItem = "03:00"; break;
                        case 4: ddlEi.SelectedItem = "04:00"; break;
                        case 5: ddlEi.SelectedItem = "05:00"; break;
                        case 6: ddlEi.SelectedItem = "06:00"; break;
                        case 7: ddlEi.SelectedItem = "07:00"; break;
                        case 8: ddlEi.SelectedItem = "08:00"; break;
                        case 9: ddlEi.SelectedItem = "09:00"; break;
                        case 10: ddlEi.SelectedItem = "10:00"; break;
                        case 11: ddlEi.SelectedItem = "11:00"; break;
                        case 12: ddlEi.SelectedItem = "12:00"; break;
                        case 13: ddlEi.SelectedItem = "13:00"; break;
                        case 14: ddlEi.SelectedItem = "14:00"; break;
                        case 15: ddlEi.SelectedItem = "15:00"; break;
                        case 16: ddlEi.SelectedItem = "16:00"; break;
                        case 17: ddlEi.SelectedItem = "17:00"; break;
                        case 18: ddlEi.SelectedItem = "18:00"; break;
                        case 19: ddlEi.SelectedItem = "19:00"; break;
                        case 20: ddlEi.SelectedItem = "20:00"; break;
                        case 21: ddlEi.SelectedItem = "21:00"; break;
                        case 22: ddlEi.SelectedItem = "22:00"; break;
                        case 23: ddlEi.SelectedItem = "23:00"; break;
                    }
                    switch (li)
                    {
                       case 1: ddlLi.SelectedItem = "01:00"; break;
                        case 0: ddlLi.SelectedItem = "00:00"; break;
```

```
                        case 2: ddlLi.SelectedItem = "02:00"; break;
                        case 3: ddlLi.SelectedItem = "03:00"; break;
                        case 4: ddlLi.SelectedItem = "04:00"; break;
                        case 5: ddlLi.SelectedItem = "05:00"; break;
                        case 6: ddlLi.SelectedItem = "06:00"; break;
                        case 7: ddlLi.SelectedItem = "07:00"; break;
                        case 8: ddlLi.SelectedItem = "08:00"; break;
                        case 9: ddlLi.SelectedItem = "09:00"; break;
                        case 10: ddlLi.SelectedItem = "10:00"; break;
                        case 11: ddlLi.SelectedItem = "11:00"; break;
                        case 12: ddlLi.SelectedItem = "12:00"; break;
                        case 13: ddlLi.SelectedItem = "13:00"; break;
                        case 14: ddlLi.SelectedItem = "14:00"; break;
                        case 15: ddlLi.SelectedItem = "15:00"; break;
                        case 16: ddlLi.SelectedItem = "16:00"; break;
                        case 17: ddlLi.SelectedItem = "17:00"; break;
                        case 18: ddlLi.SelectedItem = "18:00"; break;
                        case 19: ddlLi.SelectedItem = "19:00"; break;
                        case 20: ddlLi.SelectedItem = "20:00"; break;
                        case 21: ddlLi.SelectedItem = "21:00"; break;
                        case 22: ddlLi.SelectedItem = "22:00"; break;
                        case 23: ddlLi.SelectedItem = "23:00"; break;
                    }
                }
                else
                {
                    MessageBox.Show("ไม่พบข้อมูลที่ต้องการค้นหา", "", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Information);
                    return;
                }
            }
            catch (Exception)
            {
                MessageBox.Show("กรุณาป้อนรหัสเป็นตัวเลข", "", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Warning);
                return;
            }


        }

        private void btnCusname_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Customer();

        }

        private void Customer()
        {
            Customer cus = new Customer();
            this.Enabled = false;
            cus.ShowDialog();
            if (cus.id != null)
            {
                txtCusID.Text = cus.id;
                txtCusname.Text = cus.name;
                txtLocation.Text = cus.address;
                txtDistrict.Text = cus.district;
                txtProvince.Text = cus.province;
```

```
            int ei = int.Parse(cus.Ei);
            int li = int.Parse(cus.Li);
            switch (ei)
            {
                case 1: ddlEi.SelectedItem = "01:00"; break;
                case 0: ddlEi.SelectedItem = "00:00"; break;
                case 2: ddlEi.SelectedItem = "02:00"; break;
                case 3: ddlEi.SelectedItem = "03:00"; break;
                case 4: ddlEi.SelectedItem = "04:00"; break;
                case 5: ddlEi.SelectedItem = "05:00"; break;
                case 6: ddlEi.SelectedItem = "06:00"; break;
                case 7: ddlEi.SelectedItem = "07:00"; break;
                case 8: ddlEi.SelectedItem = "08:00"; break;
                case 9: ddlEi.SelectedItem = "09:00"; break;
                case 10: ddlEi.SelectedItem = "10:00"; break;
                case 11: ddlEi.SelectedItem = "11:00"; break;
                case 12: ddlEi.SelectedItem = "12:00"; break;
                case 13: ddlEi.SelectedItem = "13:00"; break;
                case 14: ddlEi.SelectedItem = "14:00"; break;
                case 15: ddlEi.SelectedItem = "15:00"; break;
                case 16: ddlEi.SelectedItem = "16:00"; break;
                case 17: ddlEi.SelectedItem = "17:00"; break;
                case 18: ddlEi.SelectedItem = "18:00"; break;
                case 19: ddlEi.SelectedItem = "19:00"; break;
                case 20: ddlEi.SelectedItem = "20:00"; break;
                case 21: ddlEi.SelectedItem = "21:00"; break;
                case 22: ddlEi.SelectedItem = "22:00"; break;
                case 23: ddlEi.SelectedItem = "23:00"; break;
            }
            switch (li)
            {
                case 1: ddlLi.SelectedItem = "01:00"; break;
                case 0: ddlLi.SelectedItem = "00:00"; break;
                case 2: ddlLi.SelectedItem = "02:00"; break;
                case 3: ddlLi.SelectedItem = "03:00"; break;
                case 4: ddlLi.SelectedItem = "04:00"; break;
                case 5: ddlLi.SelectedItem = "05:00"; break;
                case 6: ddlLi.SelectedItem = "06:00"; break;
                case 7: ddlLi.SelectedItem = "07:00"; break;
                case 8: ddlLi.SelectedItem = "08:00"; break;
                case 9: ddlLi.SelectedItem = "09:00"; break;
                case 10: ddlLi.SelectedItem = "10:00"; break;
                case 11: ddlLi.SelectedItem = "11:00"; break;
                case 12: ddlLi.SelectedItem = "12:00"; break;
                case 13: ddlLi.SelectedItem = "13:00"; break;
                case 14: ddlLi.SelectedItem = "14:00"; break;
                case 15: ddlLi.SelectedItem = "15:00"; break;
                case 16: ddlLi.SelectedItem = "16:00"; break;
                case 17: ddlLi.SelectedItem = "17:00"; break;
                case 18: ddlLi.SelectedItem = "18:00"; break;
                case 19: ddlLi.SelectedItem = "19:00"; break;
                case 20: ddlLi.SelectedItem = "20:00"; break;
                case 21: ddlLi.SelectedItem = "21:00"; break;
                case 22: ddlLi.SelectedItem = "22:00"; break;
                case 23: ddlLi.SelectedItem = "23:00"; break;
            }
        }
        this.Enabled = true;
    }
```

```
        private void btnCusproduct_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            //sql = "select * from [Item] where ID=" +
int.Parse(txtProductID.Text);
            //dt = new DataTable();
            //dt = db.getDataTable(sql);

        }

        private void btnItem_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            Item frm = new Item();
            this.Enabled = false;
            frm.ShowDialog();
            this.Enabled = true;
            if (frm.itemId != null)
            {
            txtProductID.Text = frm.itemId;
            txtItem.Text = frm.ItemName;
            }
            box.Value = 0;
            pack.Value = 0;

        }

        private void pack_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            Item();
        }

        private void Item()
        {
            try
            {
                int p = int.Parse(pack.Value.ToString());
                int b = int.Parse(box.Value.ToString());
                if(b==0 && p==0)
                {
                    txtSumweight.Text = "0.00";
                    return;
                }
                if (int.Parse(txtProductID.Text) >= 0)
                {
                    sql = "select pack,box from [Item] where ID =" +
int.Parse(txtProductID.Text);
                    dt = new DataTable();
                    dt = db.getDataTable(sql);
                    double w = (float.Parse(dt.Rows[0][0].ToString()) * p)
                        + (float.Parse(dt.Rows[0][1].ToString()) * b);
                    txtSumweight.Text = w.ToString("##.##");
                }
            }
            catch (Exception)
            {


            }
```

```
        }

        private void box_ValueChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            Item();
        }

        private void btnAddProduct_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            groupExp.Enabled = false;

tempItem.Rows.Add(txtProductID.Text,tempItem.Rows.Count+1,txtItem.Text,pack.Val
ue,box.Value,txtSumweight.Text);
            dgvItem.DataSource = tempItem;
            dgvItem.Columns[0].Visible = false;
            var weight = tempItem.AsEnumerable().Sum(s =>
double.Parse(s[5].ToString())); //หาน้ำหนักรวม

            txtAllweight.Text = weight.ToString("##.##");
        }

        private void btnDeleteProduct_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (dgvItem.SelectedRows.Count > 0)
            {
                int row = dgvItem.SelectedRows[0].Index;
                //int id =
int.Parse(dgvItem.Rows[row].Cells[0].Value.ToString());

                tempItem.Rows.RemoveAt(row);
                //MessageBox.Show("ลบข้อมูลสำเร็จ", "", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Information);
                dgvItem.DataSource = tempItem;
                var weight = tempItem.AsEnumerable().Sum(s =>
double.Parse(s[5].ToString())); //หาน้ำหนักรวม

                txtAllweight.Text = weight.ToString("##.##");
                if (dgvItem.Rows.Count == 0)
                {
                    groupExp.Enabled = true;

                }
            }
            else
            {
                MessageBox.Show("กรุณาเลือกสินค้าที่ต้องการลบ", "", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Warning);
                return;
            }

        }

        private void btnEditProduct_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (dgvItem.SelectedRows.Count > 0)
            {
                int row = dgvItem.SelectedRows[0].Index;
```

```
                int id =
int.Parse(dgvItem.Rows[row].Cells[0].Value.ToString());

                EditItem frm = new EditItem(tempItem.Rows[row], tempItem, row);
                this.Enabled = false;
                frm.ShowDialog();
                this.Enabled = true;
                tempItem = new DataTable();
                tempItem = frm.temp;
                dgvItem.DataSource = tempItem;
                var weight = tempItem.AsEnumerable().Sum(s =>
double.Parse(s[5].ToString())); //หาน้ำหนักรวม

                txtAllweight.Text = weight.ToString("##.##");
            }

        }

        private void btnSaveProduct_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            try
            {

tempCustomer.Rows.Add(txtCusID.Text,tempCustomer.Rows.Count+1,txtCusname.Text,t
xtLocation.Text,txtDistrict.Text,

txtProvince.Text,ddlEi.SelectedItem.ToString(),ddlLi.SelectedItem.ToString(),tx
tAllweight.Text);

                dgvCustomer.DataSource = tempCustomer;
                dgvCustomer.Columns[0].Visible = false;

                tempItem.Clear();
                dgvItem.DataSource = tempItem;
                txtAllweight.Text = "0.0";
            }
            catch (Exception)
            {


            }

        }

        private void btnEditCus_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            //if (dgvCustomer.SelectedRows.Count > 0)
            //{
            //    int row = dgvCustomer.SelectedRows[0].Index;
            //    int id =
int.Parse(dgvCustomer.Rows[row].Cells[0].Value.ToString());

            //    EditItem frm = new EditItem(tempItem.Rows[row], tempItem,
row);
            //    this.Enabled = false;
            //    frm.ShowDialog();
            //    this.Enabled = true;
            //    tempItem = new DataTable();
            //    tempItem = frm.temp;
```

```
            //    dgvItem.DataSource = tempItem;
            //    var weight = tempItem.AsEnumerable().Sum(s =>
double.Parse(s[5].ToString())); //หาน้ำหนักรวม

            //    txtAllweight.Text = weight.ToString("##.##");
            //}
        }

        private void btnRemoveCus_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (dgvCustomer.SelectedRows.Count > 0)
            {
                int row = dgvCustomer.SelectedRows[0].Index;
                //int id =
int.Parse(dgvItem.Rows[row].Cells[0].Value.ToString());
                DialogResult result = MessageBox.Show("ยืนยันการลบข้อมูล", "Confirm",
                MessageBoxButtons.OKCancel,MessageBoxIcon.Question);
                switch (result)
                {
                    case DialogResult.OK:
                        {
                            tempCustomer.Rows.RemoveAt(row);
                            dgvCustomer.DataSource = tempCustomer;
                            break;
                        }
                    case DialogResult.Cancel:
                        {

                            break;
                        }
                }



            }
            else
            {
                MessageBox.Show("กรุณาเลือกเส้นทางที่ต้องการลบ", "", MessageBoxButtons.OK,
MessageBoxIcon.Warning);
                return;
            }
        }

        private void btnCal_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            if (groupExp.Enabled == true)
            {
                double kilo = 0;
                if (rdEx1.Checked)
                {
                   kilo=readExcel("[ex1$]");
                   cal(kilo);
                }
                else if (rdEx2.Checked)
                {
                    kilo = readExcel("[ex2$]");
                    cal(kilo);
                }
                else if (rdEx3.Checked)
```

```
                {
                    kilo = readExcel("[ex3$]");
                    cal(kilo);
                }
                else if (rd10.Checked)
                {
                    kilo = readExcel("[10$]");
                    cal(kilo);
                }
                else if (rd20.Checked)
                {
                    kilo = readExcel("[20$]");
                    cal(kilo);
                }
                else if (rd30.Checked)
                {
                    kilo = readExcel("[30$]");
                    cal(kilo);
                }
                else if (rd40.Checked)
                {
                    kilo = readExcel("[40$]");
                    cal(kilo);
                }
                else
                {
                    MessageBox.Show("กรุณาเลือกเส้นทางที่ต้องการคำนวณ", "",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
                    return;
                }
            }

            else
            {
                if (dgvCustomer.Rows.Count == 0)
                {
                    MessageBox.Show("กรุณาเลือกเส้นทางที่ต้องการคำนวณ", "",
MessageBoxButtons.OK, MessageBoxIcon.Warning);
                    return;
                }

                data = new DataTable();
                data = tempCustomer;
                double kilo = tempCustomer.AsEnumerable().Sum(s =>
Double.Parse(s[8].ToString()));
                cal(kilo);
            }

        }

        private Double readExcel(string sheetName)
        {
            sql = "Select Name as ชื่อลูกค้า,Address as ที่อยู่ ,District as อำเภอ
,Ei,Li,node,Weight as น้ำหนัก,id as ID,จังหวัด,ลำดับ from " + sheetName;

            this.sheetName = sheetName;
            data = new DataTable();
            data = db.ReadExcel(sql);
```

```
    dgvCustomer.DataSource = data;
    dgvCustomer.Columns[0].Visible = false;
    double kilo = 0;

    foreach (DataRow dr in data.Rows)
    {
        try
        {
            kilo += float.Parse(dr[6].ToString());

        }
        catch (Exception)
        {
            dr.Delete();


        }

    }
    return kilo;
}

private void cal(Double kilo)
{
    Cal cal = new Cal();
    List<SelectCar> select = new List<SelectCar>();
    cal.Start(kilo, ref select);
    foreach (var e in select)
    {
        txt4.Text = e.car4.ToString();
        txt6.Text = e.car6.ToString();
        txt10.Text = e.car10.ToString();
        txt18.Text = e.car18.ToString();
        txtCostcar.Text = e.cost.ToString();
        break;
    }
    tabControl1.SelectedIndex = 1;

    var Rows = (from row in data.AsEnumerable()
                orderby row["Ei"], row["node"] ascending
                select row);



    DataTable Ei = new DataTable();
    DataTable Li = new DataTable();
    Ei = Rows.AsDataView().ToTable();


    ManageLocation genLocation = new ManageLocation();
    List<ManageLocation> mg = new List<ManageLocation>();
    string distaneSheet = "[Distance$]";
    string timeSheet = "[Time$]";
    switch (sheetName)
    {
        case "[ex1$]":
        case "[ex2$]":
        case "[ex3$]":
            distaneSheet = "[ex1Distance$]";
```

```
                    timeSheet = "[ex1Time$]";
                    break;
            }

            List<float> weigthFee = new List<float>();
            foreach (var a in select)
            {

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car18.ToString()); i++)
                {
                    weigthFee.Add(genLocation.start(ref Ei, 30000, i, ref mg,
distaneSheet));

                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car10.ToString()); i++)
                {
                    weigthFee.Add(genLocation.start(ref Ei, 16000, i, ref mg,
distaneSheet));

                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car6.ToString()); i++)
                {
                    weigthFee.Add(genLocation.start(ref Ei, 10000, i, ref mg,
distaneSheet));


                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car4.ToString()); i++)
                {
                    weigthFee.Add(genLocation.start(ref Ei, 4200, i, ref mg,
distaneSheet));

                }
            }

            Split insertFee = new Split();
            List<double> costStream = new List<double>();
            DataTable temp = new DataTable();

            if (Ei.Rows.Count != 0)//HardCode
            {
                //insertFee.insertCar(select, ref weigthFee, ref Ei, ref mg,
ref genLocation, ref temp);
                insertFee.start(select, ref weigthFee, ref Ei, ref mg, ref
genLocation, ref temp);
                if (Ei.Rows.Count != 0)//HardCode
                {
                    insertFee.Split2(select, ref weigthFee, ref Ei, ref mg, ref
genLocation, ref temp);
                }


            }
            List<double> timeStream = new List<double>();
            List<int> timeTravel = new List<int>();
```

```
            insertFee.genTime(select, mg, ref timeStream, timeSheet, ref
timeTravel);
            CheckLi chk = new CheckLi();

            //List<ManageLocation> newMg = chk.Start(ref mg, ref timeStream);
//เส้นทางที่เวลาเกิน
            //if (newMg.Count != 0)
            //{
            //    chk.selectCar(ref newMg);
            //}


            insertFee.CalCost(select, mg, ref costStream,distaneSheet);//คำนวน
ค่าใช้จ่าย
            mgToDataTable(mg, select, ref temp, sheetName, costStream,
timeStream, timeTravel);
            dgvRoute.DataSource = temp;
            foreach (DataGridViewRow row in dgvRoute.Rows)
            {
                if (row.Cells[3].Value.ToString().Equals("น้ำหนักรวม"))
                {
                    row.DefaultCellStyle.BackColor = Color.SeaGreen;
                }
                else if (row.Cells[3].Value.ToString().Equals("ค่าขนส่ง"))
                {
                    row.DefaultCellStyle.BackColor = Color.SeaGreen;
                }
            }
        }

        private void mgToDataTable(List<ManageLocation> mg, List<SelectCar>
genCar, ref DataTable temp, string sheetName, List<double> costStream,
            List<double> timeStream, List<int> timeTravel)
        {
            temp = new DataTable();
            temp.Columns.Add("ประเภทรถ");
            temp.Columns.Add("คันที่");
            temp.Columns.Add("ชื่อลูกค้า");
            temp.Columns.Add("สถานที่");
            temp.Columns.Add("น้ำหนัก");
            temp.Columns.Add("เวลาเดินทาง");
            temp.Columns.Add("เวลาที่ไปถึง");
            temp.Columns.Add("node");
            Double sumTotalcost = 0;
            Double weight = 0;
            sql = "select Time From Setting";
            DataTable time = new DataTable();
            time = db.getDataTable(sql);
            if (time.Rows[0][0].ToString().Substring(0, 2).Equals(""))
            {
                MessageBox.Show("ยังไม่ได้กำหนดเวลารถออก");
                tabControl1.SelectedIndex = 2;
                return;
            }
            float start =
float.Parse(time.Rows[0][0].ToString().Substring(0,2));//เวลารถออกจากโรงงาน
            foreach (var a in genCar)
```

```
            {
                int ii = 0;
                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car18.ToString()); i++)
                {
                    bool first = true;
                    Double hr = 0;
                    Double travel = 0;
                    for (int j = ii; j < mg.Count; j++)
                    {

                        var name = data.Select("ID  ='" + mg[j].id +
"'").ToList();
                        try
                        {
                            hr = minToTime(timeStream[j], start) + start;
                            travel = minToTime(timeTravel[j], 0);
                        }
                        catch (Exception)
                        {


                        }
                        if (first)
                        {
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { mg[j].carType,
mg[j].countCar, name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight,
travel.ToString("00.00"), hr.ToString("00.00"), mg[j].node });

                                first = false;
                                weight += mg[j].weight;
                            }
                            ii++;
                        }
                        else
                        {

                            if (!mg[j].carType.Equals("รถเทรลเลอร์") ||
mg[j].countCar != i + 1)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "น้ำหนัก
รวม", weight.ToString("##.##"), "" });
                                weight = 0;
                                //start = 9;
                                Double cost = costStream[0];
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "ค่า
ขนส่ง", cost.ToString("##.##") + " บาท", "" });
                                sumTotalcost +=
double.Parse(cost.ToString("##.##"));
                                costStream.RemoveAt(0);
                                break;
                            }
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "",
name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight, travel.ToString("00.00"),
hr.ToString("00.00"), mg[j].node });
```

```
                                ii++;
                                weight += mg[j].weight;
                            }

                        }

                    }
                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car10.ToString()); i++)
                {
                    bool first = true;
                    Double hr = 0;
                    Double travel = 0;
                    for (int j = ii; j < mg.Count; j++)
                    {

                        var name = data.Select("ID  ='" + mg[j].id +
"'").ToList();
                        try
                        {
                            hr = minToTime(timeStream[j], start) + start;
                            travel = minToTime(timeTravel[j], 0);
                        }
                        catch (Exception)
                        {


                        }
                        if (first)
                        {
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { mg[j].carType,
mg[j].countCar, name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight,
travel.ToString("00.00"), hr.ToString("00.00"), mg[j].node });

                                weight += mg[j].weight;
                                first = false;
                            }
                            ii++;
                        }
                        else
                        {

                            if (!mg[j].carType.Equals("รถ10ล้อ") ||
mg[j].countCar != i + 1)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "น้ำหนัก
รวม", weight.ToString("##.##"), "" });
                                weight = 0;
                                //start = 9;
                                Double cost = costStream[0];
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "ค่า
ขนส่ง", cost.ToString("##.##") + " บาท", "" });
                                sumTotalcost +=
double.Parse(cost.ToString("##.##"));
                                costStream.RemoveAt(0);
```

```
                                break;
                            }
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "",
name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight, travel.ToString("00.00"),
hr.ToString("00.00"), mg[j].node });
                                ii++;
                                weight += mg[j].weight;
                            }

                        }

                    }
                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car6.ToString()); i++)
                {
                    bool first = true;
                    Double hr = 0;
                    Double travel = 0;
                    for (int j = ii; j < mg.Count; j++)
                    {

                        var name = data.Select("ID  ='" + mg[j].id +
"'").ToList();
                        try
                        {
                            hr = minToTime(timeStream[j], start) + start;
                            travel = minToTime(timeTravel[j], 0);
                        }
                        catch (Exception)
                        {


                        }
                        if (first)
                        {
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { mg[j].carType,
mg[j].countCar, name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight,
travel.ToString("00.00"), hr.ToString("00.00"), mg[j].node });

                                first = false;
                                weight += mg[j].weight;
                            }
                            ii++;
                        }
                        else
                        {

                            if (!mg[j].carType.Equals("รถ6ล้อ") || mg[j].countCar
!= i + 1)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "น้ำหนัก
รวม", weight.ToString("##.##"), "" });
                                weight = 0;
                               // start = 9;
```

```
                                Double cost = costStream[0];
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "ค่า
ขนส่ง", cost.ToString("##.##") + " บาท", "" });
                                sumTotalcost +=
double.Parse(cost.ToString("##.##"));
                                costStream.RemoveAt(0);
                                break;
                            }
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "",
name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight, travel.ToString("00.00"),
hr.ToString("00.00"), mg[j].node });
                                ii++;
                                weight += mg[j].weight;
                            }

                        }

                    }
                }

                for (Int16 i = 0; i < int.Parse(a.car4.ToString()); i++)
                {

                    bool first = true;
                    Double hr = 0;
                    Double travel = 0;
                    for (int j = ii; j < mg.Count; j++)
                    {

                        var name = data.Select("ID  ='" + mg[j].id +
"'").ToList();
                        try
                        {
                             hr = minToTime(timeStream[j], start) + start;
                             travel = minToTime(timeTravel[j], 0);
                        }
                        catch (Exception)
                        {


                        }




                        if (first)
                        {
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { mg[j].carType,
mg[j].countCar, name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight,
travel.ToString("00.00"), hr.ToString("00.00"), mg[j].node });

                                first = false;
                                weight += mg[j].weight;
                            }
                            ii++;
```

```
                        }
                        else
                        {

                            if (!mg[j].carType.Equals("รถ4ล้อ") || mg[j].countCar
!= i + 1)
                            {
                                if (ii != j) //hardcode
                                {
                                    ii = j;
                                }
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "น้ำหนัก
รวม", weight.ToString("##.##"), "" });
                                weight = 0;
                                //start = 9;
                                Double cost = costStream[0];
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "ค่า
ขนส่ง", cost.ToString("##.##") + " บาท", "" });
                                sumTotalcost +=
double.Parse(cost.ToString("##.##"));
                                costStream.RemoveAt(0);
                                break;
                            }
                            if (name.Count != 0)
                            {
                                temp.Rows.Add(new object[] { "", "",
name[0][0].ToString(), mg[j].location, mg[j].weight, travel.ToString("00.00"),
hr.ToString("00.00"), mg[j].node });
                                ii++;
                                weight += mg[j].weight;
                            }

                        }
                    }
                }
                Double cost2 = 0;
                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "น้ำหนักรวม",
weight.ToString("##.##"), "" });
                cost2 = costStream[0];
                temp.Rows.Add(new object[] { "", "", "", "ค่าขนส่ง",
cost2.ToString("##.##") + " บาท", "" });
                sumTotalcost += double.Parse(cost2.ToString("##.##"));
                costStream.RemoveAt(0);
            }
            tabControl1.SelectedIndex = 1;
            totalCost.Text = sumTotalcost.ToString();
        }

        private double minToTime(double time,float start)
        {
            int hr = Convert.ToInt16(time) / 60;
            float min = Convert.ToInt32(time) % 60;
            string m = min.ToString();
            if (min < 10)
            {
                m = "0" + min;
            }
            string h = hr + "." + m;
```

```
            float hour = float.Parse(h);
           // hr += int.Parse(("00." + (aaa % 60)));
            while (hour + start > 24)
            {
                hour -= 24;
            }

            return hour;
        }

        private void btnSetting_Click(object sender, EventArgs e)
        {
            string time = ddlTimeStart.Text;
            if (time == "")
            {
                MessageBox.Show("ยังไม่ได้เลือกเวลาออกจากโรงงาน");
                return;
            }
            String sql = "UPDATE Setting SET [Time] = '" + time + "'";
            db.Exe(sql);
            MessageBox.Show("บันทึกการแก้ไขแล้ว");
        }

        private void chkShowEx_CheckedChanged(object sender, EventArgs e)
        {
            if (chkShowEx.Checked == true)
            {
                groupExp.Visible = true;
            }
            else
            {
                groupExp.Visible = false;
            }
        }
    }
}
```