การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสาน

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

น.ส.นรีทิพย์ อติคุณธำรง

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2561

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทคัดย่อและแฟ้มข้อมูลฉบับเต็มของวิทยานิพนธ์ตั้งแต่ปีการศึกษา 2554 ที่ให้บริการในคลังปัญญาจุฬาฯ (CUIR)
เป็นแฟ้มข้อมูลของนิสิตเจ้าของวิทยานิพนธ์ที่ส่งผ่านทางบัณฑิตวิทยาลัย
The abstract and full text of theses from the academic year 2011 in Chulalongkorn University Intellectual Repository (CUIR)
are the thesis authors' files submitted through the Graduate School.

6070930821_4100410879

Vehicle Routing Design for a Solder and Brazing Alloy Distributor

Miss Nareetip Atikuntamrong

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements
for the Degree of Master of Engineering in Industrial Engineering
Department of Industrial Engineering
Faculty of Engineering
Chulalongkorn University
Academic Year 2018

Copyright of Chulalongkorn University

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสาน
โดย	น.ส.นรีทิพย์ อติคุณธำรง
สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร.สุพจน์ เตชวรสินสกุล)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาศ)

.... อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี)

.... กรรมการภายนอกมหาวิทยาลัย
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.นันทชัย กานตานันทะ)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

นรีทิพย์ อติคุณธำรง : การออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสาน. (Vehicle Routing Design for a Solder and Brazing Alloy Distributor) อ.ที่ปรึกษาหลัก : ผศ. ดร.พิศิษฏ์ จารุมณีโรจน์

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นการพัฒนาสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการช่วยออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับบริษัทตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสานให้มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น โดยอ้างอิงจากรูปแบบปัญหา Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ปัจจุบันบริษัทดังกล่าวมีนโยบายการเดินรถขนส่งแบบตายตัว ซึ่งง่ายต่อจัดการหากแต่ขาดความยืดหยุ่นในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าที่แปรเปลี่ยนไปในแต่ละวัน ส่งผลทำให้บริษัทจำเป็นต้องจ้างรถ Outsource และจ้างพนักงานในการทำงานล่วงเวลาเป็นจำนวนมาก ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการสร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ ตัวแบบ Travelling Salesman Problem (TSP) ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถที่ไม่ขัดแย้งกับนโยบายของบริษัท และ ตัวแบบ Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถโดยไม่คำนึงถึงนโยบายของบริษัท ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ที่ได้ระหว่างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ถูกสร้างขึ้น และการดำเนินงานในอดีตเป็นเวลา 35 วัน ผู้วิจัยพบว่า แผนการเดินรถขนส่งจากแบบจำลอง TSP สามารถลดต้นทุนการเดินรถของบริษัทลงได้ประมาณ 4 % ในขณะที่แผนการเดินรถขนส่งจากแบบจำลอง VRP สามารถลดต้นทุนการเดินรถได้มากถึง 28 %

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

สาขาวิชา	วิศวกรรมอุตสาหการ	ลายมือชื่อนิสิต	....
ปีการศึกษา	2561	ลายมือชื่อ อ.ที่ปรึกษาหลัก	....

6070930821 : MAJOR INDUSTRIAL ENGINEERING
KEYWORD: Transportation Management System, Vehicle Routing Problem, Mathematical Model

Nareetip Atikuntamrong : Vehicle Routing Design for a Solder and Brazing Alloy Distributor. Advisor: Asst. Prof. PISIT JARUMANEEROJ, Ph.D.

This research focuses on the development of a mathematical model for vehicle routing design of a solder and brazing alloy distributor based on the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP). While the fixed route policy currently deployed is relatively easy to manage it, however, lacks flexibility and responsiveness to customer demands that vary from day to day. As a result, the company needs to outsource part of its incoming delivery orders and pays for unnecessary overtimes due to such inefficient route planning. We divide the development of this model in a 2-phase setting. In the first phase, Travelling Salesman Problem (TSP) is adopted to identify routing plan that follows the company's current policy. Later, the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) is applied to design routing plan that violates the company's current policy. Based on our experimental results, using previous historical data of 35 days, we find that the plan provided by the Travelling Salesman Problem (TSP) can reduce the total cost by 4%, while the plan provided by the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) can potentially reduce transportation cost up to 28%

Field of Study:	Industrial Engineering	Student's Signature ....
Academic Year:	2018	Advisor's Signature ....

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะสำเร็จลุล่วงไปด้วยดีไม่ได้ หากขาดอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. พิศิษฎ์ จารุมณีโรจน์ อาจารย์คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ ที่คอยให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทาง และตรวจสอบข้อบกพร่องต่างๆ อย่าสม่ำเสมอ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดี

ขอขอบคุณ รศ. ดร. วิภาวี ธรรมาภรณ์พิลาส ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผศ. ดร. นระเกณฑ์ พุ่มชูศรี กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ และ ผศ.ดร. นันทชัย กานตานันทะ ที่ได้สละเวลาตรวจสอบและพิจารณาวิทยานิพนธ์ รวมถึงให้คำแนะนำในการปรับปรุงงานวิจัยให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

สุดท้ายขอขอบคุณครอบครัว เพื่อนๆ รวมถึงผู้เกี่ยวข้องทุกท่านที่ไม่ได้กล่าวถึงในที่นี้ ที่คอยให้คำปรึกษา และความช่วยเหลือด้วยดีเสมอมา

นรีทิพย์ อติคุณธำรง

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

สารบัญ

หน้า

....ค
บทคัดย่อภาษาไทย ....ค
....ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..ง
กิตติกรรมประกาศ ....จ
สารบัญ ....ฉ
สารบัญตาราง..ซ
สารบัญรูปภาพ...ญ
บทที่ 1 บทนำ 1
1.1 ที่มาและความสำคัญ..1
1.2 ข้อมูลพื้นฐานบริษัทกรณีศึกษา 6
1.3 ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา...8
1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 10
1.5 ขอบเขตของงานวิจัย 10
1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย.. 10
1.7 ผลที่ได้รับ 11
1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ.. 11
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.. 12
2.1 Travelling Salesman Problem : TSP... 13
2.2 Vehicle Routing Problem : VRP.. 15
2.3 Capacitated Vehicle Routing Problem : CVRP 17

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน 19
3.1 ศึกษากระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา 19
3.2 วิเคราะห์ข้อมูลประวัติการเดินรถขนส่ง 26
3.3 ออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 31
3.4 ทดสอบและวัดผลตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 38
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน 39
4.1 ผลการทดสอบตัวแบบจำลอง TSP 39
4.2 สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงจากการใช้ตัวแบบจำลอง TSP 41
4.3 ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดสอบตัวแบบจำลอง TSP 45
4.4 ผลการทดสอบตัวแบบจำลอง VRP 48
4.5 สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงจากการใช้ตัวแบบจำลอง VRP 50
4.6 ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดสอบตัวแบบจำลอง VRP 53
4.7 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลอง TSP และ ตัวแบบจำลอง VRP 60
4.8 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำงานวิจัยไปใช้จริง 61
4.9 ข้อเสนอ และแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา 62
4.9.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 63
4.9.2 การประยุกต์ใช้วิธีการอย่างง่าย 64
บทที่ 5 สรุปผลการดำเนินงาน 73
5.1 Travelling Salesman Problem Model 73
5.2 Vehicle Routing Problem Model 74
5.3 ข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 74
บรรณานุกรม 76
ประวัติผู้เขียน 79

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1-1 ปริมาณและสัดส่วนการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559 2

ตารางที่ 1-2 ประเภทสินค้า และหน่วยการขายของสินค้าแต่ละประเภท 7

ตารางที่ 1-3 ขนาดบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคันในวันที่ 1 9

ตารางที่ 1-4 ประวัติการจ้างรถ Outsource เพื่อส่งสินค้า 9

ตารางที่ 2-1 ลักษณะของปัญหาการจัดการกระบวนการขนส่ง 12

ตารางที่ 3-1 การจัดรูปแบบข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์ 26

ตารางที่ 3-2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย (Average Servicing Time)....... 27

ตารางที่ 3-3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย (Average Servicing Time) (ต่อ) 28

ตารางที่ 3-4 อัลกอริทึมที่ใช้หาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างคู่พิกัดใดๆ... 29

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่าง Distance Matrix ระหว่างคลังสินค้า และลูกค้าทุกราย (หน่วยกิโลเมตร)..... 30

ตารางที่ 3-6 อัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่ง (กิโลเมตรต่อลิตร)... 31

ตารางที่ 4-1 ต้นทุนค่าขนส่งจริงของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง TSP... 40

ตารางที่ 4-2 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง TSP 42

ตารางที่ 4-3 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง TSP 44

ตารางที่ 4-4 ผลเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเดินรถจริงกับเส้นทางที่ได้จากการใช้แบบจำลอง TSP... 47

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนค่าขนส่งจริงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP 49

ตารางที่ 4-6 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง VRP 51

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลเส้นทางการเดินรถวันที่ 13 ของบริษัทกรณีศึกษา 54

ตารางที่ 4-8 ข้อมูลเส้นทางการเดินรถวันที่ 13 ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง VRP 57

ตารางที่ 4-9 ผลเปรียบเทียบระหว่างการเดินรถจริงของบริษัทกับผลจากการใช้แบบจำลอง VRP ... 60

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งสินค้าในวันที่ 13 จากการใช้วิธีการต่างๆ 72

ตารางที่ 5-1 ระยะเวลาที่ตัวแบบจำลอง VRP ใช้ในการคำนวณ 75

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

สารบัญรูปภาพ

หน้า

รูปที่ 1-1 รูปแบบการขนส่ง 1

รูปที่ 1-2 ภาพรวมต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทย 3

รูปที่ 1-3 แผนภูมิแสดงราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2561 4

รูปที่ 1-4 องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่ง 5

รูปที่ 1-5 ข้อมูลเวลาที่พนักงานขนส่งนำรถกลับมาเก็บที่บริษัท ในเดือนกรกฎาคม และ สิงหาคม 8

รูปที่ 2-1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบ Travelling Salesman Problem 13

รูปที่ 2-2 ประเภทของปัญหา TSP 14

รูปที่ 2-3 ลักษณะปัญหาแบบ VRP 15

รูปที่ 3-1 แผนผังโครงสร้างองค์กร 20

รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการทำงานของฝ่าย Purchasing & Logistics ตั้งแต่ลูกค้าสั่งสินค้าจนถึงได้รับสินค้า 21

รูปที่ 3-3 แผนการวิ่งรถของบริษัท 22

รูปที่ 3-4 บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานพนักงานขนส่ง 24

รูปที่ 4-1 ต้นทุนค่าขนส่งจริงของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง TSP 39

รูปที่ 4-2 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง TSP 41

รูปที่ 4-3 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง TSP 43

รูปที่ 4-4 ตารางการเดินรถ 45

รูปที่ 4-5 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 11 รถคันที่ 2 46

รูปที่ 4-6 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง TSP ในวันที่ 11 รถคันที่ 2 47

4100410879

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

รูปที่ 4-7 ต้นทุนค่าขนส่งจริงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP 48

รูปที่ 4-8 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง VRP 50

รูปที่ 4-9 จำนวนรถขนส่งที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรถขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP...... 52

รูปที่ 4-10 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง VRP 53

รูปที่ 4-11 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13.. 54

รูปที่ 4-12 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 1 55

รูปที่ 4-13 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 2 55

รูปที่ 4-14 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 3 56

รูปที่ 4-15 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 4 56

รูปที่ 4-16 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13... 58

รูปที่ 4-17 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 1 58

รูปที่ 4-18 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 2 59

รูปที่ 4-19 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 3 59

รูปที่ 4-20 ผลเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลงระหว่างการใช้แบบจำลอง TSP และแบบจำลอง VRP 61

รูปที่ 4-21 พิกัดของลูกค้า และน้ำหนักสินค้าที่ต้องส่ง ประจำวันที่ 13... 65

รูปที่ 4-22 วิธีการทำ Bin Packing (1).. 66

รูปที่ 4-23 วิธีการทำ Bin Packing (2).. 67

รูปที่ 4-24 วิธีการทำ Bin Packing (3).. 67

รูปที่ 4-25 เส้นทางของ Route 1 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง).. 68

รูปที่ 4-26 เส้นทางของ Route 1 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง) 69

รูปที่ 4-27 เส้นทางของ Route 2 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง).. 69

รูปที่ 4-28 เส้นทางของ Route 2 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง) 70

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

รูปที่ 4-29 เส้นทางของ Route 3 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง) 70

รูปที่ 4-30 เส้นทางของ Route 3 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง) 71

รูปที่ 4-31 เส้นทางเดินรถวันที่ 13 (หลังปรับปรุง) 71

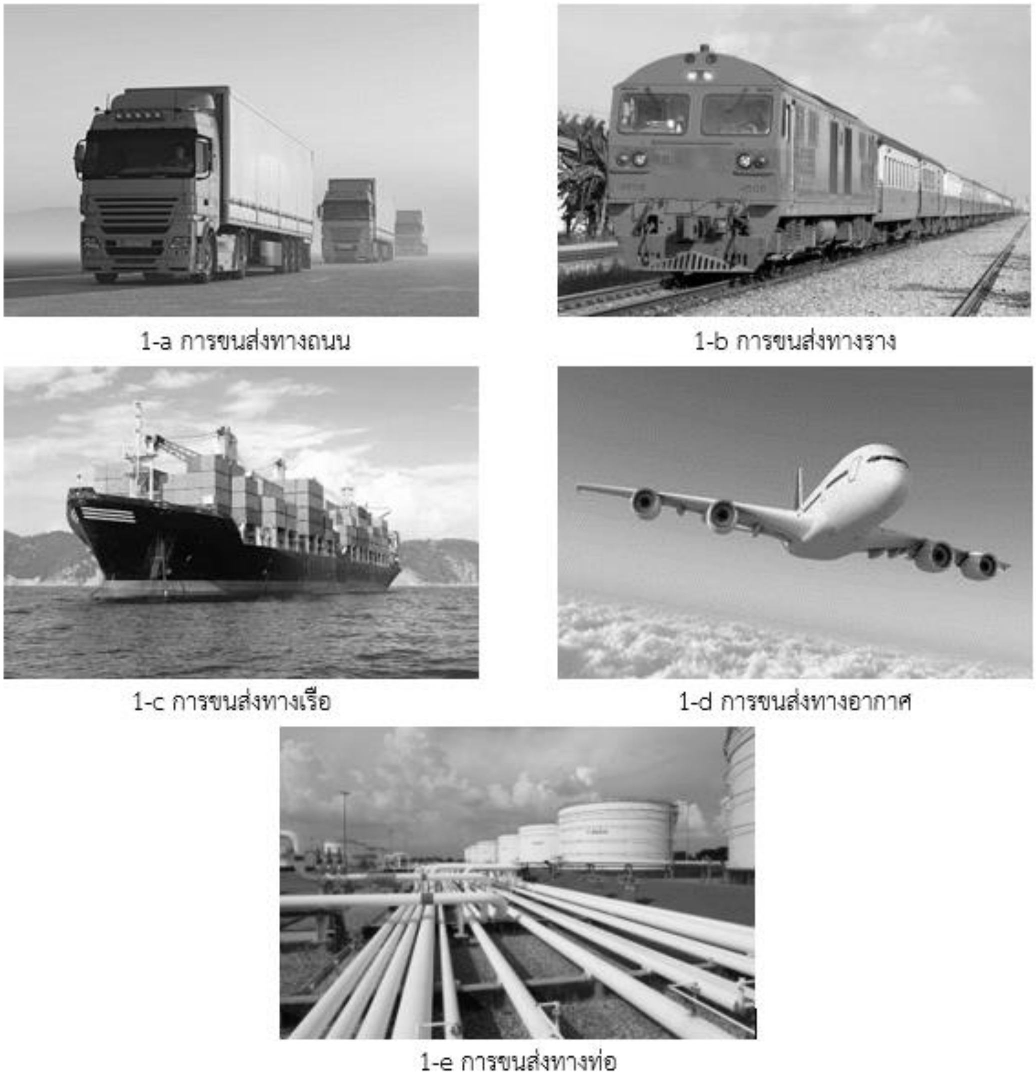
4100410879

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเภทของการขนส่ง 3 ประเภทหลัก ประกอบไปด้วย การขนส่งทางบก การขนส่งทางน้ำ และการขนส่งทางอากาศ โดยเราสามารถแบ่งประเภทของการขนส่งย่อยลงได้อีกตามลักษณะการขนส่ง เส้นทาง และอุปกรณ์ที่ใช้ เช่น การขนส่งทางถนน การขนส่งทางราง การขนส่งทางเรือ การขนส่งทางอากาศ และการขนส่งทางท่อ (รูปที่ 1-1)



รูปที่ 1-1 รูปแบบการขนส่ง

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ทั้งนี้การขนส่งแต่ละประเภทมีลักษณะเฉพาะตัวที่แตกต่างกันไป การเลือกวิธีการขนส่งที่เหมาะสมนั้น จำเป็นต้องพิจารณาจากหลายๆ ปัจจัยเข้าร่วมกัน เช่น สภาพภูมิศาสตร์ของแต่ละพื้นที่ ประเภทของสินค้าที่ต้องขนส่ง มูลค่าของสินค้า ความรวดเร็ว และปริมาณของสินค้า เพื่อให้ได้มาซึ่งวิธีการขนส่งที่มีความคุ้มค่าและตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้ามากที่สุด (Reis, 2014)

สำหรับประเทศไทยนั้น รูปแบบการขนส่งที่เป็นที่นิยมมากที่สุด คือ การขนส่งทางถนน เนื่องจากเป็นวิธีการขนส่งที่สามารถเข้าถึงลูกค้าได้โดยตรง และสะดวก โดยปัจจุบันมีการสร้างถนนที่ครอบคลุมการเข้าถึงพื้นที่ต่างๆ มากขึ้น ทำให้ไม่ต้องทำการเปลี่ยนถ่ายสินค้าไปยังยานพาหนะรูปแบบอื่นเพื่อส่งสินค้าไปยังปลายทาง นอกจากนี้การขนส่งทางถนนยังเป็นการขนส่งที่มีต้นทุนต่ำเมื่อเทียบกับการขนส่งวิธีอื่น บริษัทผู้จำหน่ายสินค้าสามารถมีรถขนส่งไว้ในครอบครองเองได้ อีกทั้งยังสามารถบริหารจัดการเวลาในการเดินรถเพื่อไปยังพื้นที่ปลายทางได้อย่างเหมาะสมตามความต้องการของลูกค้าได้อีกด้วย

จากข้อมูลปริมาณ และสัดส่วนการขนส่งสินค้าภายในประเทศของสำนักงานนโยบายและแผนการขนส่งและจราจร แสดงให้เห็นว่าการขนส่งทางถนนได้รับความนิยมเป็นอันดับหนึ่ง ถัดมาเป็นการขนส่งทางราง การขนส่งทางน้ำ และการขนส่งทางอากาศ ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1-1

ตารางที่ 1-1 ปริมาณและสัดส่วนการขนส่งสินค้าภายในประเทศไทย ปี พ.ศ. 2559

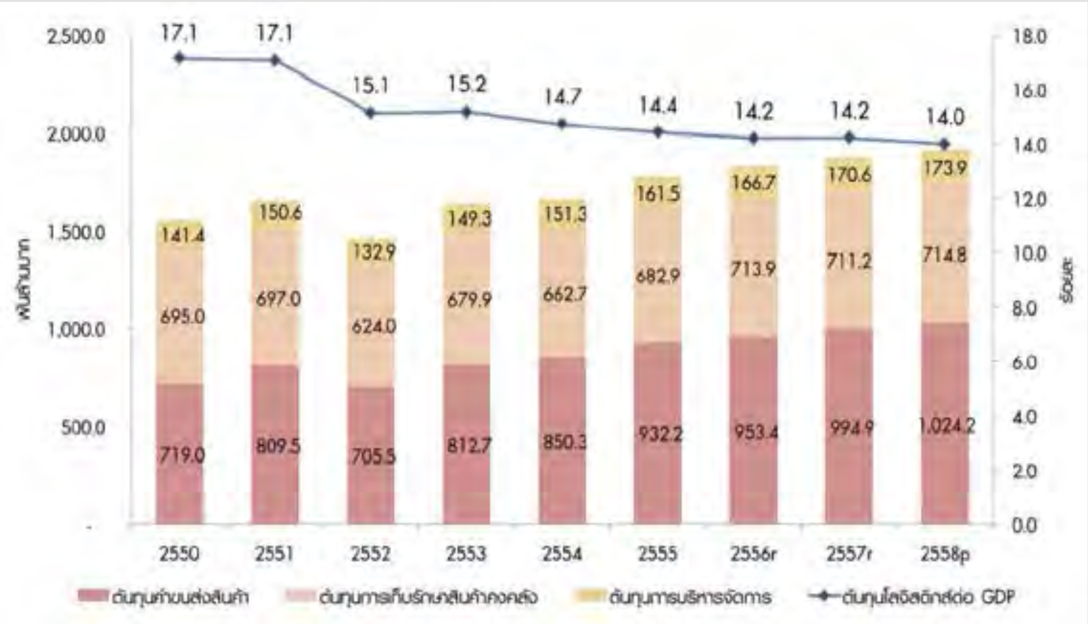
ที่มา : ศูนย์เทคโนโลยีสารสนเทศการขนส่งและจราจร กันยายน ปี พ.ศ. 2560

รูปแบบการขนส่ง	**ปริมาณการขนส่งสินค้า (ล้านตัน)**	**สัดส่วนการขนส่งสินค้า**
ทางถนน	706.54	ร้อยละ 86.94
ทางราง	11.63	ร้อยละ 1.43
ทางน้ำ	94.39	ร้อยละ 11.61
ทางอากาศ	0.13	ร้อยละ 0.02
รวม	812.69	ร้อยละ 100

ปัจจุบันธุรกิจต่างๆ มีอัตราการเจริญเติบโตที่รวดเร็ว บริษัทหลายแห่งในประเทศไทยต้องปรับตัวอย่างมากเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้า และสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ ดังนั้นการปรับปรุงกระบวนการและการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง จึงเป็นหัวใจสำคัญของธุรกิจ ไม่ว่าจะเป็นการปรับปรุงด้านการวางแผนการผลิต การปรับปรุงกระบวนการผลิต การจัดการบำรุงรักษา การ

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

กระตุ้นยอดขาย รวมไปถึงการปรับปรุงผลิตภัณฑ์ ซึ่งกระบวนการปรับปรุงทั้งหมดที่กล่าวมานั้น ล้วนแล้วแต่เป็นส่วนหนึ่งในการสร้างความพึงพอใจให้กับลูกค้า หากแต่ยังมีอีกกระบวนการหนึ่งที่มักถูกมองข้ามไปนั่นคือ กระบวนการขนส่งสินค้า

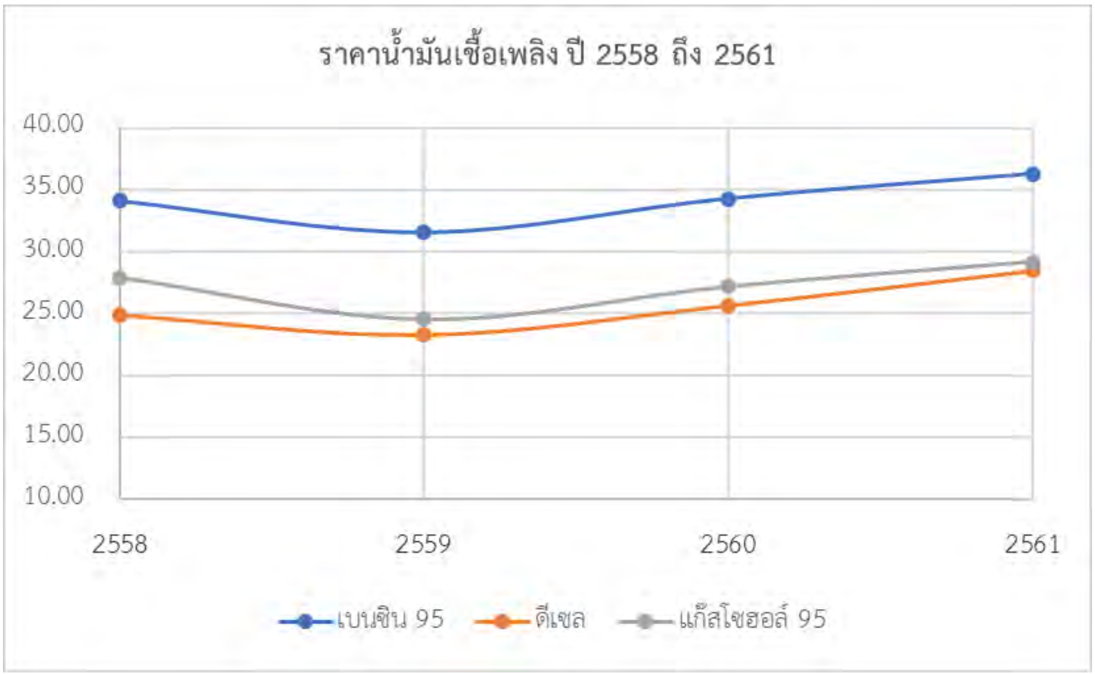


รูปที่ 1-2 ภาพรวมต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทย

ที่มา : รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทยประจำปี 2559 สำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ปี พ.ศ. 2560

จากข้อมูลรายงานภาพรวมต้นทุนโลจิสติกส์ของประเทศไทยของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (รูปที่ 1-2) จะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งสินค้าของไทยมีมูลค่าค่อนข้างสูง โดยคิดเป็นประมาณร้อยละ 50 ของต้นทุนโลจิสติกส์ทั้งหมด ทั้งนี้หากบริษัทสามารถหาวิธีบริหารจัดการการขนส่งสินค้าได้อย่างเหมาะสม โดยที่ลูกค้ายังได้รับสินค้าตรงตามความต้องการในเวลาที่ต้องการ ย่อมส่งผลทำให้ต้นทุนในส่วนนี้ลดต่ำลง (Kirci, 2016) และสามารถแข่งขันกับคู่แข่งได้ในที่สุด อย่างไรก็ดีการปรับปรุงในด้านการขนส่งนี้ จะต้องไม่ส่งผลกระทบต่อคุณภาพของสินค้า และความสามารถในการผลิตสินค้า ซึ่งเป็นหลักสำคัญของการดำเนินการขนส่งสินค้า

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



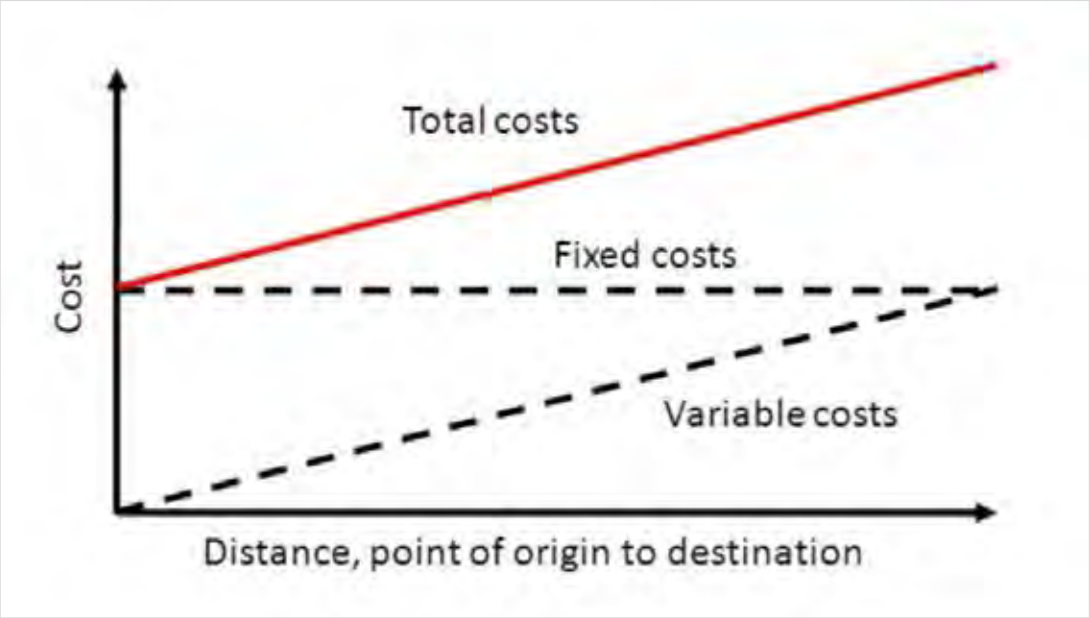
รูปที่ 1-3 แผนภูมิแสดงราคาน้ำมันเชื้อเพลิงเฉลี่ย ปี พ.ศ. 2558 ถึง พ.ศ. 2561

ที่มา : ธนาคารแห่งประเทศไทย

นอกจากการจัดการขนส่งสินค้าที่ไม่เหมาะสมแล้ว ราคาน้ำมันที่มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น (รูปที่ 1-3) ย่อมส่งผลทำให้อัตราค่าใช้จ่ายในการขนส่งมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามไปด้วย (Gross, Hayden, & Butz, 2012)

ด้วยเหตุต่างๆ ข้างต้น บริษัทหลายแห่งได้หันมาให้ความสำคัญกับการพัฒนาและปรับปรุงกระบวนการขนส่งกันมากขึ้น เนื่องจากเป็นกระบวนการสำคัญในระบบห่วงโซ่อุปทาน ที่ก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายในสัดส่วนที่ค่อนข้างมากเมื่อเทียบกับค่าใช้จ่ายในด้านอื่นๆ (Setak, Habibi, Karimi, & Abedzadeh, 2015) องค์ประกอบที่ทำให้เกิดค่าใช้จ่ายในกระบวนการขนส่งทางถนนนั้น สามารถจำแนกได้เป็นต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) และต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ดังแสดงในรูปที่ 1-4

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879



รูปที่ 1-4 องค์ประกอบของค่าใช้จ่ายในการขนส่ง

ต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) เป็นต้นทุนที่ต้องจ่าย ถึงแม้ว่าจะไม่มีการขนส่งสินค้าเกิดขึ้นก็ตาม ตัวอย่างเช่น ค่ารถ ค่าพนักงานขับรถ และค่าประกันภัย ในขณะที่ต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) เป็นค่าใช้จ่ายที่เกิดขึ้นโดยแปรผันตามจำนวนความถี่ในการขนส่งสินค้า เช่น ค่าน้ำมันรถ ค่าซ่อมบำรุงรถ ค่าเอกสาร และค่าดำเนินการ หากบริษัทสามารถปรับปรุงกระบวนการขนส่งให้มีประสิทธิภาพได้ จะทำให้ค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ลดลง ส่งผลทำให้บริษัทสามารถให้บริการลูกค้าได้ดียิ่งขึ้นด้วย

อย่างไรก็ดีปัญหาที่เกิดขึ้นในกระบวนการขนส่งสินค้านั้นมีมากมาย เช่น ไม่สามารถไปส่งสินค้าได้ทันตามเวลาที่ลูกค้ากำหนด รถขนส่งไม่สามารถบรรจุสินค้าได้เพียงพอทำให้ต้องเดินรถหลายรอบ ค่าใช้จ่ายการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขับรถที่เพิ่มสูงขึ้น การขนส่งสินค้าผิดประเภท สินค้าเสียหายระหว่างการขนส่ง และรถขนส่งเกิดอุบัติเหตุ สาเหตุของปัญหาเหล่านี้มีทั้งที่เกิดขึ้นจากการบริหารจัดการด้านการขนส่งที่ขาดประสิทธิภาพ ซึ่งบริษัทสามารถควบคุมได้ เช่น การออกแบบเส้นทางการเดินรถที่ไม่เหมาะสม การจัดลำดับการส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่ไม่มีประสิทธิภาพ ปริมาณรถขนส่งไม่เพียงพอ การจัดเรียงสินค้าบนรถไม่เหมาะสม และลักษณะบรรจุภัณฑ์ที่ไม่มีคุณภาพ และเกิดจากสาเหตุที่ทางบริษัทไม่สามารถควบคุมได้ เช่น ปัญหาการจราจร หรือสภาพภูมิอากาศ

นอกจากนี้ ความสูญเปล่าที่เกิดขึ้นในกระบวนการยังเป็นอีกสิ่งหนึ่งที่ทำให้กระบวนการขนส่งสินค้าไม่มีประสิทธิภาพ ตัวอย่างเช่น รถขนส่งไปถึงลูกค้าก่อนเวลาที่ลูกค้าอนุญาตให้เข้าพื้นที่ทำให้

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

เสียเวลารอ การใช้เส้นทางการเดินรถที่อ้อมทำให้ใช้เวลาเดินทางนานกว่าที่ควรจะเป็น การขนส่งไม่เต็มความสามารถในการบรรจุของรถขนส่ง (Capacity) และการมีรถขนส่งมากเกินความจำเป็น การขจัดความสูญเปล่าเหล่านี้ย่อมส่งผลให้ค่าใช้จ่ายในการขนส่งลดลงได้เช่นกัน

รูปแบบของปัญหาที่ทำการปรับปรุงประสิทธิภาพในการขนส่ง โดยมุ่งเน้นไปที่การจัดกลุ่มลูกค้ากับสายรถที่ออกให้บริการ และการออกแบบเส้นทางการเดินรถให้เหมาะสม โดยมีระยะทางการขนส่งรวมต่ำที่สุด เรียกว่า Vehicle Routing Problem (VRP) ซึ่งเรานิยมใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) และฮิวริสติกส์ (Heuristic) ในการแก้ปัญหาดังกล่าว โดยรูปแบบของปัญหาจะมีความแตกต่างกันไปตามลักษณะของธุรกิจของแต่ละบริษัท เช่น มีการส่งสินค้าอย่างเดียว มีการรับสินค้าอย่างเดียว มีทั้งการรับและส่งสินค้า (Mixed Pickup Delivery) ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งที่จำกัด (CVRP : Capacitated Vehicle Routing Problem) ช่วงเวลาที่สามารถเข้าพื้นที่ได้มีจำกัด (VRPTW : Vehicle Routing Problem with Time Window) และรถขนส่งมีหลายประเภท (Non-Homogeneous Fleet VRP) โดยงานวิจัยเล่มนี้นำเสนอกระบวนการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าสำหรับบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้เทคนิคตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) ในการแก้ปัญหา ซึ่งบริษัทมีข้อจำกัดในเรื่องน้ำหนักบรรทุกของรถขนส่งสินค้า ทั้งนี้ ปัญหาที่ทำการศึกษาจัดอยู่ในกลุ่ม “Capacitated Vehicle Routing Problem” ซึ่งต่อไปนี้จะเรียกว่า CVRP

1.2 ข้อมูลพื้นฐานบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทที่นำมาเป็นกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่จัดจำหน่ายผลิตภัณฑ์โลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสาน โดยมีสำนักงานใหญ่อยู่ที่ประเทศญี่ปุ่น สินค้าที่บริษัทจัดจำหน่ายมีโรงงานผลิตอยู่หลายแห่งขึ้นอยู่กับประเภทของผลิตภัณฑ์ ได้แก่ ญี่ปุ่น มาเลเซีย และเกาหลี โดยเมื่อสินค้าเดินทางมาถึงประเทศไทยแล้วจะถูกส่งไปเก็บที่คลังสินค้าของบริษัท โดยบริษัทมีสินค้าทั้งสิ้น 10 ประเภท มีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 1-2

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 1-2 ประเภทสินค้า และหน่วยการขายของสินค้าแต่ละประเภท

ลำดับ	ผลิตภัณฑ์	หน่วยการขาย	น้ำหนักต่อหน่วย (กิโลกรัม)
1	Solder Bar	กล่อง	20
2	Solder Wire	กล่อง	5
3	Solder Paste	กระปุก	0.5
4	Jumper Wire	ม้วน	4
5	Jumper Wire	ม้วน	20
6	Brazing	กล่อง	10
7	Soldering Flux	ถัง	16
8	Brazing Flux (น้ำ)	กล่อง(4 ถัง)	16
9	Brazing Flux (ครีม)	กระปุก	2
10	Brazing Flux (ครีม)	กระปุก	27

ปัจจุบันบริษัทกรณีศึกษามีรถที่ใช้สำหรับขนส่งสินค้าทั้งสิ้น 3 คัน แต่ละคันมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าน้ำหนักไม่เกิน 1,500 กิโลกรัม โดยไม่คำนึงถึงปริมาตร เนื่องจากสินค้ามีขนาดเล็กแต่มีน้ำหนักมาก และมีการกำหนดตารางการเดินรถโดยแบ่งกลุ่มตามพื้นที่ของลูกค้า โดยมีขั้นตอนการทำงานตั้งแต่บริษัทได้รับคำสั่งซื้อสินค้าจนถึงสินค้าถึงมือของลูกค้า ดังนี้

1. พนักงานฝ่ายโลจิสติกส์ได้รับคำสั่งซื้อจากลูกค้า
2. ก่อนถึงวันที่จะต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้า พนักงานฝ่ายโลจิสติกส์จะจัดทำใบคำสั่งซื้อและส่งอีเมลไปยังเจ้าหน้าที่คลังสินค้าเพื่อให้จัดเตรียมสินค้าไว้
3. ในวันที่ต้องไปส่งสินค้า พนักงานขนส่งจะได้รับใบคำสั่งส่งสินค้าจากฝ่ายโลจิสติกส์ว่าวันนี้จะต้องไปส่งสินค้าให้กับลูกค้ารายใดบ้าง
4. พนักงานขนส่งขับรถไปรับสินค้าที่คลังสินค้า
5. พนักงานขนส่งนำสินค้าไปส่งให้กับลูกค้าตามใบคำสั่งส่งสินค้า
6. พนักงานขนส่งนำรถกลับมาเก็บที่บริษัท

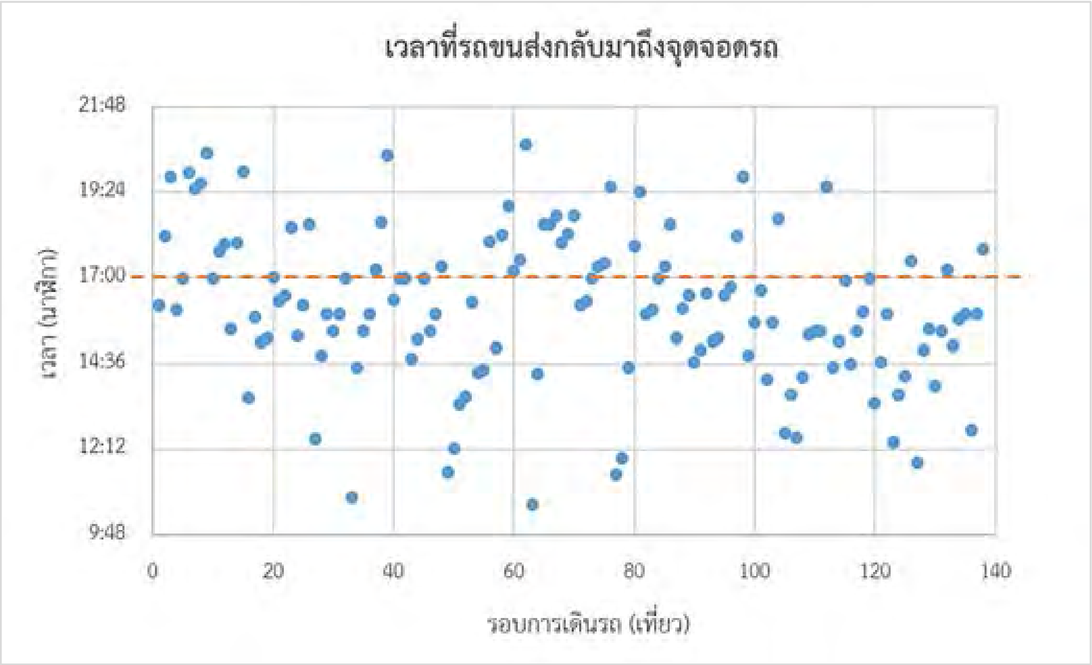
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

1.3 ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

จากการศึกษากระบวนการทำงานของฝ่ายงาน Purchasing & Logistics อย่างละเอียด ประกอบกับการศึกษาข้อมูลการขนส่งย้อนหลังในเดือน กรกฎาคม และ สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561 พบปัญหาที่น่าสนใจ 2 ประการ ดังนี้

1. พนักงานขนส่งทำงานล่วงเวลาสูง (Over Time) คิดเป็น 31% ของวันทำงานทั้งหมด

ข้อมูลเวลาสุดท้ายที่พนักงานขนส่งบันทึกลงในบันทึกการเดินทาง เป็นเวลาที่พนักงานขนส่งนำรถกลับมาเก็บที่บริษัทหลังจากที่ส่งสินค้าให้กับลูกค้าครบทุกรายแล้ว จากการเก็บข้อมูลพบว่า จากจำนวนการเดินรถทั้งหมด 138 เที่ยว มีการทำงานล่วงเวลามากถึง 43 เที่ยว (รูปที่ 1-5)



รูปที่ 1-5 ข้อมูลเวลาที่พนักงานขนส่งนำรถกลับมาเก็บที่บริษัท ในเดือนกรกฎาคม และ สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

2. บริษัทจ้างรถ Outsource ในขณะที่รถขนส่งของบริษัทยังมีขนาดบรรทุกสินค้าเหลือ

ในช่วงสิ้นเดือนหรือต้นเดือนจะมียอดการสั่งสินค้าเพิ่มมากกว่าปกติ ประกอบกับกระบวนการจัดสายรถที่อ้างอิงตามตารางการเดินรถที่ถูกกำหนดไว้ ทำให้บริษัทขาดความยืดหยุ่นในการจัดการ ส่งผลทำให้ต้องจ้างรถขนส่งภายนอก (Outsource) ซึ่งมีค่าใช้จ่ายสูงเข้ามาช่วยในการส่งสินค้า ในขณะที่รถขนส่งของบริษัทยังคงมีขนาดบรรทุกสินค้าเหลือ ยกตัวอย่างการส่งสินค้าวันที่ 1 มีการใช้รถขนส่งจำนวนทั้งสิ้น 5 คัน โดยแต่ละคันมีขนาดบรรทุกสินค้า ดังนี้

ตารางที่ 1-3 ขนาดบรรทุกสินค้าของรถขนส่งแต่ละคันในวันที่ 1

รถคันที่	เขตพื้นที่	ปริมาณสินค้าที่บรรทุก (กิโลกรัม)	ปริมาณขนาดบรรทุกที่เหลือ (กิโลกรัม)
1	อมตะนคร	394	1,106
2	บ้านบึง, ระยอง	1,251	249
3	นวนคร, รังสิต	486	1,014
4 (Outsource)	ลาดกระบัง	1,450	50
5 (Outsource)	บางปู	1,300	200

เนื่องจากพนักงานโลจิสติกส์ทำการจัดสายรถโดยอ้างอิงตามตารางการเดินรถของบริษัท ส่งผลทำให้รถทุกคันมีขนาดบรรทุกสินค้าเหลือ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง รถคันที่ 1 และ 3 ซึ่งมีขนาดบรรทุกเหลือมากกว่า 1,000 กิโลกรัม (ตารางที่ 1-3) เหตุที่พนักงานโลจิสติกส์ไม่สามารถรวมคำสั่งซื้อของลูกค้าในรถคันที่ 1 และ 3 ให้ไปด้วยกันได้ เนื่องจากสถานที่ตั้งของลูกค้าอยู่ต่างเขตพื้นที่กัน ด้วยสาเหตุเหล่านี้ จึงส่งผลทำให้บริษัทจ้างรถ Outsource ถึง 8 คัน ภายในระยะเวลา 2 เดือน (ตารางที่ 1-4)

ตารางที่ 1-4 ประวัติการจ้างรถ Outsource เพื่อส่งสินค้า

วันที่	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	จำนวนการจ้าง Outsource (ครั้ง)
2/7/2018	800	1
3/7/2018	400	1
4/7/2018	1,200	1
5/7/2018	1,450	1
26/7/2018	3,000	2
3/8/2018	1,160	1
15/8/2018	1,400	1

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

จากปัญหาของบริษัทที่น่าสนใจทั้ง 2 ประการ ได้แก่ พนักงานขนส่งมีการทำงานล่วงเวลาสูง (Over Time) และบริษัทต้องจ้างรถ Outsource ถึง 8 คัน ภายในระยะเวลา 2 เดือน ล้วนแล้วแต่เป็นสาเหตุที่ทำให้บริษัทมีต้นทุนค่าขนส่งที่สูง ดังนั้นหากบริษัทมีการจัดการแผนการเดินรถที่ดีและมีประสิทธิภาพ จะส่งผลทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงได้

1.4 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

ปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการขนส่งสินค้าจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา โดยทำการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อให้บริษัทมีต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งประกอบไปด้วย ค่าน้ำมันรถ (Fuel Cost) ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานขับรถ (Overtime Cost) และค่าจ้างรถขนส่งจากบริษัทภายนอก (Outsourcing Cost)

1.5 ขอบเขตของงานวิจัย

1. ออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่มีความต้องการสินค้า
2. ศึกษาข้อมูลประวัติการเดินรถขนส่งสินค้าให้กับลูกค้าจำนวนทั้งสิ้น 155 ราย ในช่วงเดือนกรกฎาคม ถึง สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561
3. บริษัทมีรถขนส่งทั้งหมด 3 คัน และแต่ละคันจะต้องบรรทุกสินค้าที่มีน้ำหนักรวมไม่เกิน 1,500 กิโลกรัม โดยไม่คำนึงถึงปริมาตรของสินค้าและวิธีการจัดเรียง
4. ศึกษาเฉพาะกรณีการสั่งซื้อสินค้าตามกระบวนการปกติเท่านั้น ไม่รวมการสั่งซื้อสินค้ากรณีเร่งด่วน
5. ระยะเวลาที่ใช้ในการออกแบบและตัดสินใจเส้นทางการเดินรถขนส่งต้องไม่เกิน 3 ชั่วโมง
6. ตัวชี้วัดความสำเร็จคือ ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง

1.6 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

1. ศึกษากระบวนการทำงานปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา
2. ศึกษาทฤษฎีต่างๆ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง
3. เก็บข้อมูลประวัติการขนส่งสินค้าย้อนหลัง 2 เดือน
4. ออกแบบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
5. ทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลชุดทดสอบ
6. วิเคราะห์ผลการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และปรับปรุงให้เหมาะสม

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

7. ทดสอบตัวแบบทางคณิตศาสตร์กับข้อมูลทั้งหมด
8. วิเคราะห์ และอภิปรายผลการทดสอบ
9. สรุปผลการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
10. จัดทำรูปเล่มวิทยานิพนธ์

1.7 ผลที่ได้รับ

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ช่วยในการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ที่ส่งผลให้ต้นทุนค่าขนส่งมีค่าต่ำที่สุด

1.8 ประโยชน์ที่ได้รับ

1. ลดต้นทุนค่าขนส่งของบริษัท
2. ลดเวลาที่พนักงานฝ่ายจัดซื้อและโลจิสติกส์ใช้ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาด้านการออกแบบและวางแผนกระบวนการขนส่งมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย โดยปัญหาพื้นฐานมักเกี่ยวข้องกับการกำหนดเส้นทางสำหรับรถขนส่งเพื่อให้บริการลูกค้า ณ สถานที่ที่กำหนด โดยใช้ต้นทุนในกระบวนการต่ำที่สุด ซึ่งเป็นไปเพื่อการปรับปรุงความสามารถในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า ส่งผลทำให้ความพึงพอใจของลูกค้าเพิ่มสูงขึ้น อย่างไรก็ตามปัญหาที่เกี่ยวเนื่องกับการจัดการกระบวนการขนส่งมีรูปแบบที่หลากหลาย เช่น จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของรถขนส่งมีเพียงจุดเดียว (Single Depot) หรือมีมากกว่า 1 จุด (Multiple Depot) ตลอดจนรถขนส่งมีหลายแบบและมีความสามารถในการขนส่งที่ไม่เท่ากัน ทั้งนี้ตารางที่ 2-1 สรุปลักษณะของปัญหาการจัดการกระบวนการขนส่งในรูปแบบต่างๆ ในวรรณกรรม

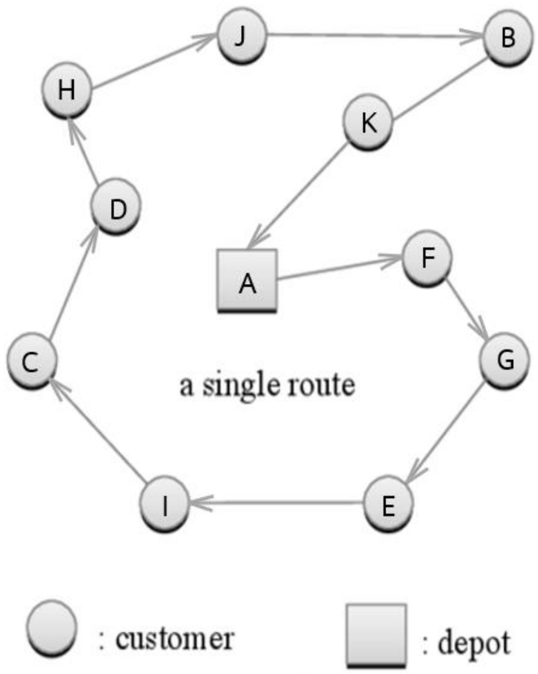
ตารางที่ 2-1 ลักษณะของปัญหาการจัดการกระบวนการขนส่ง

ลักษณะของปัญหา	รูปแบบ
1. จำนวนของยานพาหนะ (Fleet)	จำนวน 1 คัน
	จำนวนมากกว่า 1 คัน
2. ประเภทของยานพาหนะ (Vehicle type)	มี 1 ประเภท
	มีมากกว่า 1 ประเภท
3. โรงจอดรถ (Depot) หรือคลังสินค้า (Warehouse)	จำนวน 1 จุด (Single Depot)
	จำนวนมากกว่า 1 จุด (Multiple Depot)
4. ความต้องการในการขนส่ง (Transport demand)	มีความต้องการแน่นอน (Deterministic)
	มีความต้องการไม่แน่นอน (Stochastic)
5. จุดกำเนิดความต้องการ (Demand location)	เกิดที่ตำแหน่ง (Node หรือ Point)
	เกิดที่เส้นทาง (Arc หรือ Route)
	เกิดที่ตำแหน่งและเส้นทาง
6. ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะ (Vehicle capacity)	มีความสามารถเท่ากันทุกคัน
	มีความสามารถไม่เท่ากัน
7. เวลาขนส่งที่ยอมให้มากที่สุด (Maximum route time)	เท่ากันทุกคัน
	ไม่เท่ากัน
8. ข้อจำกัดทางด้านเวลาในการขนส่ง (Time windows)	แบบด้านเดียว (Single-sided)
	แบบสองด้าน (Double sided)

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

2.1 Travelling Salesman Problem : TSP

ปัญหา TSP เป็นปัญหาพื้นฐานของปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการกำหนดเส้นทางในการขนส่งสินค้า ซึ่งตัวปัญหาเปรียบได้กับการเดินทางของพนักงานขาย ที่ต้องเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นเพื่อไปส่งสินค้ายังบริษัทของลูกค้าทุกราย และวนกลับมายังจุดเริ่มต้นเมื่อเสร็จสิ้นกระบวนการขนส่งสินค้าแล้ว ตัวอย่างเช่น ในรูปที่ 2-1 ซึ่งแสดงการเดินทางของพนักงานขาย โดยพนักงานงายจะต้องเดินทางไปขายสินค้าให้กับลูกค้าจำนวน 10 ราย ในเมือง B, C, D, E, F, G, H, I, J, K โดยกำหนดให้เมือง A เป็นที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้า เมื่อพนักงานขายเริ่มเดินทางจะออกจากเมือง A และเดินทางไปตามเส้นทาง A-F-G-E-I-C-D-H-J-B-K-A เมื่อพนักงานขายเดินทางครบทั้ง 10 เมืองแล้ว พนักงานขายจะต้องวนกลับมาที่ศูนย์กระจายสินค้า A ที่เป็นจุดเริ่มต้นอีกครั้ง ปัญหานี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า และลำดับของลูกค้าที่ไปส่ง ที่ทำให้ค่าใช้จ่ายในกระบวนการขนส่งมีค่าต่ำที่สุด หรือมีระยะทางรวมของการเดินรถสั้นที่สุด (Ouaarab, Ahiod, & Yang, 2013)



รูปที่ 2-1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบ Travelling Salesman Problem

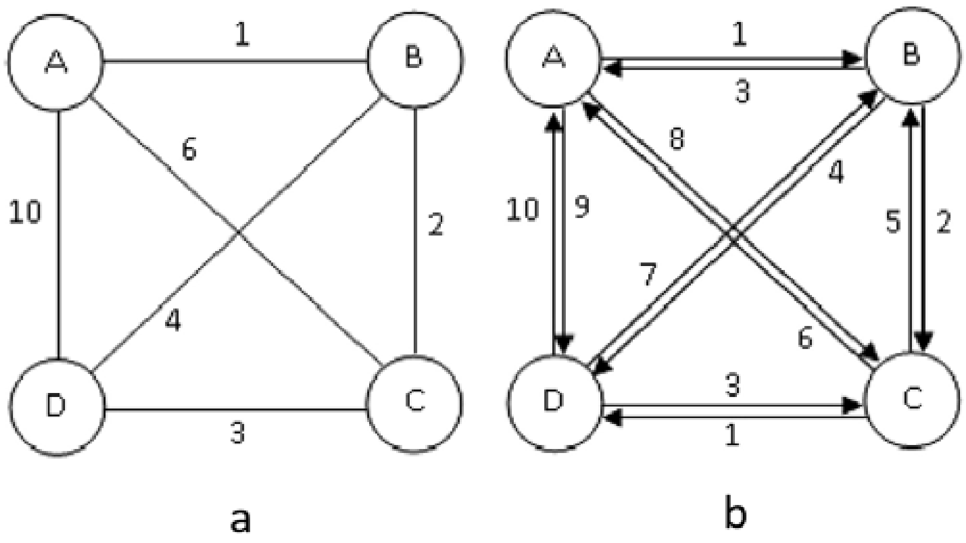
ปัญหา TSP เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจจากนักวิจัยมาอย่างช้านาน และจัดเป็นเป็นปัญหาที่อยู่ในกลุ่ม NP-hard อีกด้วย

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ในทฤษฎีเครือข่าย แต่ละสถานที่ที่พนักงานขายไปส่งสินค้า รวมทั้งจุดเริ่มต้นและสิ้นสุด มักถูกเรียกว่า “Node” และเส้นทางการเดินรถของพนักงานขาย ระหว่างสถานที่คู่ใดๆ จะถูกเรียกว่า “Edge” โดยทั่วไปในปัญหา TSP เรามักกำหนดให้เครือข่าย G = (N,E) โดยที่ N คือ เซตของสถานที่ที่พนักงานขายจะต้องเดินทางไปส่งสินค้ารวมถึงจุดจอดรถขนส่ง (Depot) และ E คือ เส้นทางเชื่อมระหว่าง 2 สถานที่ใดๆ ที่พนักงานขายใช้ในการเดินทาง โดย $E = \{ (i,j) \text{ เมื่อ } i,j \in N \}$ และการเดินทางจากสถานที่ i ไปยังสถานที่ j จะมีค่าใช้จ่ายในการเดินทางเท่ากับ c_{ij}

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ปัญหา TSP นี้แบ่งได้เป็น 2 ประเภท คือ Symmetric TSP ในกรณีที่ระยะทางระหว่าง Node คู่ใดๆ มีค่าเท่ากันโดยไม่ขึ้นกับทิศทาง และ Asymmetric TSP ในกรณีที่ระยะทางระหว่าง Node คู่ใดๆ เปลี่ยนไปเมื่อเปลี่ยนทิศทาง (Pontrakul & Jarumaneeroj, 2018).

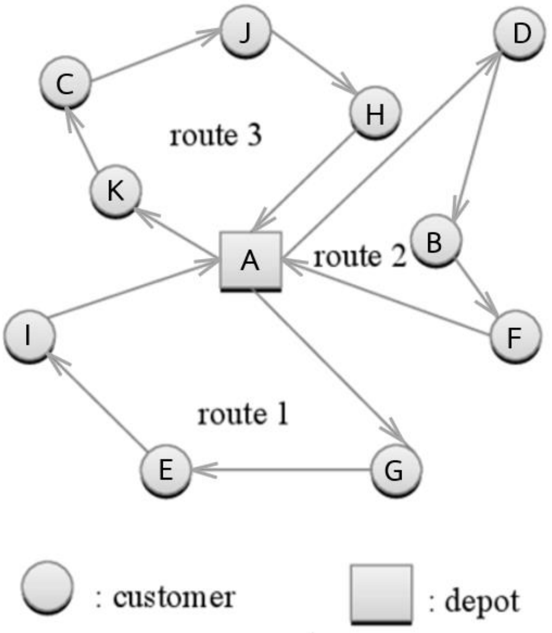


รูปที่ 2-2 ประเภทของปัญหา TSP
a) Symmetric TSP b) Asymmetric TSP

จากรูปที่ 2-2 แสดงให้เห็นความแตกต่างระหว่างปัญหาของ TSP ซึ่งทั้ง 2 แบบ ที่มีจำนวน Node เท่ากัน แต่กลับมี Edge ที่แตกต่างกัน กล่าวคือ Symmetric TSP เส้น Edge จะไม่มีหัวลูกศรบอกทิศทางและมีค่าน้ำหนักเพียงค่าเดียว ในขณะที่ Asymmetric TSP เส้น Edge จะมีหัวลูกศรกำหนดทิศทางโดยทิศทางที่ต่างกันจะมีค่าน้ำหนักที่แตกต่างกันแม้ว่าจะเป็นการเดินทางระหว่าง Node คู่เดียวกันก็ตาม (Bangxang & Jarumaneeroj, 2018)

2.2 Vehicle Routing Problem : VRP

ปัญหา VRP เป็นปัญหาที่มีแนวคิดขยายออกมาจากปัญหา TSP โดยมีข้อแตกต่างสำคัญคือ คำตอบของปัญหา TSP จะประกอบไปด้วยเส้นทางการขนส่งเพียง 1 เส้นทางเท่านั้น ในขณะที่คำตอบของปัญหา VRP กลับมีจำนวนเส้นทางมากกว่า 1 เส้นทาง ส่งผลทำให้ต้องพิจารณารายละเอียดของรถขนส่งแต่ละคันว่าจะต้องให้บริการกับลูกค้ารายใดบ้าง ก่อนที่จะทำการออกแบบเส้นทางและลำดับที่ใช้ในการขนส่งให้กับรถคันนั้น โดย VRP ก็มีการศึกษากันมาอย่างยาวนานกว่า 40 ปี เช่นเดียวกับปัญหา TSP โดยเริ่มจาก Dantzig and Ramser (1959) ที่สร้างตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อออกแบบการจัดการขนส่งน้ำมันไปยังสถานีบริการ นับแต่นั้นเป็นต้นมา VRP ก็เป็นที่สนใจของนักวิจัยมากขึ้น และมีการศึกษากันอย่างแพร่หลาย (Caric & Gold, 2008)



รูปที่ 2-3 ลักษณะปัญหาแบบ VRP

การศึกษาปัญหา VRP โดยทั่วไปมีสมมติฐาน ดังต่อไปนี้

1. ทราบตำแหน่งที่ตั้งของลูกค้าแน่นอน
2. ทราบระยะทางระหว่างจุดกระจายสินค้าและที่ตั้งของลูกค้า
3. ศูนย์กระจายสินค้ามีสินค้าเพียงพอต่อความต้องการ

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4. รถขนส่งมีความสามารถในการขนส่งที่เพียงพอ

สำหรับการประยุกต์ใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา VRP นั้นจะมีความแตกต่างกันออกไป ขึ้นอยู่กับเงื่อนไข และข้อจำกัดต่างๆ ที่ต้องพิจารณา เช่น จำนวนรถขนส่ง ปริมาณความจุที่รถขนส่งสามารถบรรทุกได้ จำนวนลูกค้า ปริมาณความต้องการของลูกค้า ลักษณะที่ตั้งและการกระจายตัวของลูกค้า ส่งผลทำให้มีผู้ที่ศึกษาปัญหา VRP กันอย่างแพร่หลาย โดยมีวัตถุประสงค์ต่างๆ ดังนี้

1. เพื่อลดระยะทางรวมในการเดินรถ โดยออกแบบเส้นทางการเดินรถ และลำดับของลูกค้าให้เหมาะสม ทำให้ประหยัดน้ำมัน
2. เพื่อลดจำนวนรถขนส่งที่ต้องใช้
3. เพื่อลดจำนวนรอบในการเดินรถขนส่ง จากเดิมที่เดินรถมากเกินความจำเป็นเนื่องจากการวางแผนที่ไม่มีประสิทธิภาพ
4. เพื่อให้บริษัทสามารถตอบสนองต่อความต้องการและเงื่อนไขการรับสินค้าของลูกค้าที่มีลักษณะเฉพาะได้

สังเกตว่าจากวัตถุประสงค์ของการศึกษาปัญหา VRP ที่กล่าวมาข้างต้นนั้น หากไม่สามารถบรรลุวัตถุประสงค์ข้อที่ 4 ได้ นั่นหมายความว่าวัตถุประสงค์ข้อที่ 1, 2 และ 3 ก็ไม่สำเร็จเช่นกัน

นอกเหนือจากการใช้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหา VRP โดยการจัดกลุ่มและออกแบบเส้นทางในการเดินรถแล้ว ยังมีหลายงานวิจัยที่นำเอารูปแบบของการแก้ปัญหา VRP มาประยุกต์ในงานวางแผนอื่นๆ เช่น การวางแผนขั้นตอนการเคลือบฟิล์มที่ผิวของยาของ Pontrakul and Jarumaneeroj (2018) การวางแผนการผลิตแผ่นกระจกของ Kitisook and Jarumaneeroj (2017) และการวางแผนการตั้งค่าเครื่อง CNC Milling ของ Mehta and Raut (2016)

กระบวนการขนส่งสินค้าของแต่ละบริษัทล้วนแล้วแต่มีลักษณะเฉพาะและเงื่อนไขที่แตกต่างกันไป เช่น มีการส่งสินค้าอย่างเดียว มีการรับสินค้าอย่างเดียว มีทั้งการรับและส่งสินค้า (Mixed Pickup Delivery) ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งที่จำกัด (CVRP : Capacitated Vehicle Routing Problem) ช่วงเวลาที่สามารถเข้าพื้นที่ได้มีจำกัด (VRPTW : Vehicle Routing Problem with Time Window) และรถขนส่งมีหลายประเภท (Non-Homogeneous Fleet VRP)

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ด้วยเงื่อนไขและลักษณะที่แตกต่างกัน ทำให้การออกแบบตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาด้านการขนส่งสินค้า มีความพิเศษที่แตกต่างกันออกไปด้วย

2.3 Capacitated Vehicle Routing Problem : CVRP

ปัญหา CVRP เป็นส่วนขยายมาจากปัญหา VRP โดยมีการเพิ่มเงื่อนไขที่ทำให้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้มีความซับซ้อนเพิ่มขึ้น นั่นคือ ความสามารถในการบรรจุของรถขนส่งสินค้าที่มีอยู่อย่างจำกัด (Akhtar, Hannan, Begum, Basri, & Scavino, 2017)

ความสามารถในการบรรจุของรถขนส่งสินค้านั้น มักถูกแบ่งออกเป็น 2 มุมมอง คือ ปริมาตร และ น้ำหนัก ซึ่งจะมีค่าแตกต่างกันไปตามประเภทของรถขนส่ง ข้อกฎหมายที่กำหนด และความปลอดภัยในการขับขี่ยานพาหนะ หากเป็นการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักเบาจะต้องคำนึงถึงวิธีการในการจัดวางสินค้าที่ทำให้ให้วางสินค้าได้มากที่สุด แต่หากเป็นการขนส่งสินค้าที่มีน้ำหนักมากก็ไม่จำเป็นต้องคำนึงเรื่องการจัดวางมากนัก แต่ต้องระวังไม่ให้น้ำหนักรวมของรถขนส่งเกินกว่าที่กฎหมายกำหนด (Pollaris, Braekers, Caris, Janssens, & Limbourg, 2017)

นอกจากปัญหา CVRP แล้ว ยังมีปัญหารูปแบบอื่นๆ อีก เช่น ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบมีเงื่อนไขช่วงเวลาที่สามารถเข้าสถานที่ได้ (Vehicle Routing Problem with Time Window : VRPTW) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งกรณีที่มีทั้งการรับและการส่งในรอบเดียวกัน (Vehicle routing problem with pick-up and delivery : VRPDP) ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับพาหนะที่มีคลังสินค้าหลายจุด (Multi depot vehicle routing problem : MDVRP) ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งกรณีมีรถขนส่งหลายประเภท (Heterogeneous fleet vehicle routing problem : HFVRP) โดยในหนึ่งปัญหาอาจมีเงื่อนไขได้หลายประเภท ซึ่งปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งของบริษัทกรณีศึกษาเป็นปัญหารูปแบบ CVRP กล่าวคือ รถขนส่งมีเงื่อนไขในการบรรทุกสินค้าน้ำหนักไม่เกิน 1,500 กิโลกรัม ส่วนเงื่อนไขทางด้านปริมาตรของสินค้าจะไม่ถูกนำมาคำนวณเนื่องจากลักษณะของสินค้ามีขนาดเล็กและน้ำหนักมาก

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง และนำมาใช้เป็นแนวทางในการแก้ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา ดังนี้

1. การจัดตารางการทำงานสำหรับกระบวนการเคลือบพื้นผิวยาเม็ดของ Pontrakul and Jarumaneeroj (2018)

410041087 9
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

งานวิจัยเรื่องนี้เป็นการประยุกต์ใช้ทฤษฎี Vehicle Routing Problem มาช่วยในการวางแผนกระบวนการเคลือบพื้นผิวยาของโรงงานผลิตยาแห่งหนึ่ง จากการศึกษาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่างานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อกำหนดว่าเครื่องจักรแต่ละเครื่องจะต้องผลิตงานใด และมีลำดับที่ในการผลิตอย่างไร ที่ทำให้ใช้เวลาในกระบวนการผลิตน้อยที่สุด ซึ่งเปรียบได้กับการกำหนดว่ารถขนส่งแต่ละคัน จะต้องให้บริการลูกค้ารายใด และมีลำดับในการให้บริการอย่างไร ซึ่งมีเงื่อนไขอยู่ 3 กลุ่ม ได้แก่ เงื่อนไขที่กำหนดลักษณะการใช้รถขนส่ง (Demand Constraints) เงื่อนไขที่ป้องกันการเกิดเส้นทางย่อย (Subtour Elimination Constraints) และเงื่อนไขที่กำหนดขอบเขตของแต่ละตัวแปร (Boundary Constraints)

งานวิจัยเรื่องการจัดตารางการทำงานสำหรับกระบวนการเคลือบพื้นผิวยาเม็ด ได้ถูกนำมาเป็นต้นแบบเพื่อใช้ในการออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา แต่มีข้อแตกต่างอยู่ 2 ประการ คือ

1. รูปแบบปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาจะไม่บังคับให้ใช้รถทุกคัน แต่จะปรับให้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถคำนวณความเหมาะสมของปริมาณรถที่ต้องใช้ด้วย
2. งานวิจัยข้างต้นไม่มีเงื่อนไขที่เกี่ยวข้องกับข้อจำกัดของความสามารถในการบรรทุกสินค้า

2. ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก Sanz and Gómez (2013)

งานวิจัยนี้เป็นปัญหา VRP รูปแบบหนึ่ง โดยมีข้อแตกต่างจากงานวิจัยเรื่อการจัดตารางการทำงานสำหรับกระบวนการเคลือบพื้นผิวยาเม็ด คือ ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งถูกนำมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ ทั้งน้ำหนักที่สามารถบรรทุกได้ รวมถึงปริมาตรของสินค้าที่บรรจุได้

เนื่องจากรูปแบบปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาจะคำนึงถึงน้ำหนักของสินค้าที่บรรทุกเท่านั้น โดยไม่สนใจปริมาตรของสินค้าที่บรรทุก ดังนั้นจึงได้นำเฉพาะเงื่อนไขด้านน้ำหนักมาใช้ในการออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของบริษัทกรณีศึกษา

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 3
วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยเล่มนี้ประกอบด้วยการดำเนินงาน 2 ส่วนหลักๆ ได้แก่

1. การศึกษากระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

การศึกษากระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษาจะเริ่มโดยการสัมภาษณ์พนักงานที่ทำงานที่เกี่ยวข้องในกระบวนการตั้งแต่ลูกค้าสั่งซื้อสินค้า จนถึงลูกค้าได้รับสินค้า และการเก็บข้อมูลเพื่อวิเคราะห์สถานการณ์ปัจจุบันของบริษัท โดยใช้ข้อมูลประวัติการขนส่งสินค้าย้อนหลัง 2 เดือน ได้แก่ กรกฎาคม และ สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561

2. การสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยเลือกวิธีการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อเข้ามาช่วยในการออกแบบเส้นทางและลำดับที่ในการเดินรถสำหรับปัญหานี้ เนื่องจากสามารถการันตีได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอ ประกอบกับจำนวนลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าในแต่ละวันไม่มากนัก โดยการพัฒนาตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

2.1 การทดสอบโดยใช้ TSP Model

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้มีการกำหนดตารางการเดินรถของรถขนส่งแต่ละคัน เพื่อให้พนักงานฝ่าย Purchasing & Logistics ใช้เป็นหลักในการจัดสายรถ ดังนั้นการใช้ TSP Model จะไม่กระทบกระบวนการทำงานของบริษัท

2.2 การทดลองโดยใช้ VRP Model

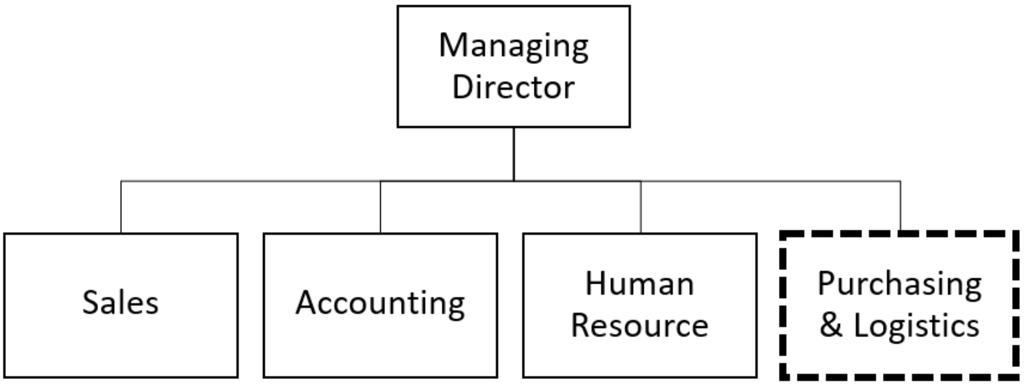
ผู้วิจัยเชื่อว่าหากทำลายข้อจำกัดด้านการกำหนดตารางการเดินรถขนส่งออกไป จะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้มีต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำลง จึงวางแผนการทดสอบโดยการใช้ VRP Model เป็นลำดับถัดไป

3.1 ศึกษากระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา

บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสาน ให้กับโรงงานต่างๆ ทั้งที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตสินค้า หรือใช้เพื่อการซ่อมบำรุงเครื่องจักรภายในโรงงานเอง ซึ่งลูกค้าส่วนใหญ่จะอยู่ในอุตสาหกรรมผลิตเครื่องปรับอากาศ บริษัทกรณีศึกษาเปิดทำการตั้งแต่วัน

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

จันทร์ถึงวันศุกร์ ตั้งแต่เวลา 8:00 น. ถึง 17:00 น. โดยมีโครงสร้างการบริหารแบ่งตามฝ่ายงาน 4 ฝ่าย ดังรูปที่ 3-1



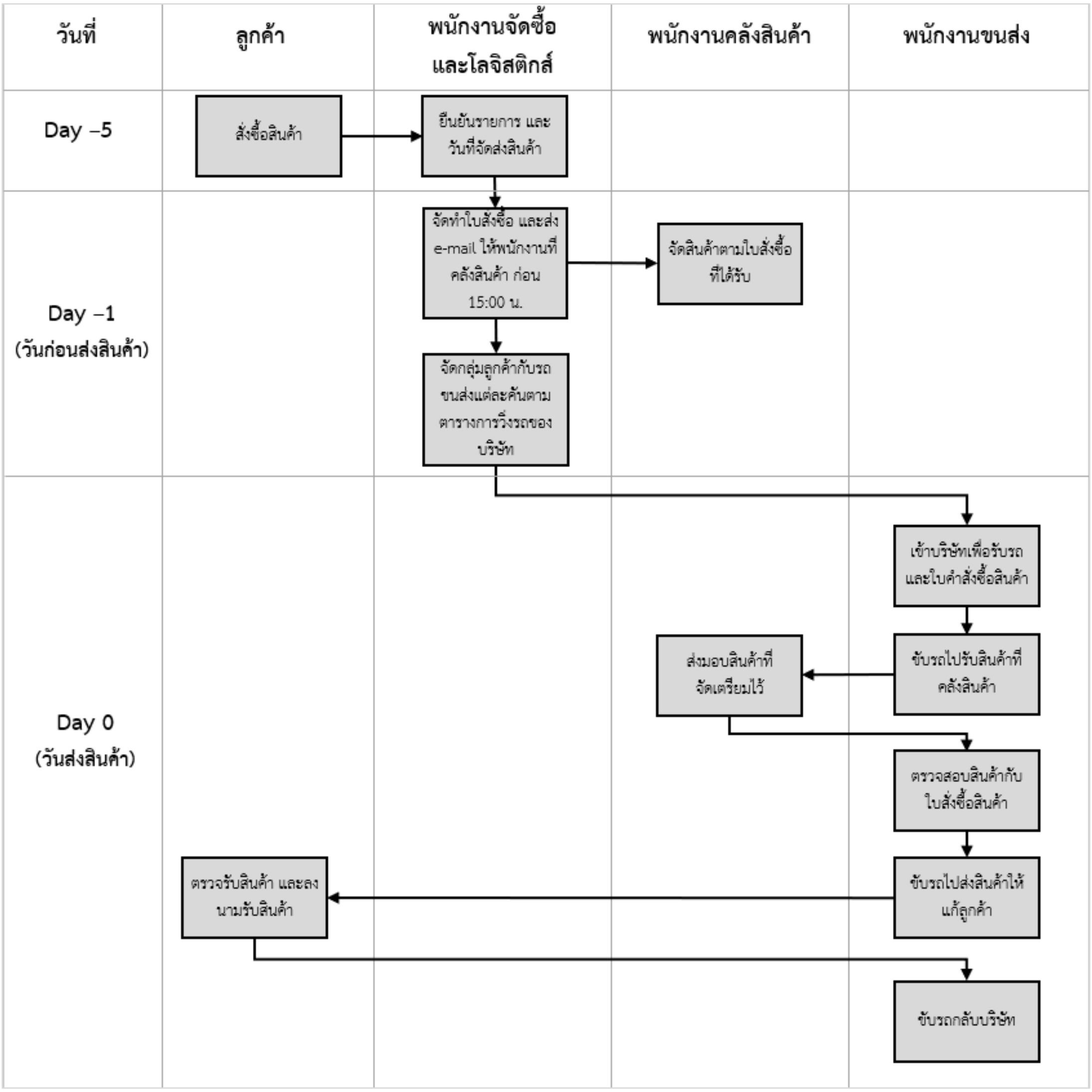
รูปที่ 3-1 แผนผังโครงสร้างองค์กร

บริษัทกรณีศึกษามีโครงสร้างองค์กรโดยแบ่งออกเป็น 4 ฝ่ายงานหลัก ได้แก่

1. ฝ่ายขาย (Sales) มีหน้าที่ในการสร้างและรักษาความสัมพันธ์อันดีกับลูกค้า คอยให้คำปรึกษาแนะนำผลิตภัณฑ์ รวมถึงทำยอดขายให้ได้ตามเป้าหมายของบริษัท
2. ฝ่ายบัญชี (Accounting) ดูแลภาพรวมสถานภาพทางการเงินของบริษัท
3. ฝ่ายพนักงานสัมพันธ์ (Human Resource) ดูแลเรื่องสวัสดิการ ตำแหน่งงาน โครงสร้างองค์กรของบริษัท
4. ฝ่ายจัดซื้อและขนส่ง (Purchasing & Logistics) ทำหน้าที่ในการรับคำสั่งซื้อจากลูกค้าหรือจากทีมขาย และจัดการกระบวนการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้า

เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้มุ่งเน้นไปที่การปรับปรุงการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่ง ดังนั้น ฝ่ายงานหลักที่เกี่ยวข้อง คือ ฝ่าย Purchasing & Logistics ทางผู้วิจัยจึงทำการศึกษากระบวนการทำงานของฝ่ายดังกล่าวอย่างละเอียด และได้เขียนขั้นตอนการทำงานออกมาในรูปแบบ Swimlane Diagram ดังรูปที่ 3-2

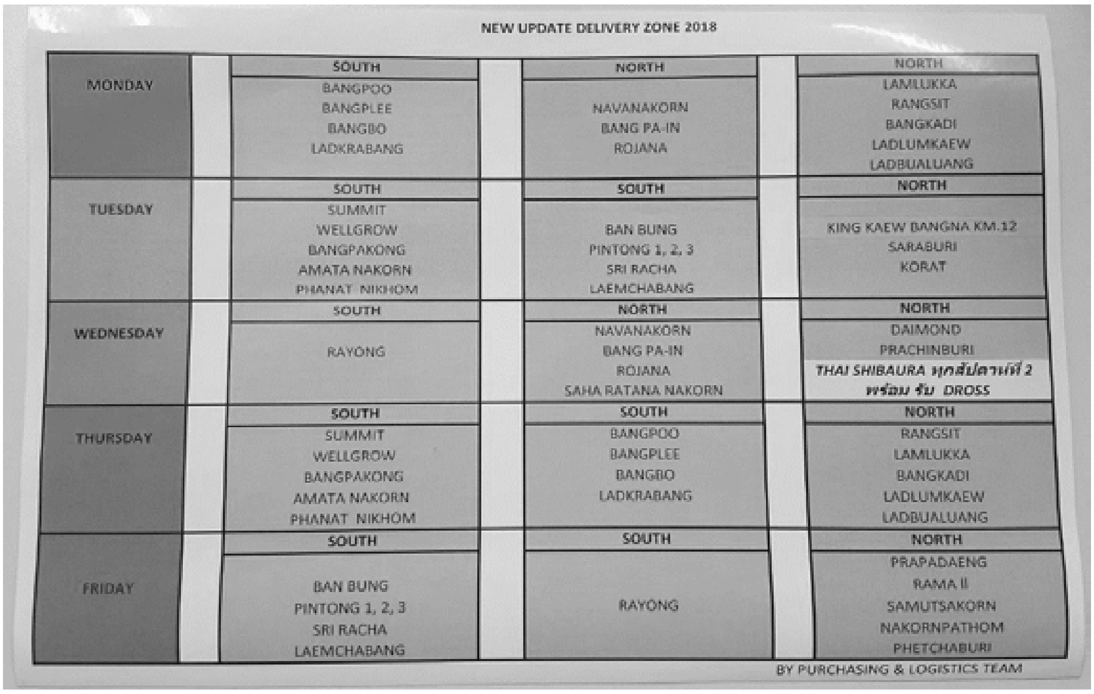
4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 3-2 ขั้นตอนการทำงานของฝ่าย Purchasing & Logistics ตั้งแต่ลูกค้าสั่งสินค้าจนถึงได้รับสินค้า

รูปที่ 3-2 แสดงขั้นตอนการทำงานของพนักงานจัดซื้อ ฝ่าย Purchasing & Logistics โดยกระบวนการเริ่มต้นจากลูกค้าสั่งสินค้าผ่านพนักงานจัดซื้อโดยตรงหรือสั่งซื้อผ่านพนักงานขาย โดยต้องสั่งล่วงหน้าอย่างน้อย 5 วันทำการก่อนถึงวันส่งสินค้า จากนั้นพนักงานจัดซื้อจะสรุปคำสั่งซื้อสินค้าและวันที่ใช้ในการจัดส่งสินค้ากับลูกค้า ตลอดจนการออกใบคำสั่งซื้อ ก่อนถึงวันที่ต้องไปส่งสินค้า 1 วัน เวลาประมาณ 11:00 น. พนักงานจัดซื้อจะต้องทำการจัดสายรถของรถขนส่งแต่ละคันเพื่อกำหนดว่าสินค้าของลูกค้าแต่ละรายจะถูกนำไปส่งโดยรถขนส่งคันใด ทั้งนี้บริษัทนี้มีรถขนส่งทั้งสิ้น 3 คัน และการจัดสายรถนั้นจะอ้างอิงตามตารางการวิ่งรถของบริษัท โดยกำหนดเป็นเขตพื้นที่ของลูกค้า ดังแสดงในรูปที่ 3-3

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



NEW UPDATE DELIVERY ZONE 2018

MONDAY	SOUTH BANGPOO BANGPLEE BANGBO LADKRABANG	NORTH NAVANAKORN BANG PA-IN ROJANA	NORTH LAMLUKKA RANGSIT BANGKADI LADLUMKAEW LADBUALUANG
TUESDAY	SOUTH SUMMIT WELLGROW BANGPAKONG AMATA NAKORN PHANAT NIKHOM	SOUTH BAN BUNG PINTONG 1, 2, 3 SRI RACHA LAEMCHABANG	NORTH KING KAEW BANGNA KM.12 SARABURI KORAT
WEDNESDAY	SOUTH RAYONG	NORTH NAVANAKORN BANG PA-IN ROJANA SAHA RATANA NAKORN	NORTH DAIMOND PRACHINBURI *THAI SHIBAURA ทุกสัปดาห์ที่ 2* *พร้อม รับ DROSS*
THURSDAY	SOUTH SUMMIT WELLGROW BANGPAKONG AMATA NAKORN PHANAT NIKHOM	SOUTH BANGPOO BANGPLEE BANGBO LADKRABANG	NORTH RANGSIT LAMLUKKA BANGKADI LADLUMKAEW LADBUALUANG
FRIDAY	SOUTH BAN BUNG PINTONG 1, 2, 3 SRI RACHA LAEMCHABANG	SOUTH RAYONG	NORTH PRAPADAENG RAMA II SAMUTSAKORN NAKORNPATHOM PHETCHABURI

BY PURCHASING & LOGISTICS TEAM

รูปที่ 3-3 แผนการวิ่งรถของบริษัท

จากรูปที่ 3-3 ซึ่งแสดงแผนการวิ่งรถของบริษัท จะเห็นได้ว่า บริษัทได้ทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าตามพื้นที่ และจำนวนลูกค้าที่มี โดยในแต่ละวันบริษัทจะทำการส่งสินค้าในเขตพื้นที่ที่แตกต่างกันไป และจะวิ่งซ้ำเขตเดิมทุกๆ สัปดาห์ แต่อาจมีการปรับเปลี่ยนแผนจากที่กำหนดไว้เล็กน้อยเพื่อความเหมาะสม ทั้งนี้หากวันใดที่พนักงานที่ทำหน้าที่ในการจัดสายรถประเมินว่ารถขนส่งไม่สามารถส่งสินค้าไปยังลูกค้าได้ครบถ้วน เช่น น้ำหนักขนส่งเกิน หรือไม่สามารถไปส่งได้ทันเวลา จะทำการจ้างบริษัท Outsource เพื่อไปส่งสินค้าแทน ทำให้เกิดเป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติมขึ้น

เมื่อพนักงานจัดซื้อจัดสายรถเรียบร้อยแล้ว จึงทำการสรุปและส่งใบคำสั่งซื้อสินค้าทั้งหมดที่ต้องส่งในวันรุ่งขึ้นให้กับพนักงานที่คลังสินค้าผ่าน Email โดยพนักงานจัดซื้อจะต้องส่งใบคำสั่งซื้อสินค้าให้พนักงานที่คลังสินค้าก่อนเวลา 15:00 น. ของวัน เพื่อให้พนักงานที่คลังสินค้าจัดเตรียมสินค้าโดยแยกเป็นสายรถไว้ ทำให้สะดวกในการขนสินค้าขึ้นรถได้อย่างรวดเร็ว

ในวันที่ต้องไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า พนักงานขนส่งจะเข้ามาที่บริษัทเพื่อรับใบคำสั่งซื้อสินค้า จากนั้นจึงนำรถขนส่งออก โดยสถานที่แรกที่ต้องไปคือ คลังสินค้า เพื่อรับสินค้าตามใบคำสั่งซื้อ และออกไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าตามจุดต่างๆ ซึ่งรายละเอียดในใบคำสั่งซื้อที่พนักงานจัดซื้อทำให้นั้นมีรายละเอียด คือ รายชื่อลูกค้าที่พนักงานต้องนำสินค้าไปส่ง ประเภทของสินค้า และปริมาณของสินค้า

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ที่ลูกค้าต้องการ สำหรับลำดับในการส่งสินค้า รวมถึงเส้นทางการเดินรถที่ใช้ ขึ้นอยู่กับการตัดสินใจของพนักงานขนส่งเอง

จากการสอบถามหลักการในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินรถ รวมถึงลำดับที่ของลูกค้าในการไปส่งสินค้าของพนักงานขนส่งพบว่า พนักงานขนส่งเลือกที่จะไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่อยู่ใกล้กับตำแหน่งที่อยู่ปัจจุบันมากที่สุดก่อนเสมอ โดยเส้นทางที่เลือกใช้จะเป็นเส้นทางสายหลักหรือทางหลวง และพนักงานขับรถจะใช้เส้นทางเดิมทุกครั้งที่ต้องส่งสินค้าให้กับลูกค้ากลุ่มนี้ เกิดเป็นความเคยชินในการใช้เส้นทาง โดยไม่มีการใช้อุปกรณ์หรือเครื่องมือที่ช่วยในการนำทางใดๆ และไม่ได้คำนึงถึงหรือติดตามว่ามีการตัดถนนสายใหม่ หรือมีเส้นทางลัดที่ทำให้ลดระยะทางในการส่งสินค้าลงได้หรือไม่

หลักการดังกล่าวที่พนักงานขนส่งใช้ในการตัดสินใจเลือกเส้นทางการเดินรถนั้น เป็นหลักการเดียวกับฮิวริสติกส์วิธีหนึ่งที่เรียกว่า Nearest Neighbor Algorithm (Jaruphat & Chaovalitwongse, 2013) ที่นิยมใช้ในการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem) โดยมีลำดับวิธีการคิด ดังนี้

1. กำหนดให้จุดเริ่มต้นของการเดินทาง คือ คลังสินค้า (N = 0)
2. เดินทางไปส่งสินค้ายังจุดถัดไปที่มีระยะห่างจากคลังสินค้าสั้นที่สุด
3. เมื่อส่งสินค้าสำเร็จ จะเดินทางไปส่งสินค้ายังจุดถัดไปที่มีระยะห่างจากจุดปัจจุบันสั้นที่สุด และเป็นจุดที่ยังไม่เคยไป
4. ปฏิบัติตามขั้นตอนที่ 3 ไปเรื่อยๆ จนส่งสินค้าครบทุกจุดจึงเดินทางกลับไปยังคลังสินค้า

วิธีการนี้สามารถหาคำตอบได้อย่างรวดเร็ว แต่อาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุดที่จะทำให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด (Arora, Agarwal, & Tanwar, 2016)

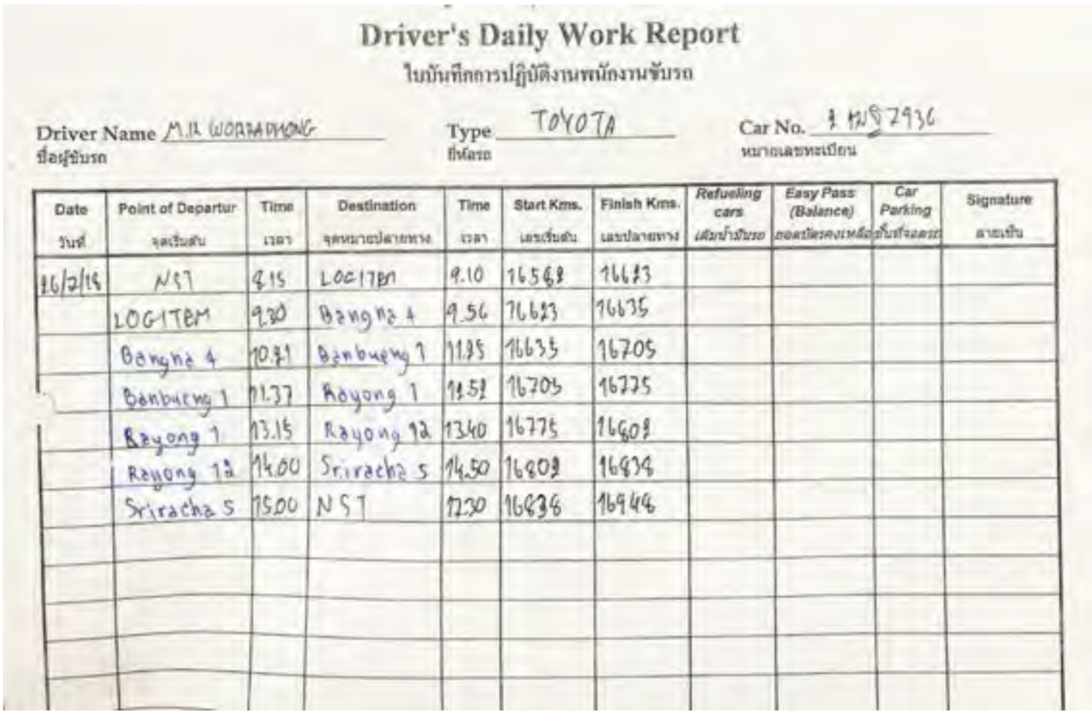
นอกจากนี้ในระหว่างการเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้ายังสถานที่ต่างๆ สิ่งหนึ่งที่พนักงานขนส่งต้องทำคือ การจดบันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานขับรถ (Driver’s Daily Work Report) โดยมีข้อมูลหลักที่ต้องบันทึก ได้แก่

1. จุดเริ่มต้น (Point of Departure) อาจเป็นคลังสินค้าหลังจากที่ไปรับสินค้าหรือชื่อลูกค้าหลังจากที่ทำการส่งสินค้าเรียบร้อยแล้ว
2. เวลาที่ออกจากจุดเริ่มต้นในข้อที่ 1

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

3. จุดหมายปลายทาง (Destination) อาจเป็นคลังสินค้าเพื่อนำรถขนส่งไปจอดและจบงานตอนสิ้นวัน หรือ ชื่อลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้า
4. เวลาที่ถึงจุดหมายปลายทางในข้อที่ 3
5. เลขระยะรถเริ่มต้น (Start Kms.) บันทึกในขณะที่กำลังจะออกจากจุดเริ่มต้น
6. เลขระยะรถเมื่อถึงจุดหมายปลายทาง (Finish Kms.) บันทึกเมื่อขับรถถึงจุดหมายปลายทาง

เพื่อเป็นการบันทึกว่าในวันนั้นได้เดินทางไปยังลูกค้ารายใดบ้าง ถึงที่หมายเวลากี่นาฬิกา และใช้ระยะเวลาในกระบวนการขนส่งสินค้านานเพียงไร ตลอดจนการบันทึกระยะทางในการวิ่งรถโดยการบันทึกเลขระยะทางของรถขณะที่กำลังออกเดินทาง และบันทึกอีกครั้งเมื่อถึงจุดหมาย เพื่อนำไปเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่ายของบริษัท ดังแสดงในรูปที่ 3-4


Driver's Daily Work Report

ใบบันทึกการปฏิบัติงานพนักงานขับรถ

Driver Name M.R. WORRAPHONG Type TOYOTA Car No. 1 ฒฐ 7936

Date	Point of Departur	Time	Destination	Time	Start Kms.	Finish Kms.	Refueling cars	Easy Pass (Balance)	Car Parking	Signature
16/2/19	NST	8.15	LOGITEM	9.10	16568	16623				
	LOGITEM	9.30	Bangna 4	9.56	16623	16635				
	Bangna 4	10.21	Banbueng 1	11.25	16635	16705				
	Banbueng 1	11.37	Rayong 1	12.52	16705	16775				
	Rayong 1	13.15	Rayong 12	13.40	16775	16809				
	Rayong 12	14.00	Sriracha 5	14.50	16809	16834				
	Sriracha 5	15.00	NST	17.30	16838	16944				

รูปที่ 3-4 บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานพนักงานขนส่ง

บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานพนักงานขนส่งจะนำไปใช้เพื่อเป็นข้อมูลประกอบในการคำนวณค่าใช้จ่ายในการขนส่ง ตรวจสอบประวัติการดำเนินงานของพนักงานขับรถ และใช้เป็นหลักฐานในกรณีที่มีข้อร้องเรียนต่างๆ

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

จากการศึกษากระบวนการทำงานของบริษัทกรณีศึกษา สามารถสรุปข้อจำกัดของการขนส่งได้ ดังนี้

1. ความต้องการของลูกค้าแต่ละรายไม่เท่ากัน
2. มีสถานที่จัดเก็บรถขนส่งเพียงจุดเดียวเท่านั้น (Single Depot)
3. มียานพาหนะทั้งหมด 3 คัน โดยเป็นประเภทเดียวกัน และมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าที่เท่ากัน คือ 1,500 กิโลกรัม โดยไม่สนปริมาตร เนื่องจากสินค้ามีขนาดเล็กแต่มีน้ำหนักมาก
4. พนักงานขนส่งมีเวลาทำงานที่จำกัด หากทำงานล่วงเวลาจะเกิดเป็นค่าใช้จ่ายเพิ่มเติม

นอกจากนี้จากการศึกษาข้อมูลการขนส่งย้อนหลัง ในเดือนกรกฎาคม และ สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561 พบว่าสาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสูงนั้น เกิดจากค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานขับรถ และค่าจ้างรถ Outsource ดังที่ได้กล่าวไปแล้วในหัวข้อ 1.3

จากปัญหาดังกล่าวทางผู้วิจัยจึงออกแบบการปรับปรุงออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

ระยะที่ 1 : ปรับปรุงโดยใช้ Travelling Salesman Problem Model (TSP Model)

เนื่องจากปัจจุบันทางบริษัทกรณีศึกษามีการออกแบบตารางการวิ่งรถโดยจัดเป็นกลุ่มลูกค้าอยู่แล้ว และได้มีการตกลงกับลูกค้าถึงวันและเวลาที่ไปส่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงจะออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาแบบ Travelling Salesman Problem (TSP) ในการออกแบบเส้นทางและลำดับที่ในการเดินรถของพนักงานขนส่งแทนการใช้วิจารณญาณของพนักงานขนส่ง เพื่อง่ายต่อการนำไปใช้งาน หลังจากที่พนักงานโลจิสติกส์ทราบว่าจะต้องไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้ารายใดบ้าง และจัดสายรถในการไปส่งสินค้าให้แก่ลูกค้าเรียบร้อยแล้ว จึงใช้ TSP Model ในการออกแบบเส้นทางและลำดับที่ในการเดินรถ เพื่อให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด

ระยะที่ 2 : ปรับปรุงโดยใช้ Vehicle Routing Problem Model (VRP Model)

ผู้วิจัยต้องการเสนอการปรับปรุงโดยใช้ Vehicle Routing Problem Model ในการออกแบบตั้งแต่การจัดสายรถ เส้นทางในการวิ่งรถและลำดับที่ในการ

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ไปส่งสินค้าแก่ลูกค้าของรถขนส่งแต่ละคัน เนื่องจากปัจจุบันทางบริษัทมีการใช้ตารางการวิ่งรถแบบระบุเป็นเขตพื้นที่ตายตัว ทำให้รถขนส่งจะต้องวิ่งรถในเขตพื้นที่เดิมและวันเดิมในทุกสัปดาห์ ทางผู้วิจัยเชื่อว่าหากทำลายข้อจำกัดนี้ได้ โดยการใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อแก้ปัญหาแบบ Vehicle Routing Problem เส้นทางและลำดับที่ในการวิ่งรถจะทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายได้มากขึ้น

410041087 9
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

3.2 วิเคราะห์ข้อมูลประวัติการเดินรถขนส่ง

ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาข้อมูลการเดินรถขนส่งสินค้าย้อนหลังในเดือนกรกฎาคม และ สิงหาคม ปี พ.ศ. 2561 โดยได้ขอข้อมูลจากฝ่าย Purchasing & Logistics ได้แก่ บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานขนส่ง ข้อมูลการส่งสินค้าย้อนหลัง ข้อมูลสถานที่ตั้งของลูกค้าแต่ละราย และข้อมูลอัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่งแต่ละคัน จากนั้นได้นำข้อมูลมาทำการจัดรูปแบบเพื่อเป็นข้อมูลนำเข้า (Input Data) ใช้ในการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยสรุปได้ดังตารางที่ 3-1

ตารางที่ 3-1 การจัดรูปแบบข้อมูลเพื่อใช้ในการวิเคราะห์

แหล่งข้อมูลจาก ฝ่ายจัดซื้อและโลจิสติกส์	**ข้อมูลที่ได้**
บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานขนส่ง	• เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย (ตารางที่ 3-2) Average (เวลาที่ออกจากลูกค้า - เวลาที่ไปถึงลูกค้า)
ข้อมูลการส่งสินค้าย้อนหลัง	• รายชื่อลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าในแต่ละวัน • น้ำหนักสินค้าที่ต้องไปส่งลูกค้า • ประวัติการจ้างรถ Outsource
สถานที่ตั้งของลูกค้าทั้งหมด	• ระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างคู่พิกัดใดๆ (ตารางที่ 3-5) ใช้ซอฟแวร์ PyCharm โดยเรียกฟังก์ชัน Googlemaps)
รายงานอัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่งปี 2561	• อัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ยของรถขนส่งทั้ง 3 คัน คิดเป็น 11.04 กิโลเมตรต่อลิตร

3.2.1 บันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานขนส่ง

เนื่องจากขั้นตอนหรือวิธีการในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายมีลักษณะที่แตกต่างกัน ส่งผลทำให้ระยะเวลาที่พนักงานขนส่งต้องใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละ

รายมีค่าที่แตกต่างกันด้วย ผู้วิจัยจึงทำการศึกษาบันทึกการปฏิบัติงานของพนักงานขนส่ง โดยในแต่ละวัน พนักงานขนส่งจะทำการบันทึกเวลาทั้งขาเข้า และขาออกจากลูกค้าทุกราย เพื่อเป็นข้อมูลในการคำนวณค่าใช้จ่ายของการเดินรถ ทำให้เราทราบได้ว่าพนักงานขนส่งต้องใช้เวลาเฉลี่ยในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละรายเท่าใด รวมถึงเวลาเฉลี่ยที่ต้องใช้ในการรับสินค้าขึ้นรถที่คลังสินค้าด้วย (ตารางที่ 3-2)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 3-2 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย (Average Servicing Time)

ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)
0	25	39	23	78	15	117	11
1	43	40	12	79	35	118	19
2	26	41	51	80	21	119	20
3	5	42	13	81	15	120	11
4	10	43	4	82	7	121	8
5	13	44	15	83	38	122	31
6	14	45	6	84	8	123	20
7	21	46	25	85	6	124	14
8	19	47	20	86	21	125	16
9	11	48	10	87	63	126	9
10	13	49	15	88	41	127	30
11	7	50	17	89	14	128	28
12	37	51	17	90	22	129	17
13	7	52	14	91	7	130	15
14	22	53	14	92	10	131	22
15	12	54	13	93	7	132	24
16	10	55	8	94	11	133	17
17	9	56	8	95	15	134	15
18	10	57	9	96	14	135	20
19	14	58	11	97	25	136	33
20	13	59	13	98	14	137	4
21	10	60	49	99	5	138	18
22	17	61	24	100	16	139	30
23	8	62	43	101	10	140	23
24	59	63	8	102	18	141	15
25	11	64	6	103	31	142	3
26	11	65	27	104	31	143	181
27	34	66	12	105	27	144	5
28	11	67	11	106	19	145	22
29	35	68	16	107	18	146	7

ตารางที่ 3-3 เวลาเฉลี่ยที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย (Average Servicing Time) (ต่อ)

ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)	ลูกค้า	เวลาในการส่งสินค้า (นาที)
30	19	69	7	108	30	147	12
31	29	70	25	109	23	148	11
32	6	71	15	110	29	149	18
33	19	72	12	111	15	150	16
34	28	73	7	112	19	151	18
35	31	74	10	113	15	152	9
36	5	75	80	114	17	153	11
37	31	76	6	115	9	154	17
38	6	77	32	116	40	155	12

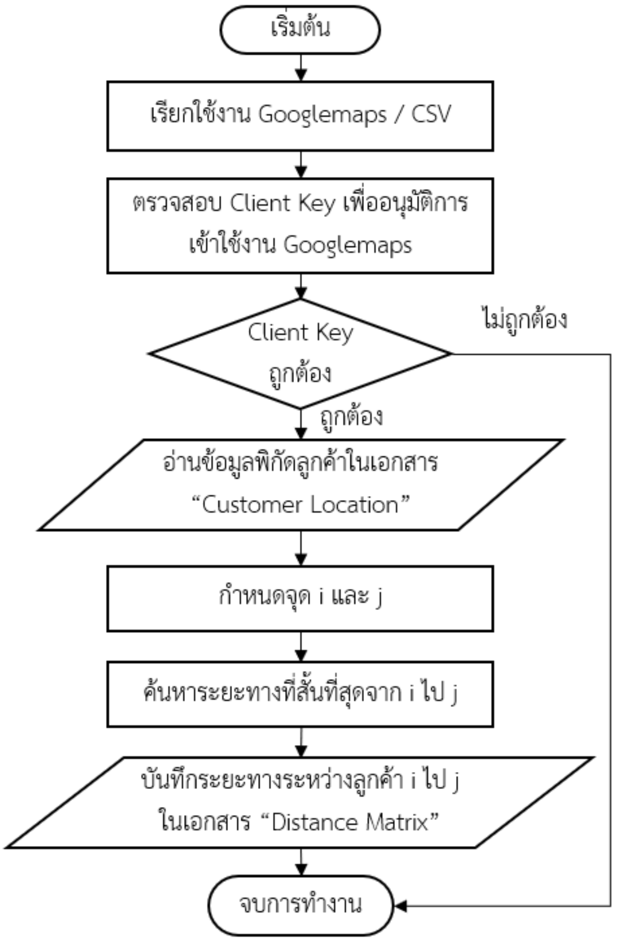
3.2.2 ข้อมูลการส่งสินค้าย้อนหลัง

ฝ่ายโลจิสติกส์จะมีการบันทึกข้อมูลประวัติการขนส่งสินค้าย้อนหลัง เพื่อเก็บเป็นหลักฐานและใช้ในการวิเคราะห์วางแผนการดำเนินงานในอนาคต โดยในข้อมูลการส่งสินค้าย้อนหลังประกอบไปด้วยรายชื่อลูกค้าที่ไปส่งสินค้าในแต่ละวัน ประเภทสินค้าที่ลูกค้าต้องการ น้ำหนักของสินค้า รถขนส่งที่ใช้ และการจ้างรถ Outsource ซึ่งผู้วิจัยจะนำข้อมูลรายชื่อลูกค้าและน้ำหนักของสินค้ามาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าเพื่อทดสอบการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ และนำผลลัพธ์ที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลการขนส่งจริงของบริษัท

3.2.3 สถานที่ตั้งของลูกค้าทั้งหมด

นำพิกัดของลูกค้าทั้งหมดรวมถึงพิกัดของคลังสินค้า มาใช้ในการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างคู่พิกัดใดๆ เพื่อนำไปคำนวณเป็นระยะเวลาที่ใช้ในการเดินรถขนส่ง โดยเรียกใช้ฟังก์ชัน Googlemaps ผ่านโปรแกรม JetBrains PyCharm Community Edition 2018.2.4 ซึ่งมีขั้นตอนการทำงานดังแสดงในรูปแบบของรหัสจำลองดังรูปที่ 3-4 และสร้างออกมาในรูปแบบ Distance Matrix ดังตารางที่ 3-5

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



ตารางที่ 3-4 อัลกอริทึมที่ใช้หาระยะทางที่สั้นที่สุดระหว่างคู่พิกัดใดๆ

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

ตารางที่ 3-5 ตัวอย่าง Distance Matrix ระหว่างคลังสินค้า และลูกค้าทุกราย (หน่วยกิโลเมตร)

	ADVICS	Agility	Amatanakorn 10	Amatanakorn 11	Amatanakorn 12	Amatanakorn 13	Amatanakorn 14	Amatanakorn 15	Amatanakorn 16	Amatanakorn 17	...	...	Wellgrow 9
ADVICS	0.0	102.0	50.2	50.7	56.8	53.7	53.6	50.9	52.2	51.9	...	...	75.9
Agility	103.0	0.0	65.2	66.1	68.9	66.0	66.0	58.5	58.1	57.6	...	...	39.6
Amatanakorn 10	49.4	59.7	0.0	1.3	9.6	7.0	6.9	0.8	3.5	3.1	...	...	25.4
Amatanakorn 11	49.9	60.2	1.3	0.0	10.5	7.9	7.9	2.1	4.7	4.4	...	...	26.6
Amatanakorn 12	54.4	65.8	9.6	10.5	0.0	4.2	4.1	10.5	13.1	12.8	...	...	39.8
Amatanakorn 13	51.4	61.7	5.6	6.5	6.3	0.0	3.6	6.4	9.1	8.7	...	...	35.7
Amatanakorn 14	51.6	61.9	5.8	6.7	6.5	0.3	0.0	6.6	9.3	8.9	...	...	35.9
Amatanakorn 15	50.2	60.5	0.8	2.1	10.4	7.8	7.8	0.0	2.8	2.4	...	...	24.7
Amatanakorn 16	49.1	61.3	4.1	5.3	13.6	11.0	11.0	3.4	0.0	2.0	...	...	26.3
Amatanakorn 17	49.2	61.4	3.1	4.3	12.6	10.0	10.0	2.4	0.5	0.0	...	...	23.7
Amatanakorn 2	51.0	70.3	18.5	19.4	9.8	13.1	13.0	19.4	20.4	20.0	...	...	44.3
Amatanakorn 3	57.6	57.8	8.6	9.5	6.2	5.5	5.5	10.6	12.3	11.9	...	...	31.5
Amatanakorn 4	47.9	59.4	6.0	7.3	15.6	13.0	12.9	5.3	4.7	3.0	...	...	25.2
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	...	...	.
.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	.	...	...	.
Wellgrow 9	80.0	40.2	27.4	28.6	36.2	33.6	33.5	26.7	26.2	25.7	...	...	0.0

3.2.4 รายงานอัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่งปี 2561

บริษัทมีการจัดทำรายงานอัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่งแต่ละคันในทุกๆ เดือน โดยจากรายงานอัตราการใช้น้ำมันประจำปี พ.ศ. 2561 (ตารางที่ 3-6) พบว่ารถขนส่งมีอัตราการใช้น้ำมันเฉลี่ยอยู่ที่ 11.04 กิโลเมตรต่อลิตร ซึ่งจะนำข้อมูลนี้ไปคำนวณต่อเป็นค่าน้ำมันรถเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าสำหรับการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 3-6 อัตราการใช้น้ำมันของรถขนส่ง (กิโลเมตรต่อลิตร)

รถคันที่	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.
1	10.8	11.37	10.13	11.3	10.22	9.76	10.16	10.54	9.4	10.45	10.22	10.24
2	12.43	11.65	10.53	11.62	8.16	10.03	11.15	15.11	9.9	10.79	11.84	11.13
3	11.08	11.3	10.86	12.49	13.04	10.92	11.09	12.55	11.9	11.02	11.12	11.16

3.3 ออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

งานวิจัยฉบับนี้เป็นการศึกษาหาวิธีการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งของตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสานแห่งหนึ่ง โดยผู้วิจัยได้ทำการออกแบบการศึกษาออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่ การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบเส้นทางในรูปแบบปัญหา Travelling Salesman Problem (TSP) และ การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อออกแบบเส้นทางในรูปแบบปัญหา Vehicle Routing Problem (VRP) โดยสาเหตุที่ต้องแบ่งเป็น 2 ระยะ เนื่องจากปัจจุบันบริษัทนี้ได้มีการกำหนดตารางการเดินรถแบ่งตามเขตพื้นที่ของลูกค้าอยู่ และมีการตกลงกับลูกค้าไว้แล้ว จึงสะดวกในการนำ TSP Model ไปใช้ได้ทันที แต่ผู้วิจัยจะนำเสนออีกทางเลือกหนึ่งโดยใช้ VRP Model ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

การออกแบบตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีสมมติฐาน ดังนี้

1. ต้นทุนค่าน้ำมันรถ 2.6 บาทต่อกิโลเมตร โดยคิดจากราคาน้ำมันดีเซล (29 บาทต่อลิตร) หารด้วยอัตราการใช้น้ำมันรถของบริษัทเฉลี่ยทั้ง 3 คัน ในปี พ.ศ. 2561 (11.04 กิโลเมตรต่อลิตร)
2. บริษัทมีรถ 3 คัน หากต้องใช้รถคันที่ 4 ขึ้นไป จะคิดเป็นการจ้างรถ Outsource มีค่าใช้จ่ายคันละ 3,000 บาท

3. พนักงานขับรถทำงานวันละ 9 ชั่วโมง คิดเป็น 540 นาที หากทำงานเกินกว่า 540 นาที จะถูกคิดค่าทำงานล่วงเวลา นาทีละ 1 บาท
4. ระยะเวลาที่ใช้ในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าแต่ละราย คิดจากเวลาส่งสินค้าเฉลี่ยในบันทึกการเดินทาง
5. รถทุกคันใช้ความเร็ว 45.35 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คิดจากเวลาเดินทางเฉลี่ยในบันทึกการเดินทาง
6. เส้นทางที่ใช้เกิดจากการคำนวณหาระยะทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path) จากจุดใดๆ ไปยังทุกจุดมาแล้ว

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

3.3.1 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ Travelling Salesman Problem (TSP Model)

TSP Model ใช้ในกรณีที่บริษัทมีการกำหนดสายรถอยู่ก่อนแล้ว แต่ต้องการออกแบบเส้นทางและลำดับที่ในการเดินรถ

Set and Parameter

N = เซตของลูกค้าทั้งหมด โดยที่ $N = \{1,2,3,\ldots,155\}$

$N\emptyset$ = เซตของลูกค้าทั้งหมดรวมถึงคลังสินค้า โดยที่ $N\emptyset = \{0,1,2,3,\ldots,155\}$

CF_{ij} = ค่าน้ำมันรถที่ใช้เดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยบาทต่อกิโลเมตร)

CL = ค่าใช้จ่ายกรณีพนักงานขนส่งทำงานล่วงเวลา (หน่วยบาทต่อนาที)

t_{ij} = ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยนาที)

s_i = ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i โดยที่ i เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยนาที)

d_j = ปริมาณสินค้าที่ต้องไปส่งลูกค้า j โดยที่ j เป็นสมาชิกของ N (หน่วยกิโลกรัม)

$$D_j = \begin{cases} 1, & \text{ลูกค้า } j \text{ มีการสั่งสินค้า โดยที่ } j \text{ เป็นสมาชิกของ } N \\ 0, & \text{ลูกค้า } j \text{ ไม่มีการสั่งสินค้า โดยที่ } j \text{ เป็นสมาชิกของ } N \end{cases}$$

Decision Variables

x_{ij} =
- 1 , มีการเดินรถขนส่งสินค้าจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N_{\emptyset}$
- 0 , ไม่มีการเดินรถขนส่งสินค้าจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N_{\emptyset}$

a_j = เวลาที่รถขนส่งไปถึงจุด j โดยที่ j เป็นสมาชิกของ $N_{\emptyset}$ (หน่วยนาที)

A = จำนวนเวลาทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง (หน่วยนาที)

B = จำนวนเวลาทำงานที่เหลือของพนักงานขนส่ง (หน่วยนาที)

C = จำนวนเวลาทำงานทั้งหมดของพนักงานขนส่ง (หน่วยนาที)

Objective Function

Minimize $$z = \sum_{i\in N_{\emptyset}, j\in N_{\emptyset}} CF_{ij}x_{ij} + CLA \quad (1)$$

Constraint

$$\sum_{j\in N} x_{0j} = 1 \quad (2)$$

$$\sum_{i\in N} x_{i0} = 1 \quad (3)$$

$$\sum_{i\in N_{\emptyset}} x_{ij} = D_j \,;\, \forall j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i\in N_{\emptyset}} x_{ij} = \sum_{i\in N_{\emptyset}} x_{ji} \,;\, \forall j \in N \quad (5)$$

$$\sum_{i\in N_{\emptyset}, j\in N_{\emptyset}} x_{ij}d_j \leq 1500 \quad (6)$$

$$a_j \geq s_0 + t_{0j}x_{0j} - M(1 - x_{0j}) \,;\forall j \in N \quad (7)$$

$$a_j \geq a_i + s_i + t_{ij}x_{ij} - M(1 - x_{ij}) \,;\forall i,j \in N_{\emptyset} \quad (8)$$

$$C \geq a_i + s_i + t_{i0}x_{i0} \,;\, \forall i \in N \quad (9)$$

$$C - 540 = A - B \quad (10)$$

$$x_{ii} = 0 \,;\forall i \in N_{\emptyset} \quad (11)$$

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

$$x_{ij} = \{0,1\} \; ; \forall \, i,j \in N_{\emptyset} \tag{12}$$

$$a_j \geq 0 \; ; \forall \, j \in N_{\emptyset} \tag{13}$$

$$A \geq 0 \tag{14}$$

$$B \geq 0 \tag{15}$$

$$C \geq 0 \tag{16}$$

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

แบบจำลองคณิตศาสตร์ข้างต้น มีจุดประสงค์เพื่อหาวิธีการเดินรถที่เหมาะสมที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งประกอบไปด้วย ผลรวมของค่าน้ำมันรถทั้งหมดที่ใช้ในการเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าทุกรายจนกลับมาเก็บรถที่บริษัท บวกกับค่าใช้จ่ายในกรณีที่พนักงานขนส่งมีการทำงานล่วงเวลา (1)

โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีเงื่อนไขคือ รถทุกคันต้องออกจากคลังสินค้า (2) และกลับเข้าคลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ (3) โดยจะไปส่งสินค้าเฉพาะจุดที่ลูกค้ามีการสั่งสินค้าเท่านั้น (4) เมื่อรถขนส่งไปยังจุดหมายเพื่อส่งสินค้าแล้วจะต้องออกจากจุดนั้นเสมอ (5) และรถขนส่งสินค้ามีความสามารถในการบรรทุกที่จำกัด คือ ไม่เกิน 1,500 กิโลกรัมต่อคัน (6) นอกจากนี้ในเส้นทางการขนส่งสินค้าจะต้องไม่เกิด Subtour หรือเส้นทางย่อย (7) – (8) กล่าวคือ หากมีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j ระยะเวลาที่ไปถึงจุด j ใดๆ จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าเวลาที่ไปถึงจุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยสมการที่ (7) เป็นการกำหนดเวลาที่ไปถึงจุด j ใดๆ หลังออกจากคลังสินค้า ดังนั้นพจน์ a_0 จึงมีค่าเป็น 0 และในทางกลับกัน หากไม่มีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j แล้ว เวลาที่ไปถึงจุด j จะมีค่าเป็น 0 สำหรับสมการที่ (9) ใช้ในการหาระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะเท่ากับเวลาที่ไปถึงจุด i ใดๆ ที่เป็นจุดส่งสินค้าสุดท้าย บวกกับเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i กลับไปยังคลังสินค้า และสมการที่ (10) เป็นการคำนวณหาเวลาที่พนักงานขนส่งทำงานล่วงเวลา โดยหากระยะเวลาการทำงานทั้งหมดของพนักงานขนส่งมากกว่า 540 นาที จะส่งผลให้เกิดการทำงานล่วงเวลานั่นคือ A มีค่าเป็นบวก และ B มีค่าเป็น 0 ซึ่งจะส่งผลให้พจน์ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง ในสมการจุดประสงค์มีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกัน หากระยะเวลาการทำงานของพนักงานขนส่งน้อยกว่า 540 นาที จะส่งผลให้ A มีค่าเป็น 0 นั่นคือ

ไม่เกิดการทำงานล่วงเวลา และ B จะมีค่าเป็นบวกแทน นั่นหมายถึงพนักงานขนส่งมีเวลาในการทำงานเหลือ ซึ่งตัวแบบจำลองจะพยายามให้ A มีค่าต่ำที่สุด เพื่อไม่ให้ต้นทุนค่าขนส่งสูง สำหรับสมการที่ (11) รถขนส่งจะไม่มีการเดินรถระหว่างจุดเดียวกัน และสมการที่ (12) – (16) เป็นการระบุขอบเขตของตัวแปร กล่าวคือ x_{ij} มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น ในขณะที่ a_j, A, B และ C ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

3.3.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ Vehicle Routing Problem (VRP Model)

VRP Model เป็นแบบจำลองที่พัฒนามาจาก TSP Model โดยมีความซับซ้อนมากขึ้น เมื่อ Model จะต้องคิดเพิ่มว่าลูกค้ารายใดจะถูกให้บริการโดยรถขนส่งคันใด จากนั้นจึงจะออกแบบลำดับที่ของลูกค้าที่จะใช้ในการเดินรถขนส่ง

Set and Parameter

N = เซตของลูกค้าทั้งหมด โดยที่ $N = \{1,2,3,\ldots,155\}$

$N\emptyset$ = เซตของลูกค้าทั้งหมดรวมถึงคลังสินค้า โดยที่ $N\emptyset = \{0,1,2,3,\ldots,155\}$

K = เซตของรถขนส่ง โดยที่ $K = \{1,2,3,\ldots,6\}$ ซึ่งรถคันที่ 1,2,3 คือ รถของบริษัท และรถคันที่ 4,5,6 คือ รถ Outsource

CF_{ij} = ค่าน้ำมันรถที่ใช้เดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยบาทต่อกิโลเมตร)

CV = ค่าจ้างรถ Outsource (หน่วยบาทต่อคัน)

CL = ค่าใช้จ่ายกรณีพนักงานขนส่งทำงานล่วงเวลา (หน่วยบาทต่อนาที)

t_{ij} = ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยนาที)

s_i = ระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i โดยที่ i เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ (หน่วยนาที)

d_j = ปริมาณสินค้าที่ต้องไปส่งลูกค้า j โดยที่ j เป็นสมาชิกของ N (หน่วยกิโลกรัม)

$$D_j = \begin{cases} 1\text{ , ลูกค้า } j \text{ มีการสั่งสินค้า โดยที่ } j \text{ เป็นสมาชิกของ } N \\ 0\text{ , ลูกค้า } j \text{ ไม่มีการสั่งสินค้า โดยที่ } j \text{ เป็นสมาชิกของ } N \end{cases}$$

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

Decision Variables

x_{ijk} =
- 1 , มีการเดินรถขนส่งสินค้าจากจุด i ไปยังจุด j โดยรถคันที่ k โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ และ k เป็นสมาชิกของ K
- 0 , ไม่มีการเดินรถขนส่งสินค้าจากจุด i ไปยังจุด โดยรถคันที่ k โดยที่ i และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$ และ k เป็นสมาชิกของ K

v_k =
- 1 , มีการใช้รถคันที่ k เพื่อขนส่งสินค้า โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K
- 0 , ไม่มีการใช้รถคันที่ k เพื่อขนส่งสินค้า โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K

a_{jk} = เวลาที่รถขนส่งคันที่ k ไปถึงจุด j โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K และ j เป็นสมาชิกของ $N\emptyset$

A_k = จำนวนเวลาทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งคันที่ k โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K (หน่วยนาที)

B_k = จำนวนเวลาทำงานที่เหลือของพนักงานขนส่งคันที่ k โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K (หน่วยนาที)

C_k = จำนวนเวลาทำงานทั้งหมดของพนักงานขนส่งคันที่ k โดยที่ k เป็นสมาชิกของ K (หน่วยนาที)

Objective Function

Minimize $z = \sum_{i\in N_\emptyset, j\in N_\emptyset, k\in K} CF_{ij}x_{ijk} + \sum_{k\in K} CLA_k + \sum_{k=4}^{6} CVv_k$ (1)

Constraint

$$\sum_{j\in N} x_{0jk} = v_k \;;\; \forall\, k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{i\in N} x_{i0k} = v_k \;;\; \forall\, k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i\in N_\emptyset, k\in K} x_{ijk} = D_j \;;\; \forall\, j \in N \quad (4)$$

$$\sum_{i\in N_\emptyset} x_{ijk} = \sum_{i\in N_\emptyset} x_{jik} \;;\; \forall\, j \in N, \forall\, k \in K \quad (5)$$

$$\sum_{i\in N_\emptyset, j\in N_\emptyset} x_{ijk}d_j \le 1500v_k \;;\; \forall\, k \in K \quad (6)$$

$$a_{jk} \geq s_0 + t_{0j}x_{0jk} - M(1 - x_{0jk})\ ; \forall j \in N, \forall k \in K \qquad (7)$$

$$a_{jk} \geq a_{ik} + s_i + t_{ij}x_{ijk} - M(1 - x_{ijk})\ ; \forall i, j \in N, \forall k \in K \qquad (8)$$

$$C_k \geq a_{ik} + s_i + t_{i0}x_{i0k}\ ; \forall i \in N_\emptyset, \forall k \in K \qquad (9)$$

$$C_k - 540 = A_k - B_k\ ; \forall k \in K \qquad (10)$$

$$x_{iik} = 0\ ; \forall i \in N_\emptyset, \forall k \in K \qquad (11)$$

$$x_{ijk} = \{0,1\}\ ; \forall i, j \in N_\emptyset, \forall k \in K \qquad (12)$$

$$v_k = \{0,1\}\ ; \forall k \in K \qquad (13)$$

$$a_{jk} \geq 0 \quad ; \forall j \in N, \forall k \in K \qquad (14)$$

$$A_k \geq 0 \quad ; \forall k \in K \qquad (15)$$

$$B_k \geq 0 \quad ; \forall k \in K \qquad (16)$$

$$C_k \geq 0 \quad ; \forall k \in K \qquad (17)$$

ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ข้างต้นพัฒนามาจากแบบจำลอง TSP Model ในหัวข้อ 3.3.1 จาก TSP Model เป็นการกำหนดว่าต้องมีการเดินทางจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j แต่สำหรับ VRP Model จะมีการพิจารณาเพิ่มเติมอีกว่าการเดินทางจากลูกค้า i ไปยังลูกค้า j ต้องใช้รถคันที่ k จึงจะเหมาะสม โดยตัวแบบทางคณิตศาสตร์นี้มีจุดประสงค์เพื่อออกแบบเส้นทางการเดินรถที่ทำให้มีต้นทุนการขนส่งต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนของการขนส่งใน VRP Model ประกอบด้วย 3 ส่วน คือ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าทำงานล่วงเวลาของพนักงานขับรถ และค่าจ้างรถ Outsource (1) สำหรับเงื่อนไขของ VRP Model หากมีการใช้รถคันที่ k แล้ว รถคันที่ k จะต้องเริ่มต้นออกจากคลังสินค้า (2) และกลับเข้าคลังสินค้าเมื่อส่งสินค้าเสร็จ (3) โดยจะไปส่งสินค้าเฉพาะจุดที่ลูกค้ามีการสั่งสินค้าเท่านั้น (4) เมื่อรถขนส่งไปยังจุดหมายเพื่อส่งสินค้าแล้วจะต้องออกจากจุดนั้นเสมอ (5) และรถขนส่งสินค้าแต่ละคันมีความสามารถในการบรรทุกที่จำกัด คือ ไม่เกิน 1,500 กิโลกรัมต่อคัน (6) นอกจากนี้ในเส้นทางการขนส่งสินค้าจะต้องไม่เกิด Subtour หรือเส้นทางย่อย (7) – (8) กล่าวคือ หากมีการเดินทางจากจุด j ไปยังจุด j ระยะเวลาที่ไปถึงจุด j ใดๆ จะต้องมีค่าไม่น้อยกว่าเวลาที่ไปถึงจุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j โดยสมการที่ (7) เป็นการ

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

กำหนดเวลาที่ไปถึงจุด j ใดๆ หลังออกจากคลังสินค้า ดังนั้นพจน์ a_0 จึงมีค่าเป็น 0 และในทางกลับกัน หากไม่มีการเดินทางจากจุด i ไปยังจุด j แล้ว เวลาที่ไปถึงจุด j จะมีค่าเป็น 0 สำหรับสมการที่ (9) คือการหาระยะเวลาที่ใช้ในการทำงานทั้งหมด ซึ่งจะเท่ากับเวลาที่ไปถึงจุด i ใดๆ ที่เป็นจุดส่งสินค้าสุดท้าย บวกกับเวลาที่ใช้ในการทำงานที่จุด i บวกกับเวลาที่ใช้ในการเดินทางจากจุด i กลับไปยังคลังสินค้า และสมการที่ (10) เป็นการคำนวณหาเวลาที่พนักงานขนส่งรถคันที่ k ทำงานล่วงเวลา โดยหากระยะเวลาการทำงานทั้งหมดของพนักงานขนส่งมากกว่า 540 นาที จะส่งผลให้เกิดการทำงานล่วงเวลานั่นคือ A_k มีค่าเป็นบวก และ B_k มีค่าเป็น 0 ซึ่งจะส่งผลให้พจน์ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง ในสมการจุดประสงค์มีค่าสูงขึ้น ในทางกลับกัน หากระยะเวลาการทำงานของพนักงานขนส่งน้อยกว่า 540 นาที จะส่งผลให้ A_k มีค่าเป็น 0 นั่นคือ ไม่เกิดการทำงานล่วงเวลา และ B_k จะมีค่าเป็นบวกแทน นั่นหมายถึงพนักงานขนส่งมีเวลาในการทำงานเหลือ ซึ่งตัวแบบจำลองจะพยายามให้ A_k มีค่าต่ำที่สุด เพื่อไม่ให้ต้นทุนค่าขนส่งสูง สำหรับสมการที่ (11) รถขนส่งจะไม่มีการเดินรถระหว่างจุดเดียวกัน และสมการที่ (12) – (17) เป็นการระบุขอบเขตของตัวแปร กล่าวคือ x_{ijk} และ v_k มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น ในขณะที่ a_{jk}, A_k, B_k และ C_k ต้องมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

3.4 ทดสอบและวัดผลตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยทำการแบ่งชุดข้อมูลมาเพียงบางส่วนเพื่อทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้ออกแบบไว้ เนื่องจากใช้เวลาน้อยกว่าการใช้ข้อมูลทั้งหมดในการทดสอบ และได้มีการปรับแก้แบบจำลองให้เหมาะสมมากขึ้น โดยต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากการใช้ VRP Model มีค่าต่ำที่สุด เนื่องจากมีการวิเคราะห์ปริมาณรถขนส่งที่จำเป็นต้องใช้ การจัดกลุ่มสายรถ รวมไปถึงการจัดลำดับการส่งสินค้าในแต่ละคัน ถัดมาเป็นต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จาก TSP Model เนื่องจากเป็นเพียงการจัดลำดับการส่งสินค้าในแต่ละคันเท่านั้น และสุดท้ายเป็นต้นทุนค่าขนส่งจริงที่ได้จากข้อมูลการเดินรถย้อนหลังของบริษัทเอง ซึ่งจะขออธิบายผลการดำเนินงานอย่างละเอียดในบทที่ 4

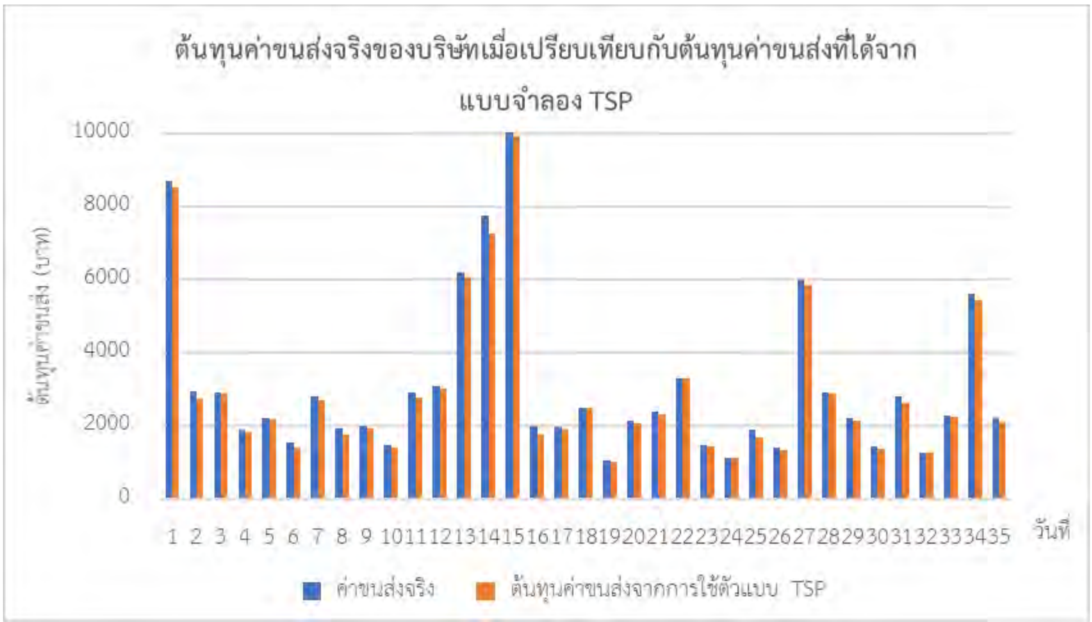
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 4
ผลการดำเนินงาน

ผู้วิจัยได้ทำการทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ โดยใช้ข้อมูลประวัติการขนส่งจริงของบริษัทกรณีศึกษาในเดือนกรกฎาคม และสิงหาคม ปี พ.ศ. 2561 จำนวนทั้งสิ้น 35 วัน ผ่านโปรแกรม IBM ILOG CPLEX Optimization Studio Version 12.6 บนเครื่องคอมพิวเตอร์ CPU Intel Core-i5 3.4 GHz, RAM 4 GB ผู้วิจัยพบว่า การใช้ตัวแบบจำลอง TSP ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถก่อให้เกิดต้นทุนการขนส่งที่ต่ำกว่าการใช้เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท และการใช้ตัวแบบจำลอง VRP ในการออกแบบเส้นทางการขนส่ง ตลอดจนลำดับการขนส่งในแต่ละเส้นทาง จะก่อให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำกว่าการใช้ตัวแบบจำลอง TSP

4.1 ผลการทดสอบตัวแบบจำลอง TSP

ผลการนำตัวแบบจำลอง TSP มาใช้ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถของบริษัท โดยใช้ข้อมูลการเดินรถทั้งหมด 35 วัน (102 เที่ยว) พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง TSP มีค่าอยู่ที่ 102,382 บาท ซึ่งต่ำกว่าต้นทุนค่าขนส่งจริงของบริษัทที่ 106,087 บาท หรือคิดเป็นต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลงเฉลี่ยประมาณ 3.5 % ดังแสดงในรูปที่ 4-1



รูปที่ 4-1 ต้นทุนค่าขนส่งจริงของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง TSP

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 4-1 ต้นทุนค่าขนส่งจริงของบริษัทเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง TSP

วันที่	ค่าขนส่งจริง (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้ตัวแบบ TSP (บาท)	% ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง
1	8,684	8,512	2%
2	2,957	2,674	10%
3	2,893	2,885	0%
4	1,886	1,816	4%
5	2,186	2,160	1%
6	1,527	1,382	9%
7	2,800	2,698	4%
8	1,930	1,736	10%
9	1,987	1,915	4%
10	1,464	1,399	4%
11	2,903	2,762	5%
12	3,068	3,001	2%
13	6,219	6,067	2%
14	7,756	7,263	6%
15	10,045	9,917	1%
16	1,993	1,741	13%
17	1,956	1,902	3%
18	2,485	2,469	1%
19	1,026	996	3%
20	2,126	2,079	2%
21	2,382	2,306	3%
22	3,296	3,290	0%
23	1,478	1,425	4%
24	1,107	1,107	0%
25	1,873	1,672	11%
26	1,377	1,336	3%
27	5,983	5,841	2%
28	2,918	2,872	2%
29	2,215	2,146	3%
30	1,412	1,356	4%
31	2,802	2,617	7%
32	1,253	1,246	1%
33	2,287	2,246	2%
34	5,597	5,447	3%
35	2,217	2,101	5%
Total	**106,087**	**102,382**	**3.49%**

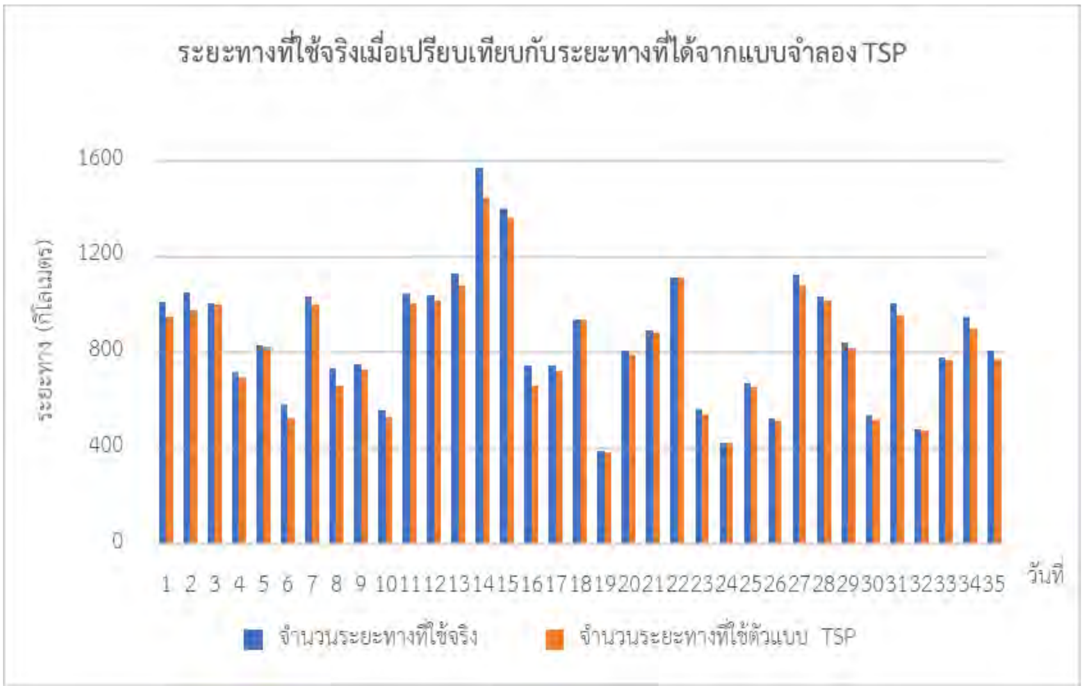
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.2 สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงจากการใช้ตัวแบบจำลอง TSP

การนำตัวแบบจำลอง TSP มาใช้ในการแบบเส้นทางการเดินรถขนส่ง ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ามีค่าต่ำลง โดยต้นทุนที่ลดลงเกิดขึ้นจาก 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าลดลง ส่งผลให้ต้นทุนค่าน้ำมันลดลง

จากผลการทดสอบแบบจำลอง TSP พบว่าต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง ส่วนหนึ่งเป็นผลกระทบจากระยะการเดินทางที่ลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าน้ำมันที่ใช้ลดลงตามไปด้วย ทั้งนี้ตัวแบบจำลอง TSP ให้ระยะทางรวมในการขนส่งมีค่าลดลงจาก 29,830 กิโลเมตร เป็น 28,710 กิโลเมตร หรือคิดเป็นทุนค่าน้ำมันรถที่ลดลงประมาณ 3.75 % ดังแสดงในรูปที่ 4-2



รูปที่ 4-2 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง TSP

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

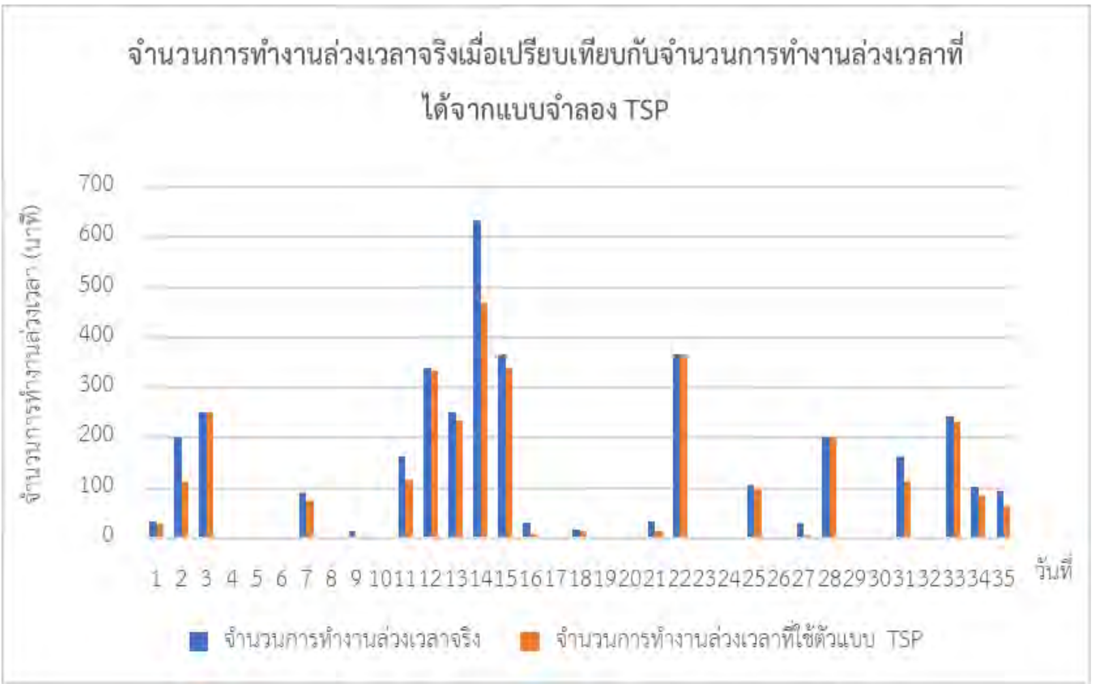
ตารางที่ 4-2 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง TSP

วันที่	จำนวนระยะทางที่ใช้จริง (กิโลเมตร)	ระยะทางที่ใช้ตัวแบบ TSP (กิโลเมตร)	% ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง
1	1,010	946	6%
2	1,049	976	7%
3	1,005	1,002	0%
4	718	691	4%
5	832	822	1%
6	581	525	10%
7	1,032	999	3%
8	735	661	10%
9	750	729	3%
10	557	533	4%
11	1,044	1,008	3%
12	1,039	1,016	2%
13	1,130	1,078	5%
14	1,569	1,445	8%
15	1,400	1,363	3%
16	747	659	12%
17	746	725	3%
18	940	940	0%
19	391	380	3%
20	809	792	2%
21	894	878	2%
22	1,115	1,113	0%
23	562	543	3%
24	421	421	0%
25	673	655	3%
26	524	511	3%
27	1,124	1,082	4%
28	1,034	1,017	2%
29	844	817	3%
30	537	517	4%
31	1,005	954	5%
32	478	475	1%
33	779	767	1%
34	950	899	5%
35	808	774	4%
Total	**29,830**	**28,710**	**3.75%**

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

2. เวลาที่ใช้ในการทำงานของพนักงานขนส่งที่ลดลง ส่งผลให้ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาลดลง

ปริมาณการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งของต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง เมื่อประยุกต์ใช้ตัวแบบจำลอง TSP ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่ง ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่า ปริมาณการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งลดลงจากเดิม 3,731 นาที เหลือเพียง 3,115 นาที ทำให้ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งลดลงกว่า 15.43 % ดังแสดงในรูปที่ 4-3



รูปที่ 4-3 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง TSP

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

ตารางที่ 4-3 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง TSP

วันที่	จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริง (นาที)	จำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ใช้ตัวแบบ TSP (นาที)	% เวลาทำงานล่วงเวลาที่ลดลง
1	32	27	16%
2	203	113	44%
3	251	251	0%
4	0	0	0%
5	0	0	0%
6	0	0	0%
7	90	75	17%
8	0	0	0%
9	15	0	0%
10	0	0	0%
11	162	115	29%
12	338	333	1%
13	251	234	7%
14	633	468	26%
15	368	338	8%
16	30	9	70%
18	16	15	6%
19	0	0	0%
20	0	0	0%
21	34	13	62%
22	367	367	0%
23	0	0	0%
24	0	0	0%
25	105	96	9%
26	0	0	0%
27	32	7	79%
28	202	202	0%
29	0	0	0%
30	0	0	0%
31	163	113	31%
32	0	0	0%
33	242	231	5%
34	103	85	17%
35	95	64	33%
Total	**3731**	**3155**	**15.43%**

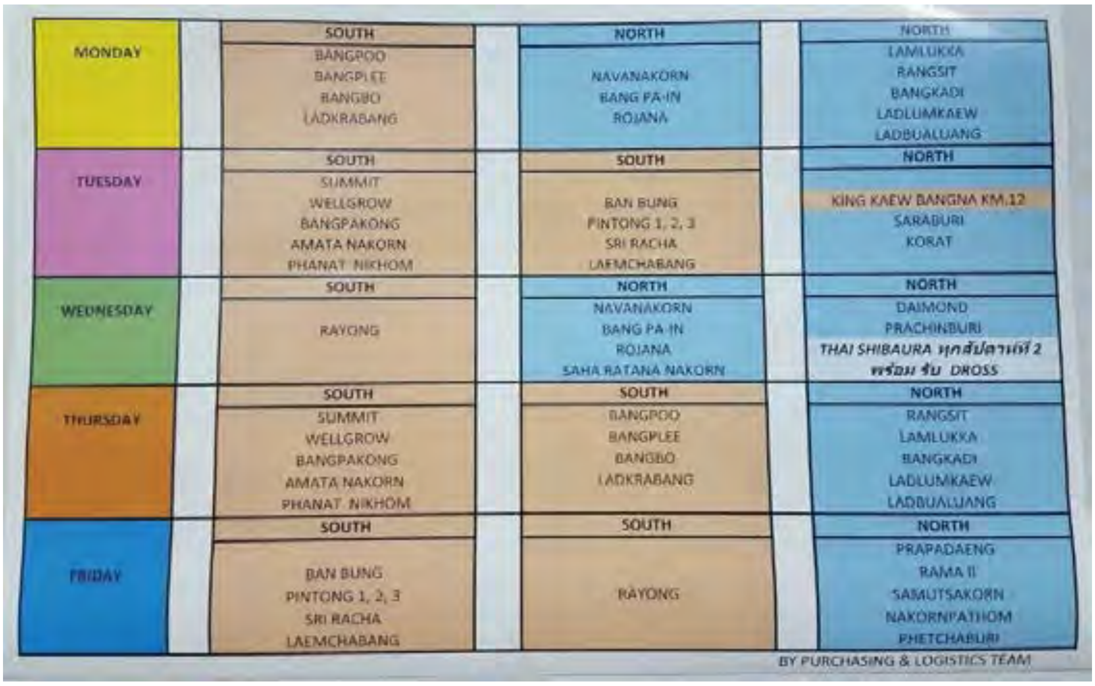
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.3 ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดสอบตัวแบบจำลอง TSP

จากปัจจัย ที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงดังที่กล่าวมาแล้วในหัวข้อ 4.2 ผู้วิจัยได้ทำการวิเคราะห์รายละเอียดผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบกับเส้นทางการเดินรถจริง โดยผู้วิจัยขอยกตัวอย่างจากข้อมูลวันที่ 11 รถขนส่งคันที่ 2 ซึ่งมีเส้นทางการเดินรถดังต่อไปนี้

4.3.1 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัทกรณีศึกษา

เส้นทางการขนส่งจริงของบริษัท ในวันที่ 11 คันที่ 2 เป็นการเดินรถขนส่งในวันพุธ โดยหากดูจากจากตารางการเดินรถของบริษัทที่กำหนดไว้ (รูปที่ 4-4) จะเป็นการเดินรถในเขต NAVANAKORN, BANG PA-IN, ROJANA, SAHA RATANA NAKORN ซึ่งมีลูกค้า 5 ราย (ลูกค้า 25, 89, 90, 94, 88) และได้มีการเพิ่มจุดลูกค้าที่อยู่ในเขต PRACHINBURI เข้ามาด้วยอีก 2 ราย (ลูกค้า 104, 107) รวมจำนวนลูกค้าทั้งสิ้น 7 ราย



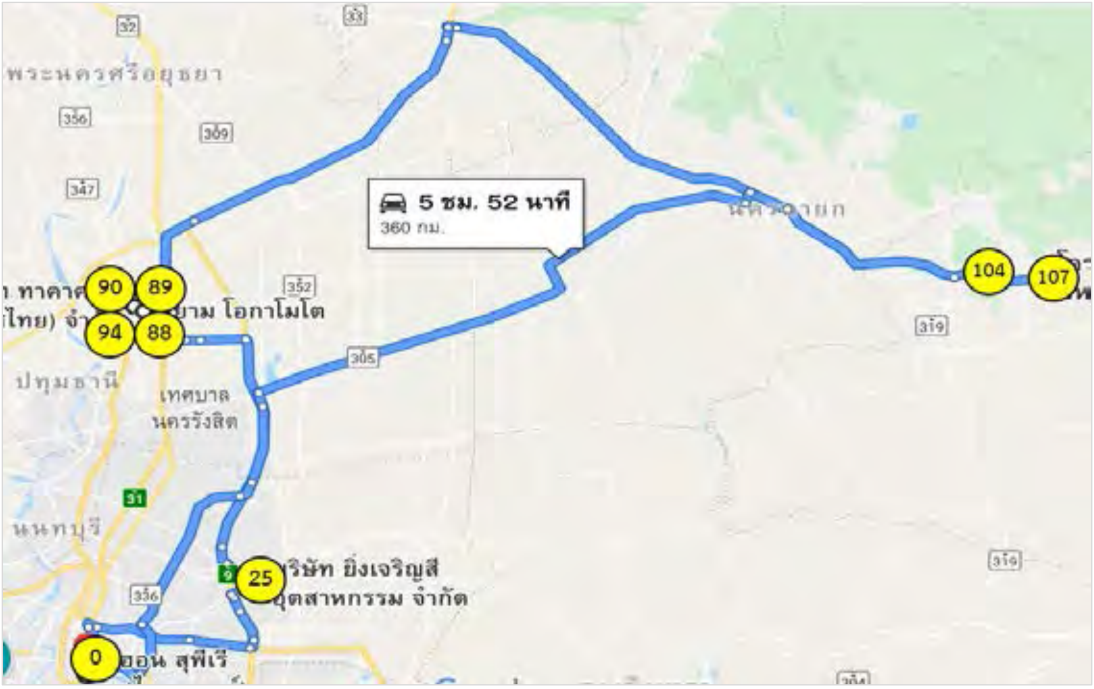
MONDAY	SOUTH BANGPOO BANGPLEE BANGBO LADKRABANG	NORTH NAVANAKORN BANG PA-IN ROJANA	NORTH LAMLUKKA RANGSIT BANGKADI LADLUMKAEW LADBUALUANG
TUESDAY	SOUTH SUMMIT WELLGROW BANGPAKONG AMATA NAKORN PHANAT NIKHOM	SOUTH BAN BUNG PINTONG 1, 2, 3 SRI RACHA LAEMCHABANG	NORTH KING KAEW BANGNA KM.12 SARABURI KORAT
WEDNESDAY	SOUTH RAYONG	NORTH NAVANAKORN BANG PA-IN ROJANA SAHA RATANA NAKORN	NORTH DAIMOND PRACHINBURI THAI SHIBAURA ทุกสัปดาห์ที่ 2 พร้อม รับ DROSS
THURSDAY	SOUTH SUMMIT WELLGROW BANGPAKONG AMATA NAKORN PHANAT NIKHOM	SOUTH BANGPOO BANGPLEE BANGBO LADKRABANG	NORTH RANGSIT LAMLUKKA BANGKADI LADLUMKAEW LADBUALUANG
FRIDAY	SOUTH BAN BUNG PINTONG 1, 2, 3 SRI RACHA LAEMCHABANG	SOUTH RAYONG	NORTH PRAPADAENG RAMA II SAMUTSAKORN NAKORNPATHOM PHETCHABURI

BY PURCHASING & LOGISTICS TEAM

รูปที่ 4-4 ตารางการเดินรถ

เมื่อนำพิกัดลูกค้าทั้ง 7 จุด และพิกัดของคลังสินค้าอีก 1 จุด มาทำการสร้างเส้นทางการเดินรถของบริษัทโดยใช้ Google Map จะได้ผลดังแสดงในรูปที่ 4-5

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



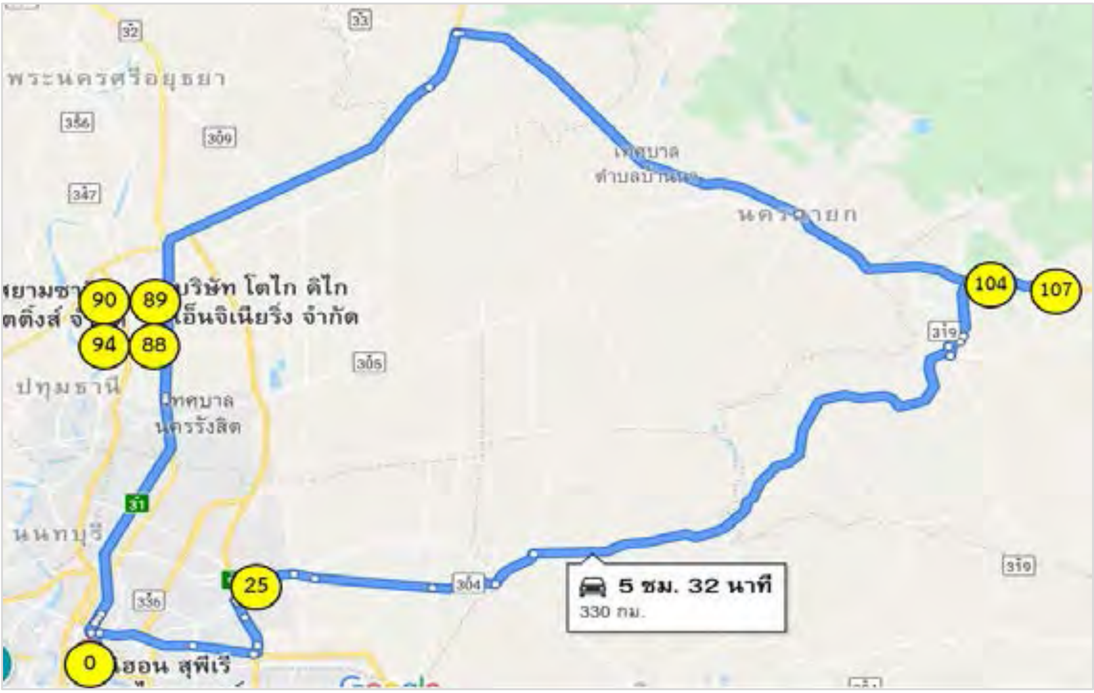
รูปที่ 4-5 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 11 รถคันที่ 2
ที่มา : Google Map

รถขนส่งมีการเดินทางออกจากคลังสินค้า (จุดที่ 0) ไปยังลูกค้าที่ 25 เป็นรายแรก จากนั้นเดินทางต่อไปยังลูกค้าที่ 89, 90, 94 และ 88 ตามลำดับ แล้วจึงเดินทางต่อไปยังลูกค้าที่ 104 และ 107 ซึ่งอยู่ในจังหวัดปราจีนบุรี เมื่อส่งสินค้าให้กับลูกค้าครบทุกรายแล้ว รถขนส่งจึงกลับมาจบงานที่คลังสินค้า โดยมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 360 กิโลเมตร

4.3.2 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากการใช้แบบจำลอง TSP

เมื่อนำแบบจำลอง TSP มาใช้ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถจะเห็นได้ว่ามีการปรับเปลี่ยนเส้นทางที่ใช้ในการเดินรถ รวมถึงลำดับในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าอย่างชัดเจน โดยเส้นทางการเดินรถเริ่มจากคลังสินค้าไปยังลูกค้าที่ 25 จากนั้นจึงเดินทางไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่ 104 และ 107 เมื่อแล้วเสร็จรถขนส่งจะกลับมาส่งสินค้าให้กับลูกค้าที่ 89, 90, 94 และ 88 ตามลำดับ แล้วจึงนำรถกลับมาเก็บที่คลังสินค้า ดังแสดงในรูปที่ 4-6 โดยมีระยะทางรวมทั้งสิ้น 330 กิโลเมตร

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-6 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง TSP ในวันที่ 11 รถคันที่ 2

ที่มา : Google Map

4.3.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเดินรถจริงของบริษัทกับเส้นทางที่ได้จากการใช้แบบจำลอง TSP

- เส้นทางจริงมีระยะทางรวม 360 กิโลเมตร

  0 > 25 > 89 > 90 > 94 > 88 > 104 > 107 > 0

- เส้นทางจากแบบจำลอง TSP มีระยะทางรวม 330 กิโลเตร

  0 > 25 > 104 > 107 > 89 > 90 > 94 > 88 > 0

ตารางที่ 4-4 ผลเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเดินรถจริงกับเส้นทางที่ได้จากการใช้แบบจำลอง TSP

เส้นทางเดินรถ	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เวลาเดินทางรวม (นาที)	จำนวนการทำงานล่วงเวลา (นาที)
เส้นทางจริงของบริษัท	360	530	162
เส้นทางจากแบบจำลอง TSP	330	483	115
ผลต่าง	ลดลง 8 %	ลดลง 9 %	ลดลง 29 %

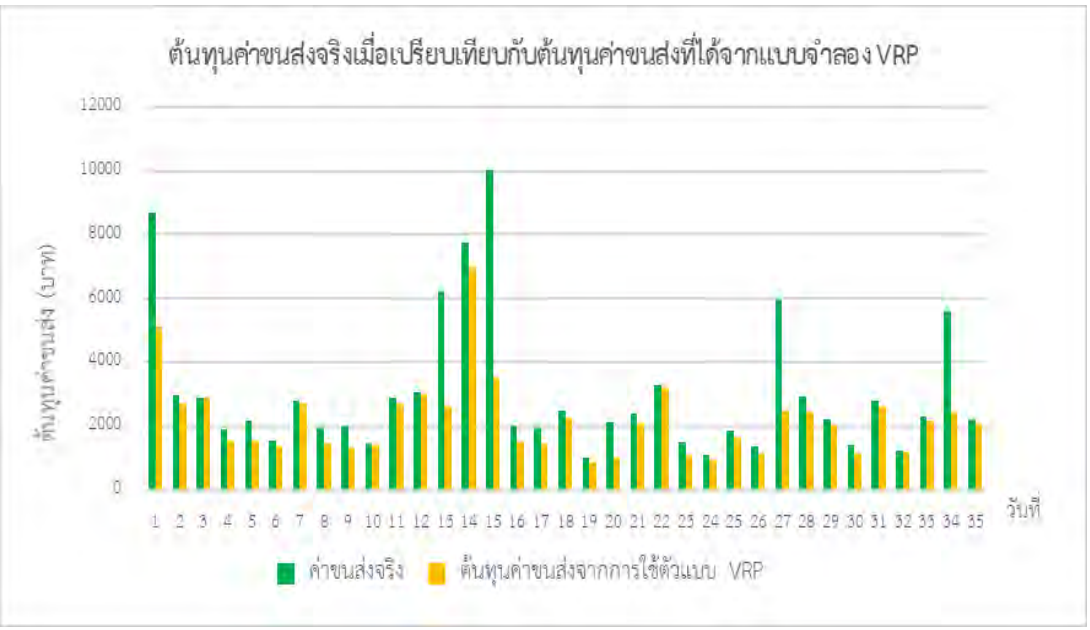
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

จากตารางที่ 4-4 จะเห็นได้ว่า การใช้ตัวแบบจำลอง TSP มาใช้ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ ทำให้เส้นทางการเดินรถมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยระยะทางรวมของเส้นทางเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง TSP มีค่าต่ำกว่าระยะทางรวมจริงที่บริษัทใช้ประมาณ 30 กิโลเมตร นอกจากนี้จำนวนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งมีค่าลดลงประมาณ 47 นาทีอีกด้วย ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้าลดประมาณ 4.9 %

4.4 ผลการทดสอบตัวแบบจำลอง VRP

แบบจำลอง VRP มีข้อแตกต่างจากแบบจำลอง TSP โดยแบบจำลอง VRP จะไม่มีการใช้ตารางการเดินรถมาเป็นตัวกำหนดสายรถที่ให้บริการ ทำให้ตัวแบบจำลองมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

จากข้อมูลการเดินรถทั้งหมด 35 วัน แบบจำลอง VRP สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้เฉลี่ยประมาณ 28 %



รูปที่ 4-7 ต้นทุนค่าขนส่งจริงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

ตารางที่ 4-5 ต้นทุนค่าขนส่งจริงเมื่อเปรียบเทียบกับต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP

วันที่	ต้นทุนค่าขนส่งจริง (บาท)	ต้นทุนค่าขนส่งจากการใช้ตัวแบบ VRP (บาท)	% ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง
1	8,684	5,104	41%
2	2,957	2,727	8%
3	2,893	2,864	1%
4	1,886	1,536	19%
5	2,186	1,557	29%
6	1,527	1,356	11%
7	2,800	2,698	4%
8	1,930	1,454	25%
9	1,987	1,337	33%
10	1,464	1,399	4%
11	2,903	2,691	7%
12	3,068	3,001	2%
13	6,219	2,610	58%
14	7,756	7,011	10%
15	10,045	3,494	65%
16	1,993	1,519	24%
17	1,956	1,448	26%
18	2,485	2,240	10%
19	1,026	889	13%
20	2,126	1,020	52%
21	2,382	2,066	13%
22	3,296	3,216	2%
23	1,478	1,095	26%
24	1,107	918	17%
25	1,873	1,623	13%
26	1,377	1,139	17%
27	5,983	2,496	58%
28	2,918	2,452	16%
29	2,215	2,030	8%
30	1,412	1,132	20%
31	2,802	2,617	7%
32	1,253	1,205	4%
33	2,287	2,181	5%
34	5,597	2,422	57%
35	2,217	2,083	6%
Total	**106,087**	**76,629**	**28%**

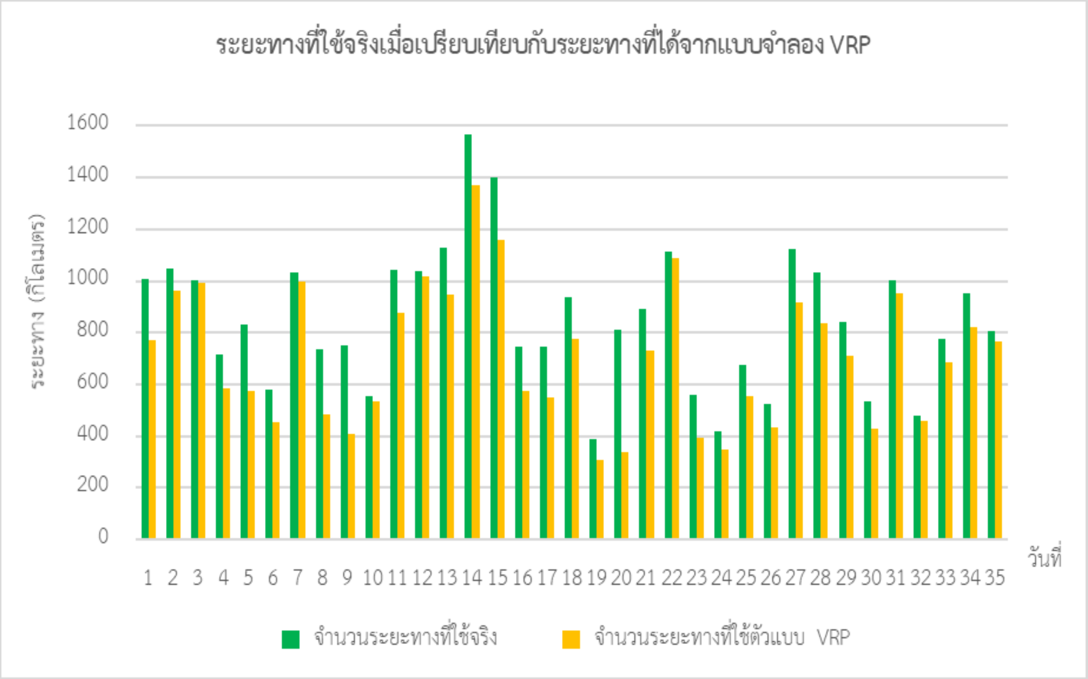
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.5 สาเหตุที่ทำให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลงจากการใช้ตัวแบบจำลอง VRP

เมื่อใช้ตัวแบบจำลอง VRP ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่ง จะส่งผลทำให้ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ามีค่าต่ำลง โดยสาเหตุของต้นทุนที่ลดลงเกิดจาก 2 ปัจจัย ได้แก่

1. ระยะทางที่ใช้ในการขนส่งสินค้าที่ลดลง ส่งผลให้ต้นทุนค่าน้ำมันลดลง

ต้นทุนค่าน้ำมันรถ เป็นองค์ประกอบที่สำคัญของต้นทุนค่าขนส่ง ซึ่งแปรผันตามระยะทางที่ใช้ในการเดินรถ โดยตัวแบบจำลอง VRP สามารถลดระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งลงได้จาก 29,830 กิโลเมตร เป็น 24,790 กิโลเมตร ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าน้ำมันรถลดลงประมาณ 17 %



รูปที่ 4-8 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง VRP

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 4-6 ระยะทางที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับระยะทางที่ได้จากแบบจำลอง VRP

วันที่	จำนวนระยะทางที่ใช้จริง (กิโลเมตร)	จำนวนระยะทางที่ใช้ตัวแบบ VRP (กิโลเมตร)	% ต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลง
1	1,010	772	24%
2	1,049	965	8%
3	1,005	994	1%
4	718	585	19%
5	832	577	31%
6	581	453	22%
7	1,032	999	3%
8	735	486	34%
9	750	409	45%
10	557	533	4%
11	1,044	877	16%
12	1,039	1,016	2%
13	1,130	946	16%
14	1,569	1,372	13%
15	1,400	1,157	17%
16	747	574	23%
17	746	551	26%
18	940	775	18%
19	391	307	21%
20	809	339	58%
21	894	731	18%
22	1,115	1,089	2%
23	562	393	30%
24	421	349	17%
25	673	556	17%
26	524	434	17%
27	1,124	916	19%
28	1,034	835	19%
29	844	711	16%
30	537	431	20%
31	1,005	954	5%
32	478	459	4%
33	779	685	12%
34	950	824	13%
35	808	765	5%
Total	**29,830**	**24,815**	**17%**

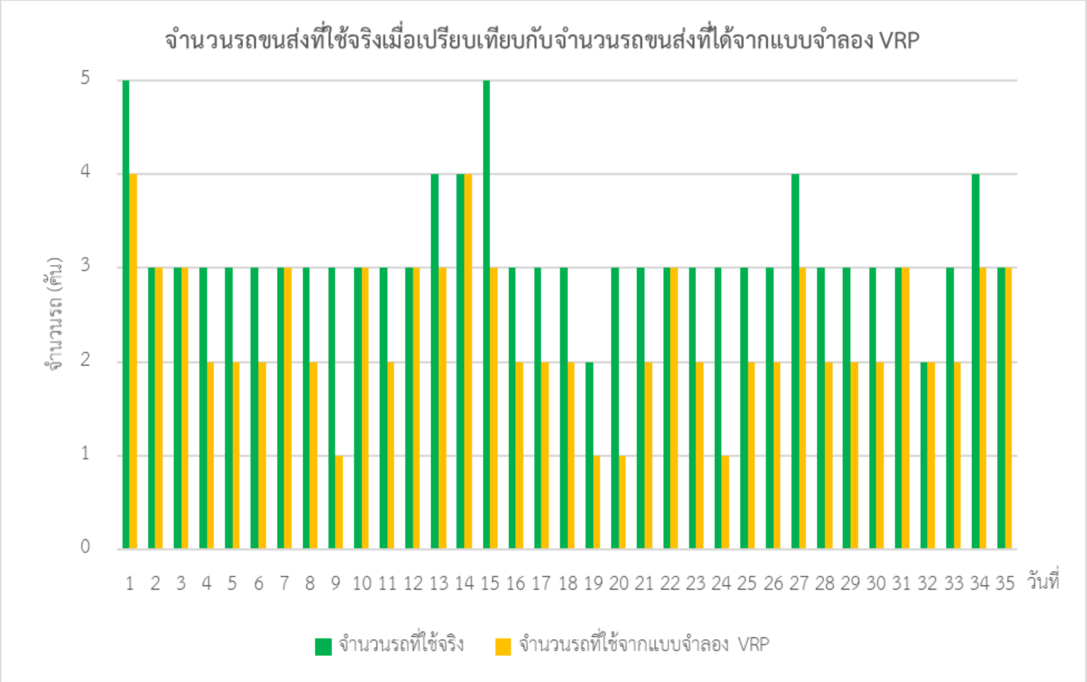
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

2. จำนวนรอบในการขนส่งลดลงทำให้ลดโอกาสการจ้างรถ Outsource

ต้นทุนการจ้างรถ Outsource เป็นอีกองค์ประกอบหนึ่งที่ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมมีค่าสูง ทั้งนี้ผู้วิจัยพบว่าแบบจำลอง VRP สามารถลดจำนวนรอบในการขนส่งลงได้ ส่งผลให้การใช้รถขนส่งมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

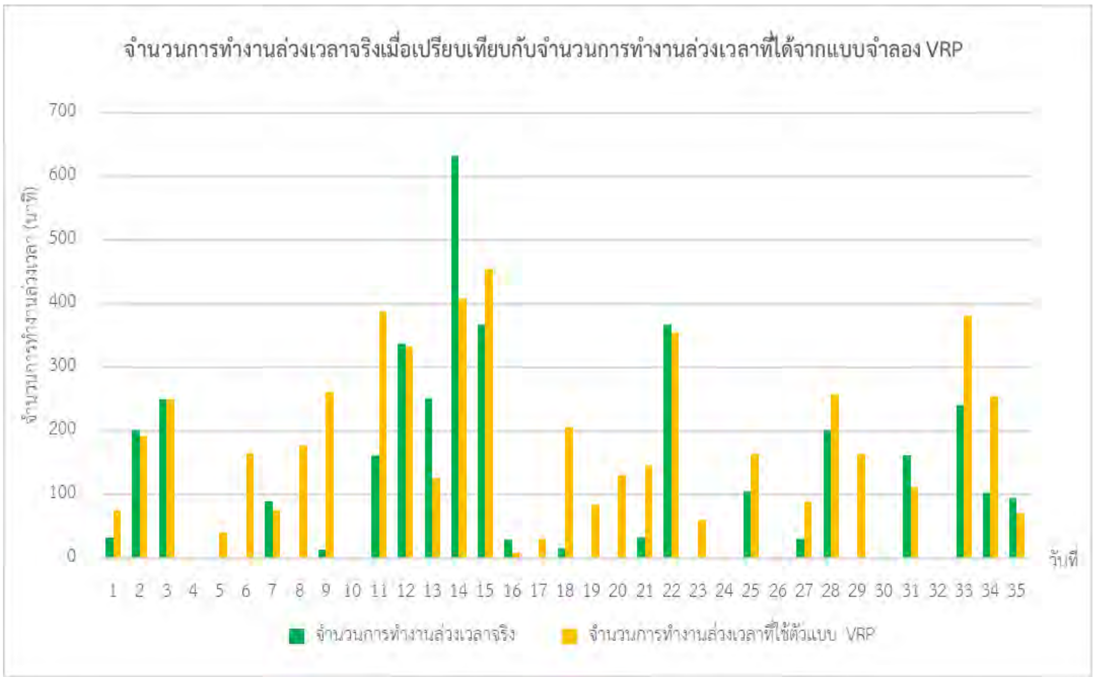
โดยแบบจำลอง VRP สามารถลดจำนวนรอบการเดินรถลงจาก 111 รอบ เหลือเพียง 82 รอบ ด้วยเหตุนี้จึงส่งผลทำให้จำนวนการจ้างรถ Outsource ลดลงไปด้วย (จากเดิมจ้าง 8 คัน เหลือเพียง 2 คัน) ซึ่งคิดเป็นทุนการจ้างรถ Outsource ที่ลดลงประมาณ 75 %

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-9 จำนวนรถขนส่งที่ใช้จริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนรถขนส่งที่ได้จากแบบจำลอง VRP

ในขณะเดียวกัน ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง (Overtime Cost) ซึ่งเป็นอีกหนึ่งองค์ประกอบที่สำคัญของต้นทุนค่าขนส่งกลับมีค่าเพิ่มสูงขึ้น โดยจากเดิมบริษัทต้องเสียต้นทุนการทำงานล่วงเวลาให้แก่พนักงานขนส่ง 3,730 นาที กลับมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 5,251 นาที เมื่อใช้เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ดังแสดงในรูปที่ 4-10 ซึ่งผลดังกล่าวอาจอนุมานได้ว่า การเพิ่มต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งมีความคุ้มค่ามากกว่าการการจ้างรถ Outsource



รูปที่ 4-10 จำนวนการทำงานล่วงเวลาจริงเมื่อเปรียบเทียบกับจำนวนการทำงานล่วงเวลาที่ได้จากแบบจำลอง VRP

4.6 ตัวอย่างผลที่ได้จากการทดสอบตัวแบบจำลอง VRP

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจ และเห็นภาพมากขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการวิเคราะห์รายละเอียดผลการทดสอบโดยเปรียบเทียบเส้นทางการเดินรถจริงของบริษัทกรณีศึกษา โดยจะขอยกตัวอย่างจากข้อมูลวันที่ 13 ซึ่งมีเส้นทางการเดินรถดังต่อไปนี้

4.6.1 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัทกรณีศึกษา

จากข้อมูลประวัติการเดินรถประจำวันที่ 13 บริษัทใช้รถขนส่งทั้งหมด 4 คัน โดยแบ่งเป็นรถขนส่งของบริษัท 3 คัน และรถขนส่งที่เกิดจากการจ้างรถ Outsource 1 คัน ซึ่งรถแต่ละคันให้บริการลูกค้า ดังนี้

คันที่ 1 : 0 > 36 > 113 > 31 > 34 > 134 > 0

คันที่ 2 : 0 > 151 > 154 > 12 > 4 > 16 > 155 > 54 > 52 > 0

คันที่ 3 : 0 > 77 > 111 > 109 > 0

คันที่ 4 (Outsource) : 0 > 75 > 70 > 0

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 4-7 ข้อมูลเส้นทางการเดินรถวันที่ 13 ของบริษัทกรณีศึกษา

รถคันที่	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เวลาทำงานรวม (นาที)	จำนวนการทำงานล่วงเวลา (นาที)	น้ำหนักสินค้า (กิโลกรัม)	จำนวนลูกค้าที่ให้บริการ
1	226	455	0	1,040	8
2	527	791	251	1,021	3
3	262	462	0	338	5
4 (Outsource)	115	280	0	1,450	2

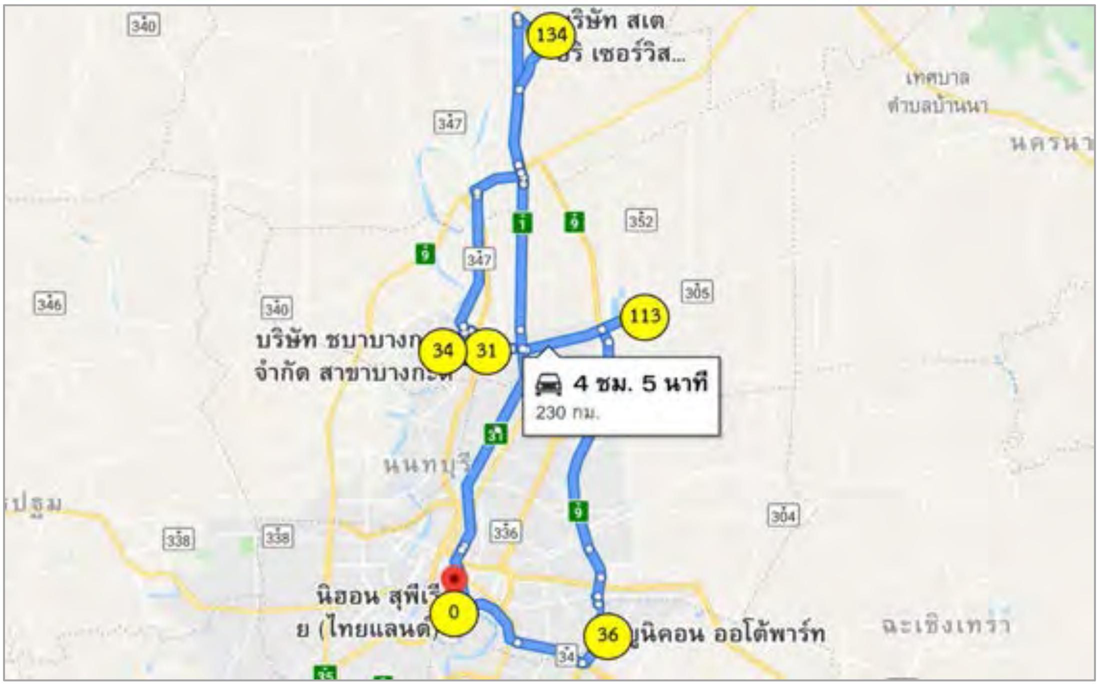
จากตารางที่ 4-7 จะเห็นได้ว่า เวลาทำงานรวมของพนักงานขนส่งทั้ง 3 คัน ต่างกันค่อนข้างมาก โดยรถคันที่ 2 ใช้เวลามากถึง 791 นาที ส่งผลทำให้เกิดต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง ในขณะที่รถคันที่ 4 ใช้เวลาเพียง 280 นาที เท่านั้น

ถ้าพิจารณาน้ำหนักสินค้าที่ต้องบรรทุกแล้ว จะเห็นได้ว่ารถคันที่ 4 ไม่สามารถเพิ่มจำนวนลูกค้าได้อีก เนื่องจากความสามารถในการบรรทุกสินค้าไม่เพียงพอ แต่ในขณะเดียวกันรถคันที่ 3 กลับมีความสามารถในการบรรทุกสินค้าเหลือมากกว่า 1,000 กิโลกรัม แสดงให้เห็นถึงความไม่สมดุลของภาระงานที่รถขนส่งแต่ละคันได้รับมอบหมาย

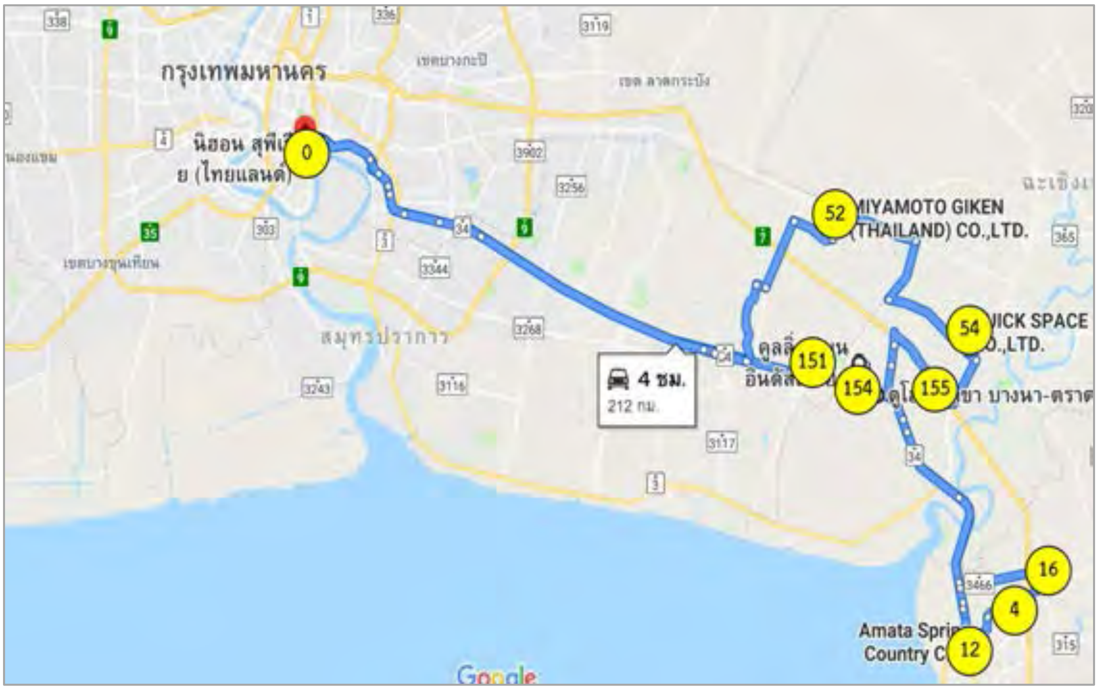
รูปที่ 4-11 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

รูปที่ 4-11 แสดงเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าในวันที่ 13 โดยเส้นทาง k1, k2, k3 เป็นการใช้รถของบริษัท และเส้นทาง k4 เป็นการจ้างรถ Outsource โดยจำนวนจุดหมายปลายทางที่ต้องไปส่งสินค้ามีตั้งแต่ 2 จุด ไปจนถึง 8 จุด

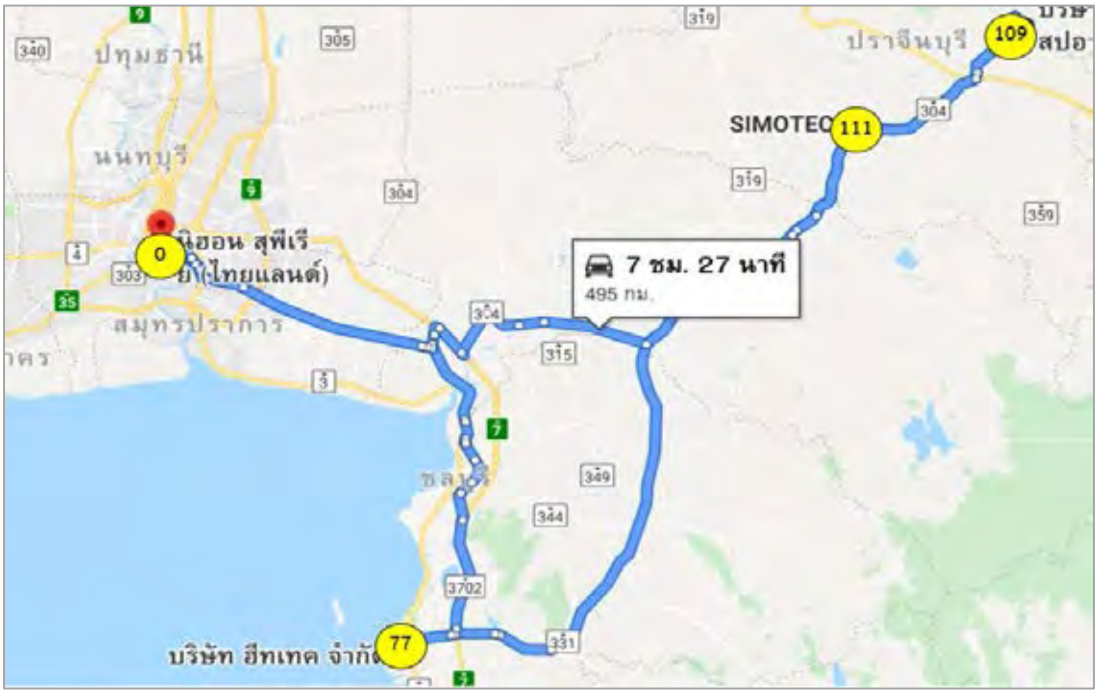


รูปที่ 4-12 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 1

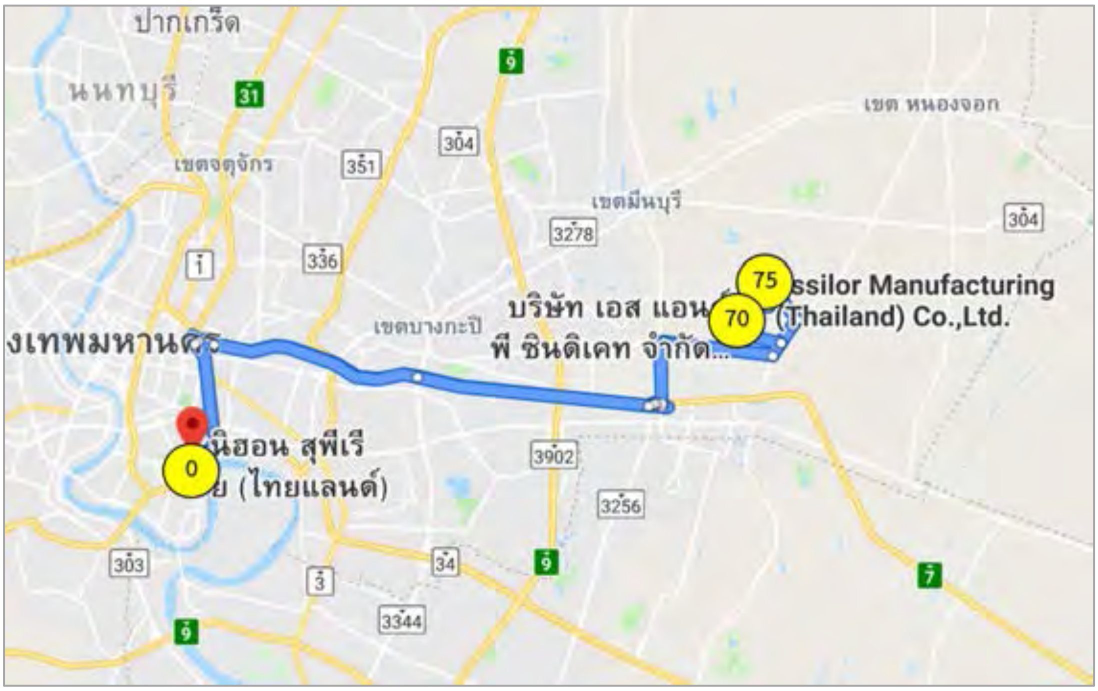


รูปที่ 4-13 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 2

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-14 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 3



รูปที่ 4-15 เส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท ในวันที่ 13 รถคันที่ 4

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.6.2 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากการใช้แบบจำลอง VRP

เมื่อนำแบบจำลอง VRP มาใช้ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ รวมทั้งการจัดกลุ่มสายรถ จะเห็นได้ว่ามีการปรับเปลี่ยนเส้นทางที่ใช้ในการเดินรถ รวมถึงลำดับในการส่งสินค้าให้กับลูกค้า ส่งผลทำให้จำนวนรถขนส่งที่ต้องใช้ลดลงจากเดิม 4 คัน เหลือเพียง 3 คันเท่านั้น

คันที่ 1 : 0 > 36 > 75 > 113 > 134 > 31 > 34 > 0

คันที่ 2 : 0 > 154 > 155 > 111 > 109 > 52 > 70 > 0

คันที่ 3 : 0 > 12 > 77 > 4 > 16 > 54 > 151 > 0

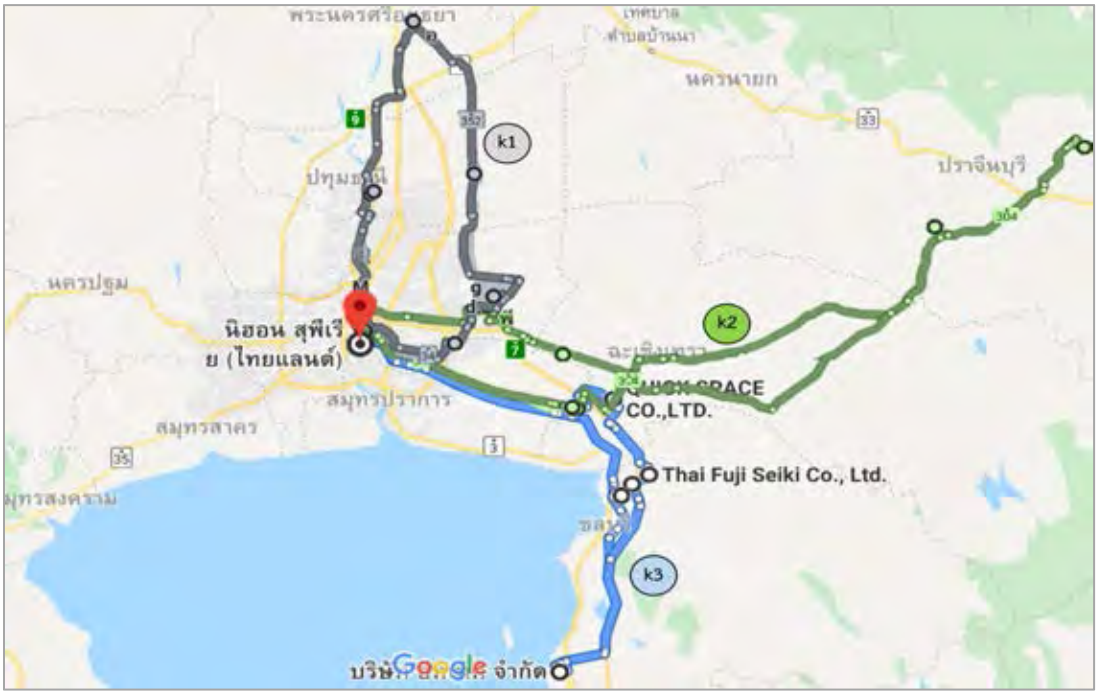
4100410879

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

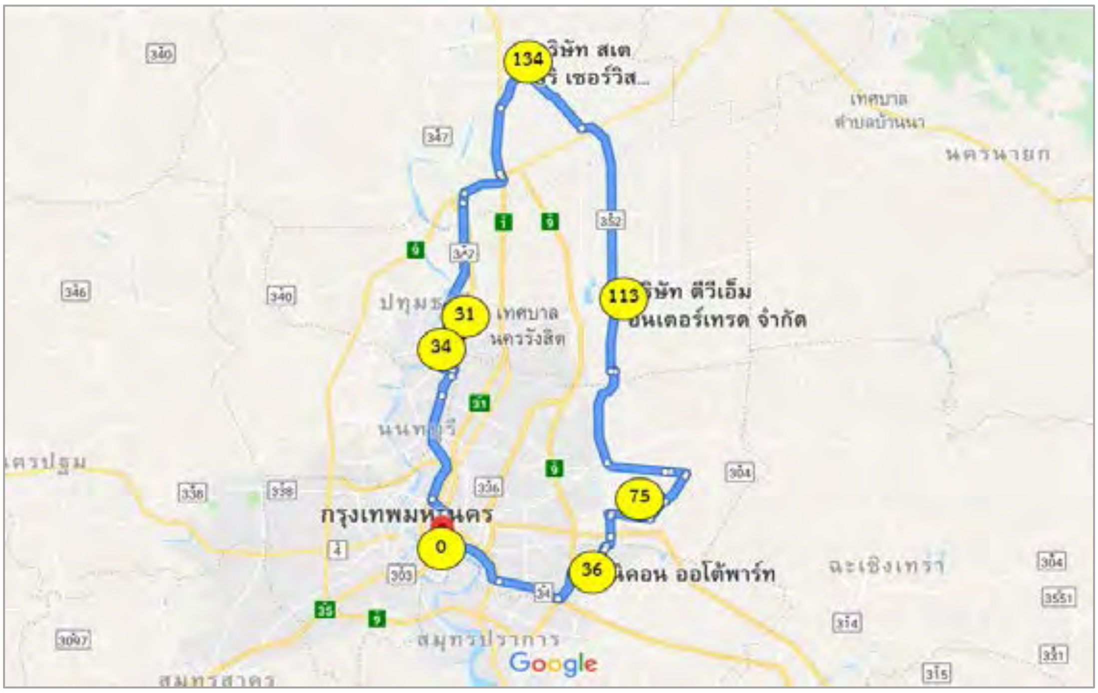
ตารางที่ 4-8 ข้อมูลเส้นทางการเดินรถวันที่ 13 ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง VRP

รถคันที่	**ระยะทางรวม (กิโลเมตร)**	**เวลาทำงานรวม (นาที)**	**จำนวนการทำงานล่วงเวลา (นาที)**	**น้ำหนักสินค้า (กิโลกรัม)**	**จำนวนลูกค้าที่ให้บริการ (จุด)**
1	216	481	0	1,138	6
2	274	492	0	1,273	6
3	455	747	207	1,438	6

ตารางที่ 4-8 แสดงข้อมูลสรุปเส้นทางการเดินรถในวันที่ 13 ที่ได้จากการใช้แบบจำลอง VRP ซึ่งจะเห็นได้ว่าตัวแบบจำลอง VRP มีการออกแบบให้ภาระงานของรถแต่ละคันมีความสมดุลมากยิ่งขึ้น โดยสังเกตได้จากน้ำหนักบรรทุกของแต่ละคันมีค่าใกล้เคียงกัน ส่งผลทำให้รถบรรทุกสินค้าได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ตลอดจนสามารถลดการใช้รถขนส่งลงได้ 1 คัน ทำให้ไม่ต้องเสียต้นทุนการจ้างรถ Outsource ในที่สุด

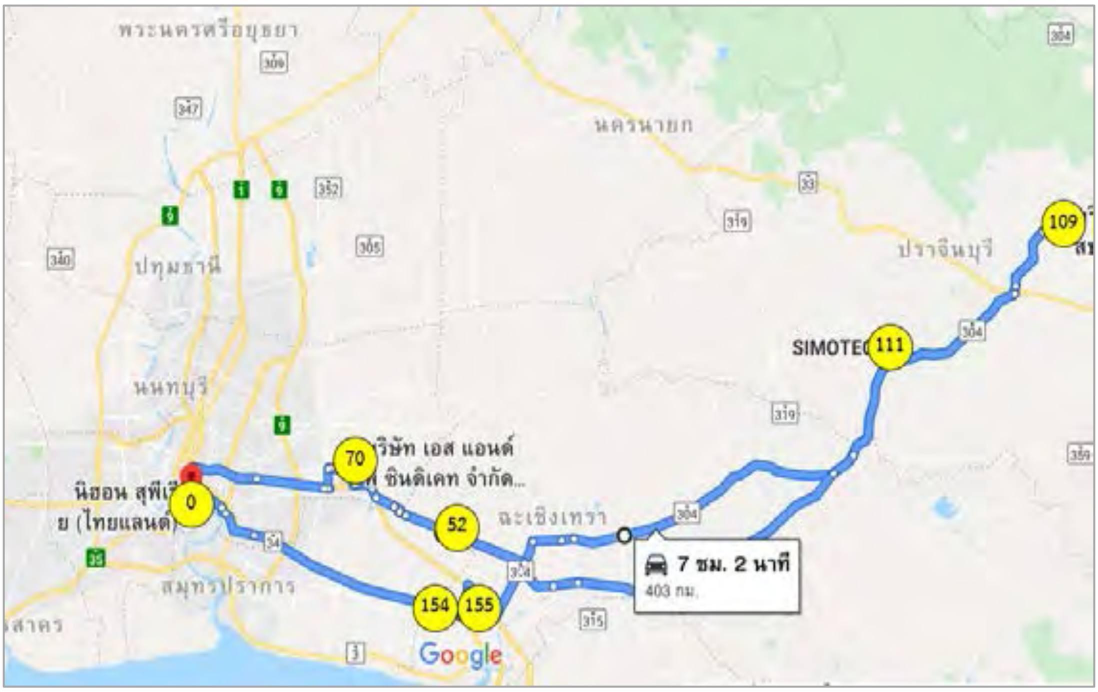


รูปที่ 4-16 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13

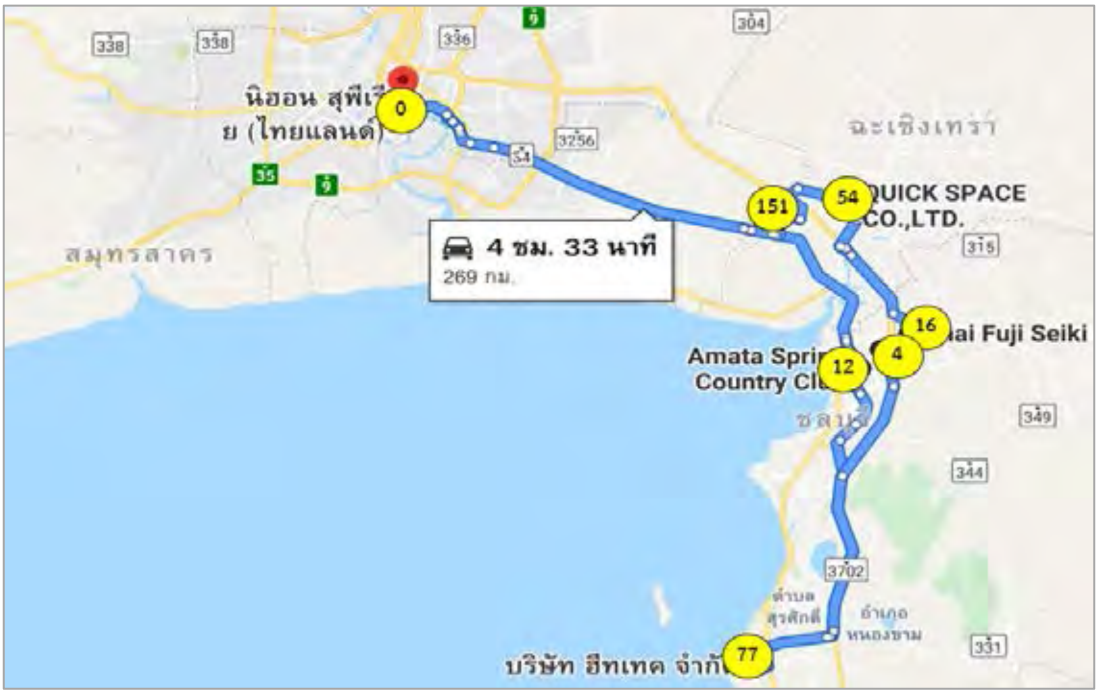


รูปที่ 4-17 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 1

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-18 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 2



รูปที่ 4-19 เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP ในวันที่ 13 รถคันที่ 3

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.6.3 ผลเปรียบเทียบระหว่างเส้นทางการเดินรถจริงของบริษัทกับเส้นทางที่ได้จากการใช้แบบจำลอง VRP

การนำตัวแบบจำลอง VRP มาใช้ในการออกแบบกลุ่มลูกค้าที่ให้บริการสำหรับรถขนส่งแต่ละคัน รวมถึงเส้นทางการเดินรถ ทำให้การเดินรถมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น และเมื่อทำการเปรียบเทียบเส้นทางการเดินรถจริงของบริษัท (รูปที่ 4-11) กับเส้นทางการเดินรถจากแบบจำลอง VRP (รูปที่ 4-16) จะเห็นได้ว่า เส้นทางการเดินรถใหม่มีความชัดเจนเป็นระเบียบมากขึ้น ไม่มีการเดินรถแบบกลับไปกลับมาอีก

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

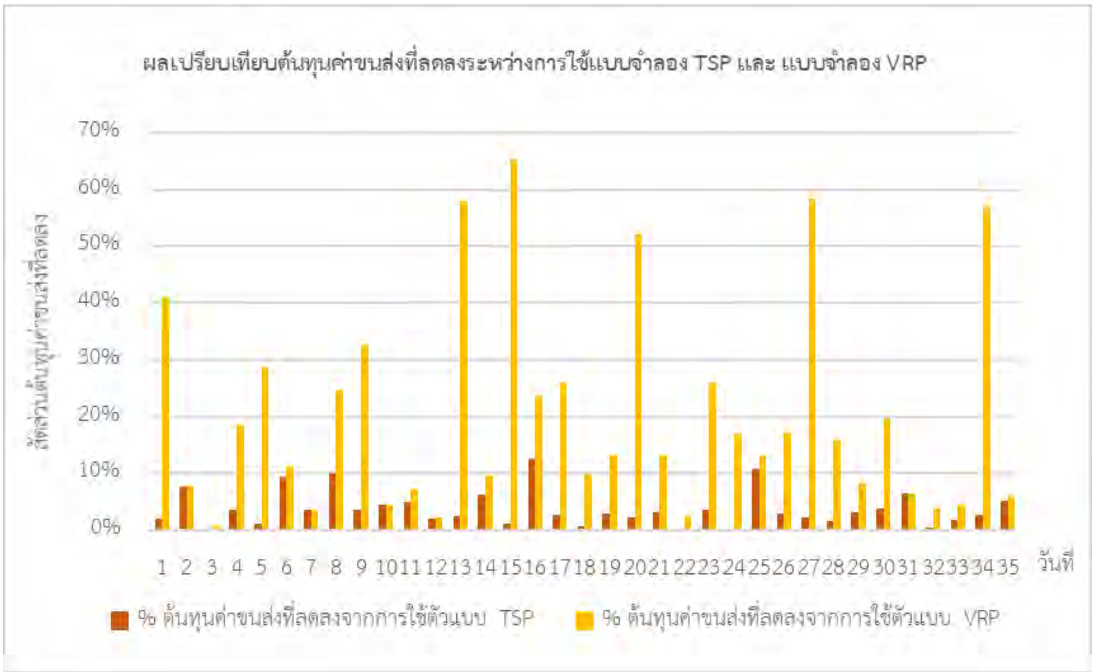
ตารางที่ 4-9 ผลเปรียบเทียบระหว่างการเดินรถจริงของบริษัทกับผลจากการใช้แบบจำลอง VRP

ข้อมูล	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เวลาทำงานรวม (นาที)	จำนวนรอบรถ (รอบ)
ข้อมูลจริงของบริษัท	29,830	52,580	110
ผลจากการใช้แบบจำลอง VRP	24,815	45,145	83
ผลต่าง	ลดลง 17%	ลดลง 14%	ลดลง 25%

จากตารางที่ 4-9 จะเห็นได้ว่าระยะทางรวมของเส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลอง VRP มีค่าต่ำกว่าระยะทางรวมจริงที่บริษัทใช้กว่า 17 % เนื่องจากมีการจัดกลุ่มและเลือกเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมมากขึ้น ส่งผลทำให้เวลาทำงานรวมของพนักงานขนส่งลดลงถึง 14 % นอกจากนี้จำนวนรอบรถในการส่งสินค้าก็มีค่าลดลงถึง 37 รอบ อีกด้วย

4.7 ผลเปรียบเทียบระหว่างผลลัพธ์ที่ได้จากตัวแบบจำลอง TSP และ ตัวแบบจำลอง VRP

ต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากการใช้แบบจำลอง TSP มีค่าลดลงเฉลี่ย 3.49 % และเนื่องจากแบบจำลอง VRP มีความยืดหยุ่นกว่าแบบจำลอง TSP จึงส่งผลทำให้แบบจำลอง VRP ช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้มากถึง 28 % (รูปที่ 4-20)



รูปที่ 4-20 ผลเปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งที่ลดลงระหว่างการใช้แบบจำลอง TSP และแบบจำลอง VRP

4.8 การศึกษาความเป็นไปได้ในการนำงานวิจัยไปใช้จริง

ผู้วิจัยได้มีโอกาสนำรูปแบบการแก้ปัญหาทั้งการใช้แบบจำลอง TSP และแบบจำลอง VRP รวมถึงผลการทดสอบแบบจำลองเข้าหารือกับผู้บริหารของบริษัท รวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องทั้งหมด โดยเฉพาะอย่างยิ่งพนักงานขนส่งของบริษัททั้ง 3 คัน เพื่อปรึกษาหารือถึงความเป็นไปได้ในการนำกระบวนการเหล่านี้ไปใช้ให้เกิดประโยชน์กับบริษัท ซึ่งได้รับความคิดเห็น ดังนี้

1. ควรปรับกระบวนการทำงานให้ง่ายที่สุด

เนื่องจากการออกแบบเส้นทางการเดินรถโดยโปรแกรมและตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เป็นเรื่องใหม่สำหรับเจ้าหน้าที่ฝ่ายโลจิสติกส์ บริษัทจึงให้ความเห็นว่าควรมีการปรับรูปแบบการบันทึกข้อมูลนำเข้า (Input Data) ให้ง่ายต่อการใช้งานมากขึ้น อีกทั้งไฟล์ข้อมูลนี้ ควรมีความสะดวกต่อการปรับปรุงหรือ แก้ข้อมูลนำเข้า ตลอดจนการกำหนดค่าตัวแปรต่างๆ ในกรณีที่มีการเปลี่ยนแปลงอีกด้วย

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

2. เส้นทางที่เลือกใช้มีความเหมาะสมต่อการทำงานจริง

เส้นทางที่แบบจำลอง VRP เลือกใช้ในการเดินรถส่วนใหญ่เป็นเส้นทางหลัก มีความซับซ้อนของเส้นทางน้อย ประกอบกับรถขนส่งของบริษัทมีลักษณะเป็นรถ 4 ล้อขนาดเล็ก ทำให้ไม่เกิดอุปสรรคหากต้องใช้เส้นทางลัดที่มีขนาดเล็กในบางครั้ง ซึ่งโดยภาพรวมแล้วพนักงานขนส่งค่อนข้างพอใจ หากต้องใช้เส้นทางการเดินรถที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการดำเนินงานจริง

3. บริษัทต้องหารือกับลูกค้าทุกรายในกรณีที่เลือกใช้แบบจำลอง VRP

เนื่องจากการใช้แบบจำลอง VRP ในการออกแบบเส้นทางเดินรถ จำเป็นต้องยกเลิกการใช้ตารางการเดินรถที่บริษัททำมีการตกลงร่วมกันกับลูกค้าไว้ ทำให้รถขนส่งรวมถึงเวลาที่เข้าไปขนส่งสินค้าเกิดความไม่แน่นอน ขึ้นอยู่กับจำนวนลูกค้าและจำนวนสินค้าที่ต้องส่งในวันนั้นๆ พนักงานขายของบริษัทจำเป็นต้องหารือกับลูกค้าก่อนที่จะนำกระบวนการนี้ไปใช้จริง

โดยสรุปแล้วทางบริษัทมีความสนใจในการนำรูปแบบและวิธีการนี้ไปประยุกต์ใช้จริง แต่ทั้งนี้การดำเนินการขึ้นอยู่กับการหารือและตกลงร่วมกันกับลูกค้า เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงนี้อาจส่งผลกระทบต่อการทำงานของลูกค้าบางราย ประกอบกับจำเป็นต้องมีการประเมินถึงความคุ้มค่าของการนำวิธีการเหล่านี้มาประยุกต์ใช้ เนื่องจากต้องมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและพัฒนาระบบ

4.9 ข้อเสนอ และแนวทางการปรับปรุงการดำเนินงานของบริษัทกรณีศึกษา

การเลือกวิธีการดำเนินงานให้เหมาะสมกับบริษัทนั้น จำเป็นต้องมีการพิจารณาถึงปัจจัยด้านต่างๆ ได้แก่ ความคุ้มค่าในการลงทุน ความพร้อมของอุปกรณ์และเครื่องมือ รวมไปถึงความพร้อมและทักษะของพนักงานผู้ปฏิบัติงาน ซึ่งผู้วิจัยได้เสนอแนวทางในการดำเนินงาน 2 รูปแบบ ดังนี้

4.9.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

4.9.2 การประยุกต์ใช้วิธีการอย่างง่าย

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

4.9.1 การประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การออกแบบเส้นทางการเดินรถโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สามารถการันตีได้ว่าผลลัพธ์ที่ได้ดีที่สุดเสมอ ดังนั้นหากบริษัทกรณีศึกษาต้องการนำแบบจำลองทางคณิตศาสร์นี้ไปประยุกต์ใช้จริง จำเป็นต้องทำการทบทวนรูปแบบของข้อมูลนำเข้า (Input Data) การตั้งค่าพารามิเตอร์ (Parameter Setting) เนื่องจากงานวิจัยเล่มนี้ เกิดจากการนำข้อมูลจริงเพียงบางส่วนมาประยุกต์ใช้ อีกทั้งผู้วิจัยยังมีการตั้งสมมติฐานต่างๆ เพื่อลดความซับซ้อนของปัญหา

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

นอกจากนี้เพื่อให้ตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยขอเสนอแนวทางการพัฒนางานวิจัยในอนาคต ดังนี้

1. เพิ่มข้อมูลนำเข้าด้านความหนาแน่นของการจราจร

   ปัจจุบันตัวแบบจำลองตัดสินใจเลือกเส้นทางจากระยะทางที่สั้นที่สุด (Shortest Path) ระหว่างจุดใดๆ เท่านั้น โดยมีสมมติฐานว่ารถขนส่งใช้ความเร็วในการเดินรถเท่ากันตลอดเส้นทาง ทำให้ระยะเวลาที่ใช้ในการเดินทางมีค่าคงที่ ซึ่งในความเป็นจริงความหนาแน่นของการจราจรส่งผลโดยตรงต่อเวลาที่ใช้ในการเดินทาง โดยเฉพาะในเมืองที่มีการจราจรติดขัดจะทำให้ใช้ระยะเวลาในการเดินทางมากยิ่งขึ้น การเพิ่มปัจจัยดังกล่าวเข้ามาจะทำให้ผลลัพธ์ที่ได้จะมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

2. ปรับตัวแบบจำลองให้สามารถเกลี่ยงานและแนะนำวันที่ควรไปส่งสินค้าได้ เพื่อลดโอกาสการจ้างรถ Outsource และการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง

   หากปริมาณงานที่ต้องส่งสินค้าในวันนั้นๆ สูงจนเกินความสามารถของบริษัท บริษัทจำเป็นต้องจ้างรถ Outsource เพื่อช่วยในการขนส่ง แต่หากเราปรับแบบจำลองให้สามารถแนะนำวันที่ไปส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ เช่น แนะนำให้ไปส่งสินค้าให้กับลูกค้า A ล่วงหน้า 1 วัน เนื่องจากต้องจ้างรถ Outsource หากไปส่งสินค้าในวันเดิมที่กำหนดไว้ ซึ่งจะทำให้มีโอกาสลดต้นทุนการจ้างรถ Outsource และต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่งลงได้

การนำตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นเครื่องมือในการออกแบบเส้นทางการเดินรถนั้น การันตีได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทจะมีค่าต่ำที่สุด หากแต่การดำเนินการดังกล่าวอาจส่งผลกระทบต่อกระบวนการทำงานของพนักงานโลจิสติกส์อย่างมาก เนื่องจากเป็น

กระบวนการทำงานใหม่ พนักงานต้องใช้เวลาในการเรียนรู้ และเข้าใจวิธีการทำงานของตัวแบบจำลอง วิธีการใช้โปรแกรม รวมถึงต้องศึกษาวิธีการเปลี่ยนแปลงรูปแบบของข้อมูลนำเข้า และการปรับค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เพื่อให้ข้อมูลถูกต้องและเป็นปัจจุบัน ในกรณีที่บริษัทไม่สามารถนำวิธีการดังกล่าวมาปรับใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพในการทำงานจริง ผู้วิจัยจึงขอเสนอวิธีการอย่างง่ายเพื่อช่วยในการจัดสายรถ ดังแสดงในหัวข้อถัดไป

4.9.2 การประยุกต์ใช้วิธีการอย่างง่าย

เพื่อช่วยให้พนักงานโลจิสติกส์สามารถดำเนินการจัดเส้นทางการเดินรถได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น และสามารถดำเนินการได้โดยง่าย ผู้วิจัยจึงขอเสนอวิธีการทำงานใหม่โดยใช้ Excel เป็นเครื่องมือ ซึ่งมีลำดับขั้นตอน ดังนี้

1. สรุปพิกัดลูกค้า และน้ำหนักของสินค้าที่ต้องส่ง
2. ใช้หลักการ Bin Packing (Best Fit Decreasing) เพื่อจัดสายรถ
3. ปรับเปลี่ยนสายรถของลูกค้าบางรายที่ได้จากข้อที่ 2 ให้เหมาะสมมากยิ่งขึ้น รวมถึงพิจารณาลำดับที่ในการขนส่งเพื่อให้ต้นทุนค่าขนส่งลดลง

เพื่อให้ผู้อ่านเข้าใจมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงขอยกตัวอย่าง และอธิบายขั้นตอนการทำงานอย่างละเอียด โดยขอยกตัวอย่างการออกแบบเส้นทางการเดินรถวันที่ 11 ดังนี้

1. สรุปพิกัดลูกค้าและน้ำหนักของสินค้าที่ต้องส่ง (Sheet 1)

   พนักงานโลจิสติกส์กรอกเลข Index น้ำหนักรวมของสินค้าในหน่วยกิโลกรัม และชื่อของลูกค้าที่ต้องไปส่งสินค้าในคอลัมน์ A, B และ C โดยพิกัดของลูกค้าในคอลัมน์ D และ E จะแสดงขึ้นโดยอัตโนมัติ (รูปที่ 4-21)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
1	Index	Demand(kg)	Name	Latitude	Longitude	Demand			
2	151	10	Wellgrow 4	13.583748	100.92897	10			
3	154	245	Wellgrow 8	13.568373	100.93213	245			
4	12	88	Amatanakorn 4	13.418739	101.0142	88			
5	4	120	Amatanakorn 1	13.439923	101.03368	120			
6	16	70	Amatanakorn 9	13.457817	101.06354	70			
7	155	300	Wellgrow 9	13.565076	100.94148	300			
8	54	150	Chachoengsao	13.601382	101.00036	150			
9	52	57	Chachoengsao	13.66929	100.91493	57			
10	0	0	NST	13.704373	100.54442	0			
11	77	1000	Laemchabang 1	13.083866	100.9048	1000			
12	111	5	Prachinburi 9	13.913995	101.57011	5			
13	109	16	Prachinburi 7	14.066168	101.83486	16			
14	36	8	Bangna 3	13.681087	100.71499	8			
15	113	5	Rangsit 3	14.017025	100.75296	5			
16	31	240	Bangkadi 6	13.978368	100.55824	240			
17	34	55	Bangkadi 9	13.982012	100.56479	55			
18	134	30	Rojana 8	14.320174	100.63953	30			
19	75	800	Ladkrabang 6	13.774371	100.78848	800			
20	70	650	Ladkrabang 1	13.762029	100.78272	650			

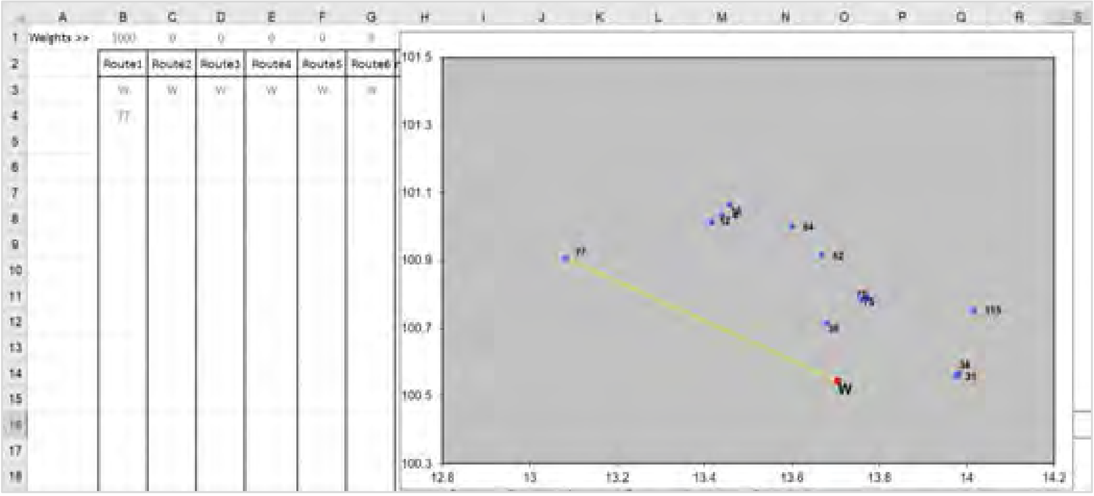
รูปที่ 4-21 พิกัดของลูกค้า และน้ำหนักสินค้าที่ต้องส่ง ประจำวันที่ 13

2. ใช้หลักการ Bin Packing (Best Fit Decreasing) เพื่อจัดสายรถ (Sheet 2)

Bin Packing Problem เป็นปัญหาการเติมสินค้าของลูกค้าลงกล่อง โดยใช้จำนวนกล่องน้อยที่สุด หลักการเลือกเติมสินค้านั้น จะเลือกสินค้าที่มีน้ำหนักมากที่สุดก่อน แล้วจึงเติมสินค้าที่มีน้ำหนักรองลงมา โดยรูปแบบการเติมสินค้ามีหลายประเภท ได้แก่ First Fit, Next Fit และ Best Fit โดยผู้วิจัยเลือกใช้วิธี Best Fit กล่าวคือ เลือกเติมสินค้าลงกล่องที่ส่งผลทำให้น้ำหนักรวมของกล่องนั้นใกล้เต็มมากที่สุด หากไม่สามารถเติมลงกล่องที่มีอยู่ได้ ให้ทำการเปิดกล่องถัดไป (El-Ashmawi & Elminaam, 2019) หากเปรียบเทียบกับงานวิจัยนี้จะเป็นการจัดสายรถ โดยเลือกเติมสินค้าของลูกค้าใส่รถขนส่งที่ส่งผลให้ขนาดบรรทุกของรถคันนั้นใกล้เต็มมากที่สุด

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

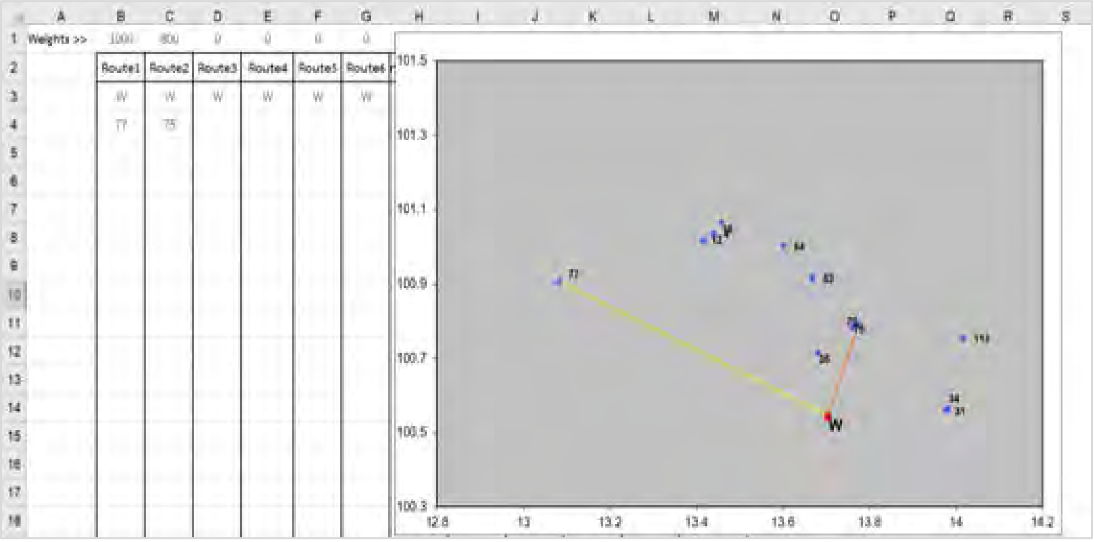
จากข้อมูลการสั่งซื้อสินค้าประจำวันที่ 11 เมื่อนำน้ำหนักรวมสินค้าของลูกค้าทุกรายมาจัดเรียงโดยเรียงจากมากที่สุดไปน้อยที่สุด จะได้ 77 > 75 > 70 > 155 > 154 > 31 > 54 > 4 > 12 > 16 > 52 > 34 > 134 > 109 > 151 > 36 > 111 > 113 จากนั้นจะเริ่มทำการเติมสินค้า โดยเริ่มจากนำลูกค้าที่มีน้ำหนักสินค้ามากที่สุด คือ ลูกค้าที่ 77 (Laemchabang 1) ใส่ลงใน Route 1 ดังแสดงในรูปที่ 4-22 โดย W หมายถึง คลังสินค้า



รูปที่ 4-22 วิธีการทำ Bin Packing (1)

เมื่อเติมสินค้าของลูกค้าที่ 77 แล้วจะเริ่มเติมสินค้าของลูกค้า 75 โดยพิจารณา Route ที่ทำให้น้ำหนักรวมสุดท้ายใกล้เต็มมากที่สุด จากรูปที่ 4-22 ปัจจุบัน Route 1 มีน้ำหนักรวมสินค้าอยู่ที่ 1,000 กิโลกรัม ในขณะน้ำหนักสินค้าของลูกค้าที่ 75 คือ 800 กิโลกรัม จึงไม่สามารถเติมลงใน Route 1 ได้ ดังนั้นจึงเลือกเติมใน Route 2 ดังแสดงในรูปที่ 4-23

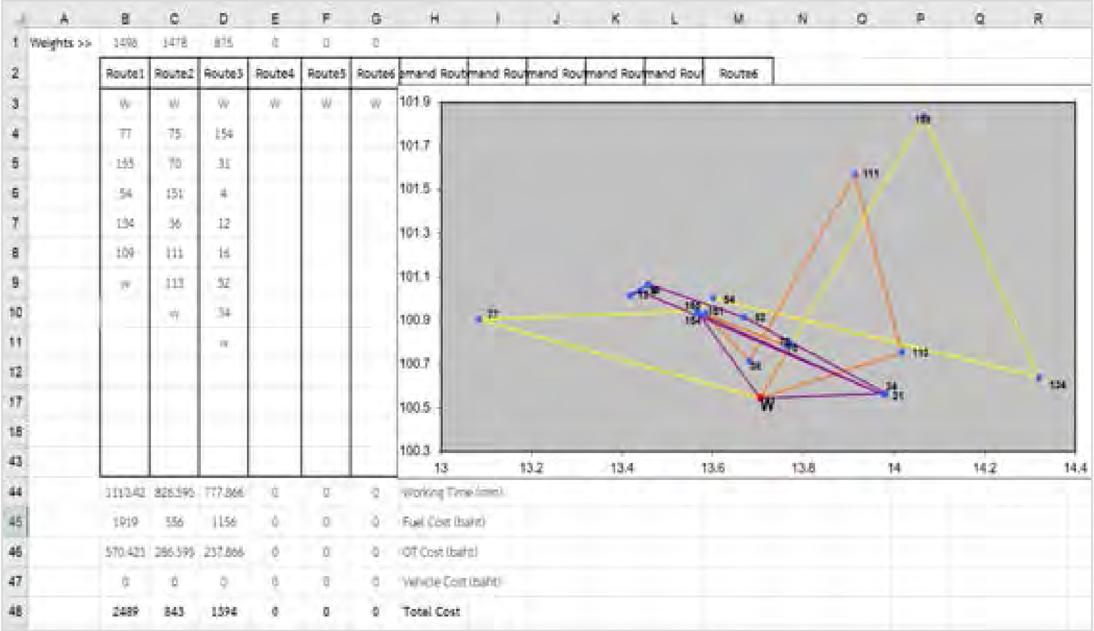
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-23 วิธีการทำ Bin Packing (2)

เมื่อทำการเติมสินค้าไปเรื่อยๆ จนครบทุกรายแล้ว จึงทำการเติมเต็มเส้นทางด้วยการต่อ W ในลำดับสุดท้ายเพื่อเป็นการจบงานที่คลังสินค้า ดังแสดงผลในรูปที่ 4-24

วิธีการดังกล่าวจะใช้รถขนส่งทั้งหมด 3 คัน โดยแต่ละคันมีน้ำหนักบรรทุกอยู่ที่ 1,496 กิโลกรัม, 1,478 กิโลกรัม และ 875 กิโลกรัม ตามลำดับ



รูปที่ 4-24 วิธีการทำ Bin Packing (3)

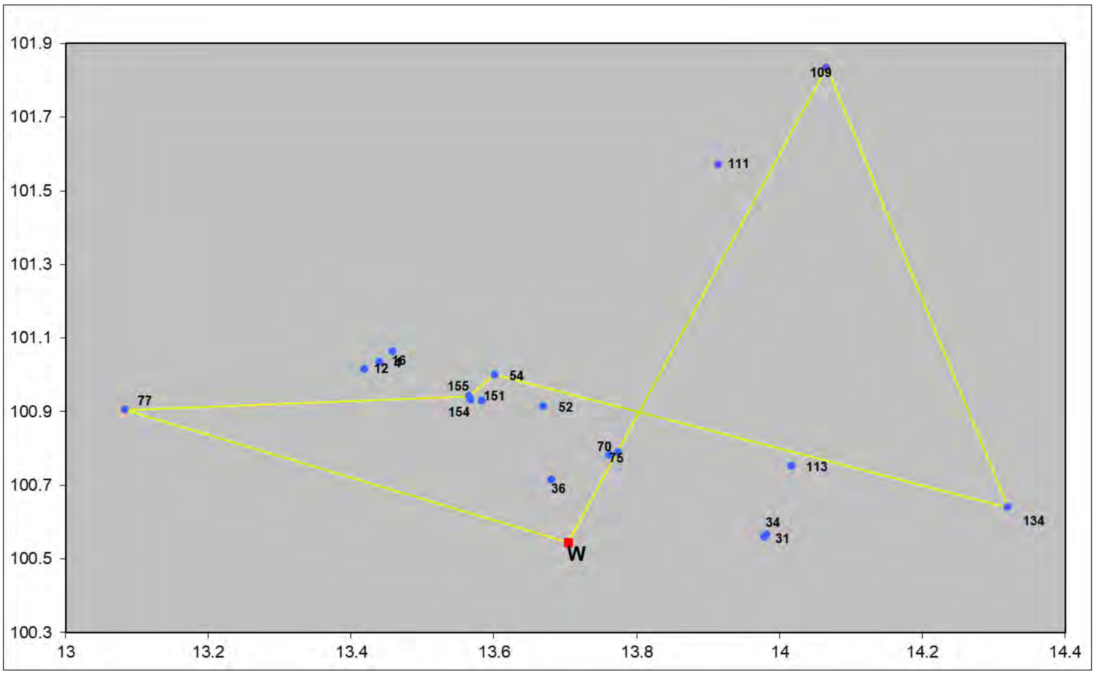
4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

การใช้หลักการ Bin Packing เป็นวิธีการช่วยจัดเรียงสินค้าขึ้นรถ เพื่อให้ใช้จำนวนรถน้อยที่สุด แต่ไม่ได้คำนึงถึงเส้นทางและลำดับที่ใช้ในการขนส่งสินค้า ดังนั้นพนักงานจะต้องทำการปรับสายรถและลำดับที่ได้อีกครั้งเพื่อให้มีความเหมาะสมในการดำเนินงานจริง

3. ปรับเปลี่ยนสายรถและลำดับที่ในการส่งสินค้าให้เหมาะสมมากขึ้น

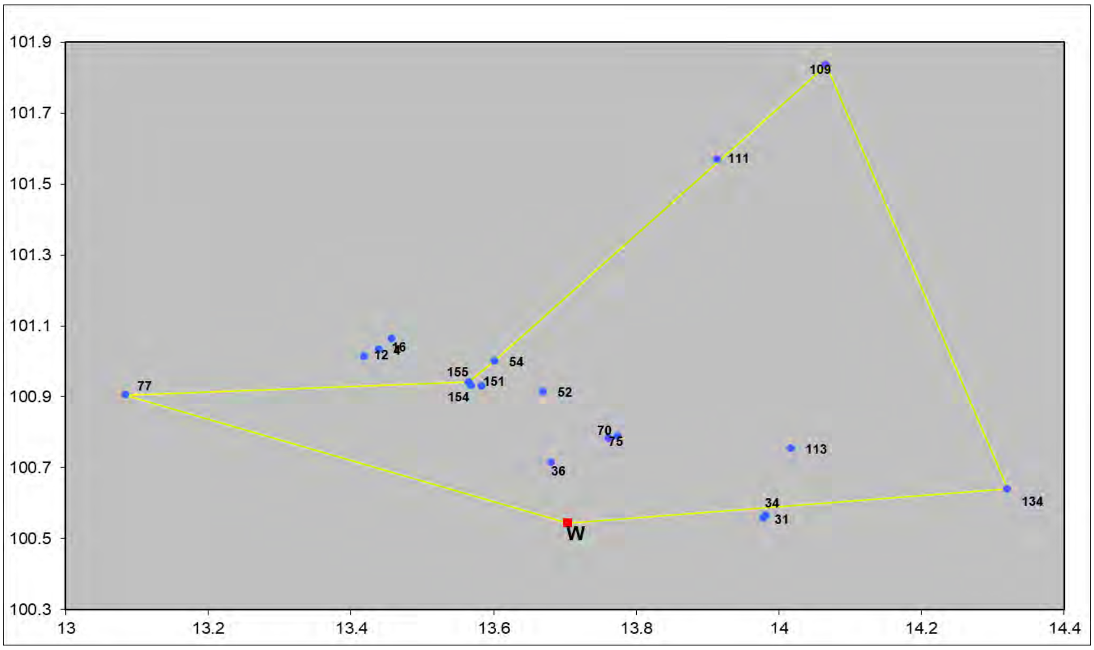
ผลของการทำ Bin Packing ในขั้นตอนที่ 2 จะเห็นได้ว่าลำดับที่ใช้ในการเดินรถขนส่งยังมีความซับซ้อนอยู่มาก ดังนั้นพนักงานโลจิสติกส์ต้องมีการปรับลำดับเพื่อความเหมาะสม หรืออาจปรับสายรถสำหรับลูกค้าบางราย

เพื่อให้ง่ายต่อการดำเนินการ ผู้วิจัยจึงทำการวิเคราะห์เส้นทางโดยละเอียด โดยเริ่มจาก Route 1 ซึ่งมีต้นทุนค่าขนส่งอยู่ที่ 2,489 บาท ซึ่งจะเห็นได้ว่า มีเส้นทางการเดินรถที่ซับซ้อนในช่วงของลูกค้ารายที่ 54 > 134 > 109 > w (รูปที่ 4-25) หากลองปรับลำดับที่ในการขนส่งเป็น 54 > 109 > 134 > w ต้นทุนค่าขนส่งจะลดลงเหลือ 2,001 บาท เนื่องจากระยะทางที่ลดลง ส่งผลทำให้ต้นทุนค่าน้ำมันรถ และจำนวนการทำงานล่วงเวลาลดลง (รูปที่ 4-26)



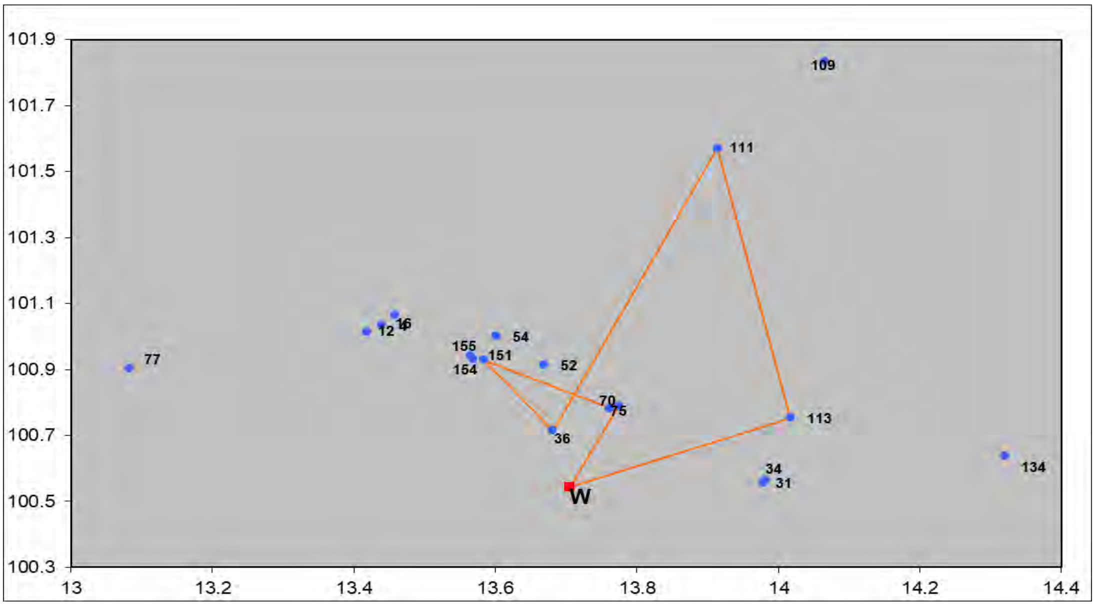
รูปที่ 4-25 เส้นทางของ Route 1 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



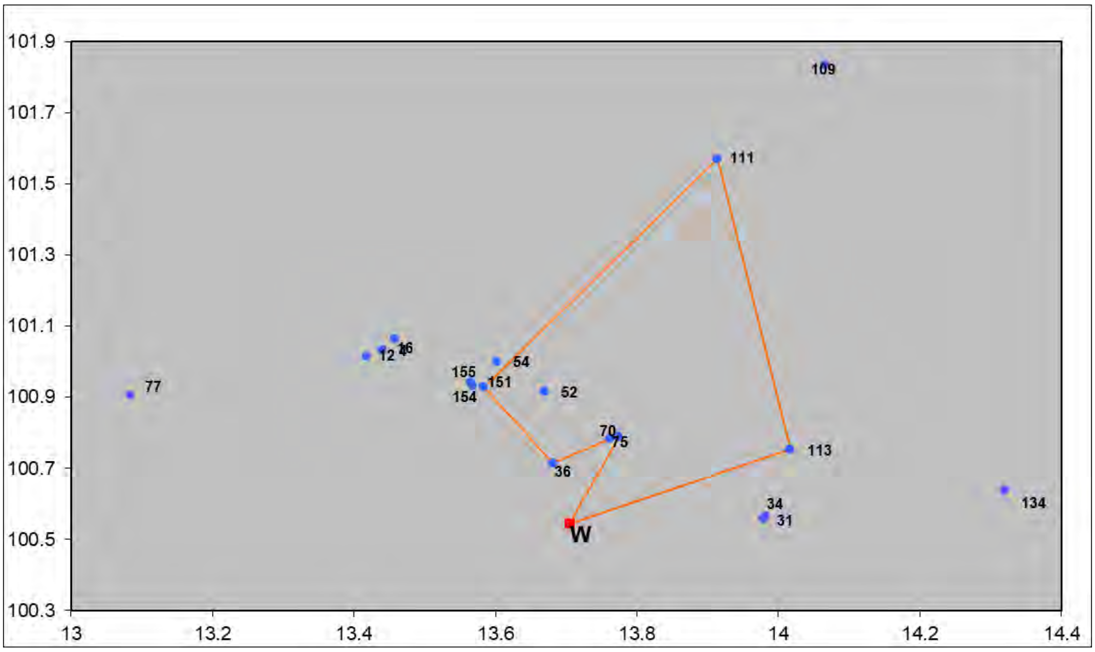
รูปที่ 4-26 เส้นทางของ Route 1 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง)

เมื่อพิจารณา Route 2 ซึ่งมีต้นทุนค่าขนส่งอยู่ที่ 843 บาท จะเห็นได้ว่ามีเส้นทางการเดินรถที่ซับซ้อนในช่วงของลูกค้ารายที่ 75 > 70 > 151 > 36 > 111 > w (รูปที่ 4-27) หากลองปรับลำดับในการขนส่งเป็น 75 > 70 > 36 > 151> 111 > w จะพบว่า ต้นทุนค่าขนส่งลดลงเหลือ 768 บาท (รูปที่ 4-28)



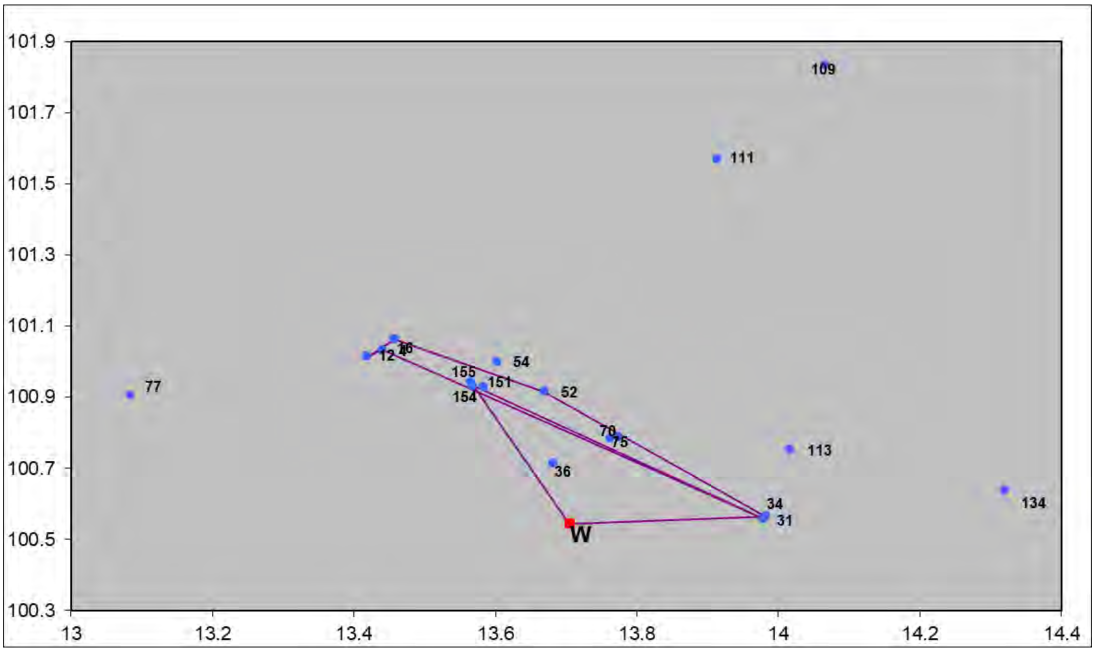
รูปที่ 4-27 เส้นทางของ Route 2 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



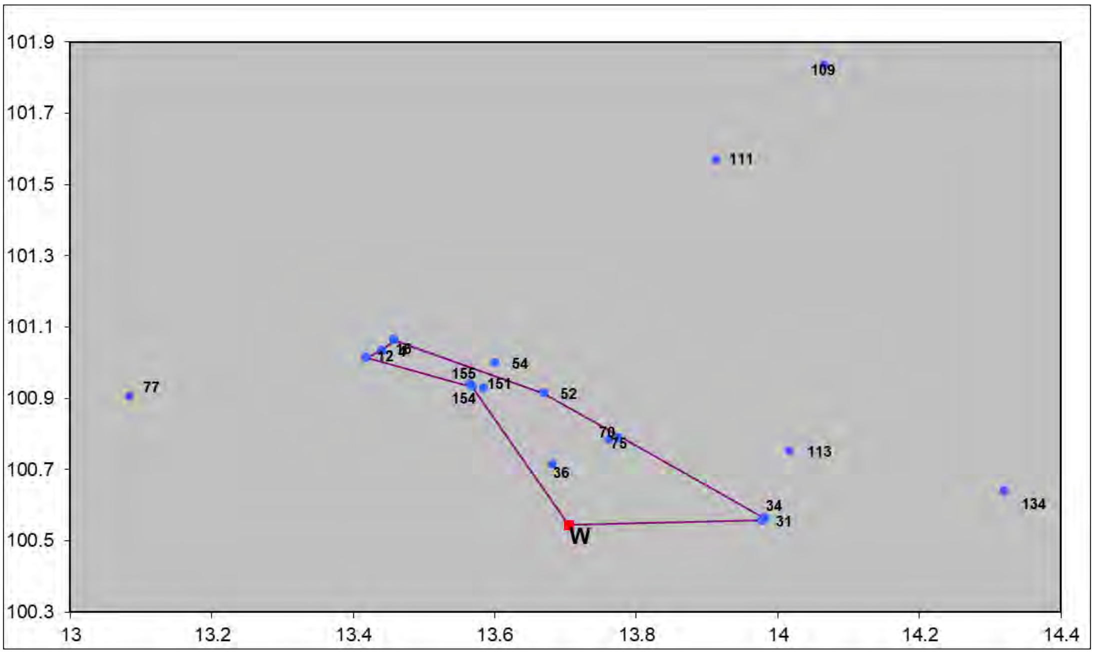
รูปที่ 4-28 เส้นทางของ Route 2 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง)

เมื่อสุดท้ายพิจารณา Route 3 ต้นทุนค่าขนส่งก่อนทำการปรับปรุงอยู่ที่ 1,394 บาท (รูปที่ 4-29) หลังทำการปรับปรุงต้นทุนค่าขนส่งจะลดลงมาอยู่ที่ 678 บาท (รูปที่ 4-30)



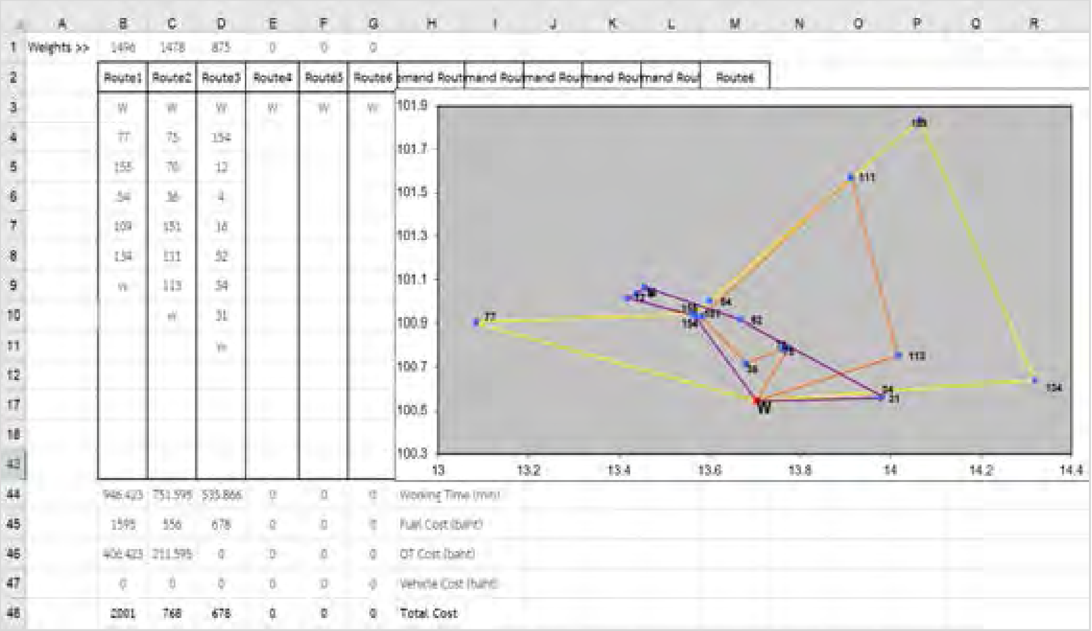
รูปที่ 4-29 เส้นทางของ Route 3 วันที่ 13 (ก่อนปรับปรุง)

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21



รูปที่ 4-30 เส้นทางของ Route 3 วันที่ 13 (หลังปรับปรุง)

เมื่อทำการปรับลำดับในการเดินรถแล้ว ต้นทุนค่าขนส่งโดยรวมของชุดข้อมูลวันที่ 13 จะลดลงจาก 4,726 บาท เหลือเพียง 3,447 บาท (รูปที่ 4-31)



	A	B	C	D	E	F	G	H
1	Weights >>	1496	1478	875	0	0	0	
2		Route1	Route2	Route3	Route4	Route5	Route6	
3		W	W	W	W	W	W	
4		77	75	154				
5		155	70	12				
6		54	36	4				
7		109	151	16				
8		134	111	52				
9		W	113	34				
10			W	31				
11				W				
44		946.423	751.595	535.866	0	0	0	Working Time (min)
45		1595	556	678	0	0	0	Fuel Cost (baht)
46		406.423	211.595	0	0	0	0	OT Cost (baht)
47		0	0	0	0	0	0	Vehicle Cost (baht)
48		2001	768	678	0	0	0	Total Cost

รูปที่ 4-31 เส้นทางเดินรถวันที่ 13 (หลังปรับปรุง)

วิธีการออกแบบเส้นทางการเดินรถอย่างง่ายนี้ จะช่วยให้พนักงานโลจิสติกส์สามารถทำงานได้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพมากขึ้น โดยต้นทุนค่าขนส่งที่ได้จากการใช้วิธีนี้ไม่สามารถการันตีได้ว่าเป็นต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำที่สุด แต่สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้มากกว่าการใช้แบบจำลอง TSP (ตารางที่ 4-10) เนื่องจากมีความยืดหยุ่นในการจัดสายการเดินรถ

ตารางที่ 4-10 เปรียบเทียบต้นทุนค่าขนส่งสินค้าในวันที่ 13 จากการใช้วิธีการต่างๆ

ต้นทุนค่าขนส่งจาก กระบวนการทำงานปัจจุบัน (บาท)	**ต้นทุนค่าขนส่งจาก แบบจำลอง TSP (บาท)**	**ต้นทุนค่าขนส่งจาก วิธีการอย่างง่าย (บาท)**	**ต้นทุนค่าขนส่งจาก แบบจำลอง VRP (บาท)**
6,219	6,067	3,447	2,610

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บทที่ 5
สรุปผลการดำเนินงาน

งานวิจัยการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งสำหรับตัวแทนจำหน่ายโลหะบัดกรีและลวดเชื่อมประสานนี้ เป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) มาช่วยในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ เพื่อลดต้นทุนค่าขนส่งของบริษัทลง ซึ่งต้นทุนค่าขนส่งประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก ดังนี้

1. ต้นทุนค่าน้ำมันรถ (Fuel Cost) เกิดจากการใช้รถขนส่งสินค้า โดยต้นทุนค่าน้ำมันรถนี้จะมีค่าแปรผันตามระยะทางรวมที่รถขนส่งใช้ในการขนส่งสินค้า
2. ต้นทุนการทำงานล่วงเวลาของพนักงานขนส่ง (Overtime Cost) เกิดจากการที่พนักงานขนส่งนำรถกลับไปเก็บที่บริษัทหลังจากส่งสินค้าเสร็จสิ้นแล้วเกินกว่าเวลาเลิกงานปกติ (17:00 น.) ทำให้บริษัทต้องจ่ายค่าจ้างทำงานล่วงเวลาแก่พนักงานดังกล่าว
3. ต้นทุนการจ้างรถขนส่งจากบริษัทภายนอก (Outsourcing Cost) เกิดขึ้นในกรณีที่ความสามารถในการบรรทุกสินค้าของรถขนส่งไม่เพียงพอ หรือรถขนส่งของบริษัทไม่สามารถส่งสินค้าให้กับลูกค้าได้ทันเวลา จึงจำเป็นต้องมีการจ้างรถขนส่งจากบริษัทภายนอกเพื่อส่งสินค้าให้กับลูกค้าบางรายแทน

การสร้างและทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการออกแบบเส้นทางการเดินรถขนส่งนี้ถูกแบ่งออกเป็น 2 ระยะ ได้แก่

1. การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Travelling Salesman Problem (TSP Model)
2. การทดสอบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Vehicle Routing Problem (VRP Model)

5.1 Travelling Salesman Problem Model

เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีการกำหนดตารางการเดินรถโดยแบ่งตามกลุ่มพื้นที่ของลูกค้าและรถขนส่งคันที่ให้บริการไว้แล้ว ประกอบกับในหนังสือสัญญาของลูกค้าบางรายมีการกำหนดวันที่ในการส่งสินค้าที่ชัดเจน เช่น บริษัท A จะได้รับสินค้าในวันจันทร์ เป็นต้น ผู้วิจัยจึงเริ่มออกแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยกำหนดปัญหาให้อยู่ในรูปแบบ Travelling Salesman Problem เพื่อไม่ให้ส่งผลกระทบต่อการขนส่งสินค้าแก่ลูกค้า

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

จากผลการทดสอบโดยใช้ข้อมูลการเดินรถย้อนหลังของบริษัทจำนวน 35 วัน (102 เที่ยว) พบว่า แบบจำลองดังกล่าวสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้เฉลี่ยประมาณ 3.49 % ของต้นทุนค่าขนส่งทั้งหมด ซึ่งจะเห็นได้ว่าต้นทุนค่าขนส่งมีค่าลดลงไม่มากนัก เนื่องจากมีการใช้ตารางการเดินรถเดิมมาเป็นเงื่อนไขในการออกแบบเส้นทางการเดินรถ จึงขาดความยืดหยุ่นในการออกแบบ และลดโอกาสในการประหยัดต้นทุนเพิ่มเติม

5.2 Vehicle Routing Problem Model

การกำหนดปัญหาในรูปแบบ Vehicle Routing Problem มีความยืดหยุ่นในการออกแบบเส้นทางการเดินรถมากยิ่งขึ้น เนื่องจากมีการทำลายข้อจำกัดด้านตารางการเดินรถลงไป

จากการทดสอบตัวแบบจำลองโดยใช้ข้อมูลการเดินรถย้อนหลังของบริษัทจำนวน 35 วัน พบว่าตัวแบบดังกล่าวสามารถช่วยลดต้นทุนค่าขนส่งลงได้มากถึง 28 % ของต้นทุนทั้งหมด ซึ่งถือว่าลดลงกว่าการใช้ตัวแบบจำลอง TSP ค่อนข้างมาก

ผู้วิจัยได้นำรูปแบบเส้นทางการเดินรถที่ได้จากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ทั้งในรูปแบบ TSP และ VRP เข้าหารือกับบริษัทกรณีศึกษาถึงความเป็นไปได้ในการนำไปใช้ โดยผู้วิจัยได้เสนอให้บริษัทเลือกใช้การออกแบบเส้นทางการเดินรถในรูปแบบ VRP Model เนื่องจากสามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ดีกว่า TSP Model ทั้งนี้ ทางบริษัทได้ให้ความคิดเห็นว่ามีความเป็นไปได้ที่จะนำเอาหลักการจากงานวิจัยนี้มาประยุกต์ใช้ในการทำงานจริงต่อไป

5.3 ข้อจำกัดของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

การใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการออกแบบเส้นทางการเดินรถเพื่อให้เกิดต้นทุนค่าขนส่งที่ต่ำที่สุดนั้น มีข้อดี คือ ผลลัพธ์ที่ได้จะเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดเสมอ (Optimal Solution) หากแต่มีข้อจำกัดในการใช้งานเช่นกัน

ระยะเวลาที่ใช้ในการคำนวณเพื่อหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เป็นหนึ่งในข้อกำจัดที่สำคัญ เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เปลี่ยนรูปแบบของปัญหาต่างๆ ออกมาให้อยู่ในรูปของสมการหรืออสมการคณิตศาสตร์ ยิ่งรูปแบบปัญหามีความซับซ้อน หรือมีปริมาณข้อมูลนำเข้ามากเท่าใด ก็จะส่งผลทำให้ต้องใช้เวลาในการหาคำตอบนานมากขึ้นเท่านั้น จากการทดสอบความสามารถในการคำนวณของตัวแบบจำลองทางคณิตศาสตร์พบว่า ตัวแบบใช้เวลาในการคำนวณค่อนข้างนาน เมื่อจำนวนจุดลูกค้าที่ต้องให้บริการมากขึ้น และตัวแบบไม่จะสามารถคำนวณหาผลลัพธ์ได้ เมื่อมีจำนวนจุดลูกค้าที่ต้องให้บริการเกิน 30 จุดขึ้นไป

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

ตารางที่ 5-1 ระยะเวลาที่ตัวแบบจำลอง VRP ใช้ในการคำนวณ

วันที่	เวลารัน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	จำนวนลูกค้าที่ให้บริการ (จุด)	วันที่	เวลารัน (ชั่วโมง:นาที:วินาที)	จำนวนลูกค้าที่ให้บริการ (จุด)
1	0:36:45	17	19	0:00:48	10
2	0:50:19	14	20	0:00:33	10
3	0:51:32	12	21	0:00:32	10
4	0:07:55	15	22	0:01:38	12
5	0:00:29	11	23	2:52:00	17
6	0:01:05	13	24	2:38:00	3
7	0:00:31	11	25	0:01:24	13
8	2:36:00	18	26	0:00:30	11
9	0:30:41	9	27	2:21:00	16
10	0:00:24	11	28	0:01:16	11
11	0:24:24	13	29	0:00:50	12
12	0:00:59	13	30	0:00:25	12
13	2:47:00	18	31	0:08:24	15
14	2:33:00	19	32	0:01:30	11
15	2:58:00	23	33	2:47:00	17
16	0:00:26	9	34	2:28:00	21
17	0:00:40	13	35	2:55:00	24
18	0:00:31	11	**เฉลี่ย**	**0:52:33**	

ผู้วิจัยได้ทำการบันทึกเวลาที่ใช้ในการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 5-1 ซึ่งจะเห็นได้ว่า ชุดข้อมูลที่ใช้เวลาในการคำนวณมากที่สุด 3 อันดับแรก ได้แก่ ชุดข้อมูลวันที่ 15 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการ 23 จุด ใช้เวลาในการคำนวณ 2 ชั่วโมง 58 นาที ลำดับถัดมาเป็นชุดข้อมูลวันที่ 35 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการ 24 จุด ใช้เวลาในการคำนวณ 2 ชั่วโมง 55 นาที และสุดท้ายเป็นข้อมูลวันที่ 23 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการ 17 จุด ใช้เวลาในการคำนวณ 2 ชั่วโมง 52 นาที ในขณะที่ชุดข้อมูลที่ใช้เวลาในการคำนวณน้อยที่สุด คือ ชุดข้อมูลวันที่ 10 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าที่ต้องให้บริการ 11 จุด และใช้เวลาในการคำนวณเพียง 24 วินาที

นอกจากข้อจำกัดในด้านเวลาแล้ว ยังมีข้อจำกัดในด้านต้นทุน เนื่องจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์จำเป็นต้องใช้โปรแกรมช่วยคำนวณ ซึ่งมีค่าใช้จ่ายในการติดตั้งและพัฒนา ดังนั้นผู้ประกอบการจึงต้องคำนึงถึงเรื่องดังกล่าวด้วย

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

บรรณานุกรม

Akhtar, M., Hannan, M. A., Begum, R. A., Basri, H., & Scavino, E. (2017). Backtracking search algorithm in CVRP models for efficient solid waste collection and route optimization. *Waste Management,* 61, 117-128.

Arora, K., Agarwal, S., & Tanwar, R. (2016). Solving TSP using Genetic Algorithm and Nearest Neighbour Algorithm and their Comparison. *International Journal of Scientific & Engineering Research,* 7(1), 1014-1018.

Bangxang, P. N., & Jarumaneeroj, P. (2018). Topological evolution of public transportation network: A case study of Bangkok rail transit network. *In* 2018 5*th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 410-414.

Caric, T., & Gold, H. (2008). Vehicle routing problem. *InTech*.

Dantzig, G. B., & Ramser, J. H. (1959). The Truck Dispatching Problem. *Management Science,* 6(1), 80-91.

El-Ashmawi, W. H., & Elminaam, D. S. A. (2019). A modified squirrel search algorithm based on improved best fit heuristic and operator strategy for bin packing problem. *Applied Soft Computing Journal,* 13.

Gross, W. F., Hayden, C., & Butz, C. (2012). About the impact of rising oil price on logistics networks and transportation greenhouse gas emission. *Logistics Research,* 4(3-4), 147-156.

Jaruphat, O., & Chaovalitwongse, P. (2013). Heuristic for Open Vehicle Routing Problem to Reduce Transportation Cost. *Engineering Journal,* 4(3).

Kirci, P. (2016). An optimization algorithm for a capacitated vehicle routing problem with time windows. *Sadhana,* 41(5), 519-529.

Kitisook, K., & Jarumaneeroj, P. (2017). A variable arc exchange heuristic for float glass manufacturing problems. *In* 2017 4*th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA),* 50-54.

Mehta, S. J., & Raut, N. N. (2016). CNC Milling Machining Optimization Using Genetic Algorithm. *International Journal of Engineering Science,* 3357.

Ouaarab, A., Ahiod, B., & Yang, X.-S. (2013). Discrete cuckoo search algorithm for the

4100410879

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

travelling salesman problem. *Neural Computing And Applications,* 24(7-8)*,* 24(7-8), 1659-1669.

Pollaris, H., Braekers, K., Caris, A., Janssens, G. K., & Limbourg, S. (2017). Iterated local search for the capacitated vehicle routing problem with sequence-based pallet loading and axle weight constraints. *Networks,* 69(3), 304-316.

Pontrakul, C., & Jarumaneeroj, P. (2018). Heuristic Based Scheduling for Tablets Film Coating Process. *In Proceedings of the* 2018 2*nd International Conference on Algorithms, Computing and Systems*, 238-242.

Reis, V. (2014). Analysis of mode choice variables in short-distance intermodal freight transport using an agent-based model. *Transportation Research Part A: Policy And Practice,* 61, 100-120.

Sanz, F. T., & Gómez, E. N. E. (2013). THE VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH LIMITED VEHICLE CAPACITIES. *INTERNATIONAL JOURNAL FOR TRAFFIC AND TRANSPORT ENGINEERING,* 3(3), 260-268.

Setak, M., Habibi, M., Karimi, H., & Abedzadeh, M. (2015). A time-dependent vehicle routing problem in multigraph with FIFO property. *Journal Of Manufacturing Systems,* 35, 37-45.

4100410879 CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21

CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21
4100410879

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นรีทิพย์ อติคุณธำรง
วัน เดือน ปี เกิด	31 สิงหาคม 2534
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร
วุฒิการศึกษา	จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ที่อยู่ปัจจุบัน	128/199 หมู่บ้านคาซ่าวิลล์พระราม2-2 ซอยพระราม2-50 ถนนพระราม2 แขวงแสมดำ เขตบางขุนเทียน กทม. 10150

4100410879
CU iThesis 6070930821 thesis / recv: 31072562 11:03:07 / seq: 21