การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถส่งของด้วย VEHICLE ROUTING PROBLEM: กรณีศึกษา บริษัทกรอบประตูหน้าต่าง

กลวัชร จารุพัฒน์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถส่งของด้วย VEHICLE ROUTING PROBLEM: กรณีศึกษา บริษัทกรอบประตูหน้าต่าง

กลวัชร จารุพัฒน์

งานนิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน
คณะโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยบูรพา
2567

ลิขสิทธิ์เป็นของมหาวิทยาลัยบูรพา

INCREASING EFFICIENCY OF DELIVERY ROUTING BY VEHICLE ROUTING PROBLEM: A CASE STUDY OF WINDOW AND DOOR FRAMES COMPANY

GONLAWAT JARUPAT

AN INDEPENDENT STUDY SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR MASTER DEGREE OF SCIENCE
IN LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT
FACULTY OF LOGISTICS
BURAPHA UNIVERSITY
2024

COPYRIGHT OF BURAPHA UNIVERSITY

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์และคณะกรรมการสอบงานนิพนธ์ได้พิจารณางานนิพนธ์ของ กลวัชร จารุพัฒน์ ฉบับนี้แล้ว เห็นสมควรรับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพาได้

คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก

.....

(ดร.พชร กิจจาเจริญชัย)

คณะกรรมการสอบงานนิพนธ์

..... ประธาน

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จุฑาทิพย์ สุรารักษ์)

..... กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชมพูนุท อ่ำช้าง)

..... กรรมการ

(ดร.พชร กิจจาเจริญชัย)

..... คณบดีคณะโลจิสติกส์

(รองศาสตราจารย์ ดร. ณกร อินทร์พยุง)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยบูรพา อนุมัติให้รับงานนิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ของมหาวิทยาลัยบูรพา

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

(รองศาสตราจารย์ ดร.วิทวัส แจ้งเอี่ยม)

วันที่.....เดือน.....พ.ศ.....

65920484: สาขาวิชา: การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน; วท.ม. (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน)
คำสำคัญ: การจัดเส้นทางเดินรถโดยมีข้อจำกัดด้านเวลา/ การลดต้นทุนการขนส่ง/ การจัดยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง

กลวัชร จารุพัฒน์ : การเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถส่งของด้วย VEHICLE ROUTING PROBLEM: กรณีศึกษา บริษัทกรอบประตูหน้าต่าง. (INCREASING EFFICIENCY OF DELIVERY ROUTING BY VEHICLE ROUTING PROBLEM: A CASE STUDY OF WINDOW AND DOOR FRAMES COMPANY) คณะกรรมการควบคุมงานนิพนธ์: พชร กิจจาเจริญชัย, Ph.D. ปี พ.ศ. 2567.

การเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า โดยมีข้อจำกัดด้านเวลาในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า การนำวิธีการจัดเส้นทางเดินรถจากเครื่องมือ VRP เข้ามาช่วยทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลง และยังสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ยานพาหนะส่งสินค้าได้ในเวลาเดียวกัน การศึกษาครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ใช้ข้อมูลความต้องการของลูกค้ารายวันย้อนหลัง จากฐานข้อมูลบริษัทกรณีศึกษาตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 เพื่อทำการวิเคราะห์และสรุปผล การสรุปผลงานวิจัยในครั้งนี้ ถูกดำเนินการโดยใช้วิธีเปรียบเทียบต้นทุนรวมของวิธีการจัดเส้นทางการเดินรถ ทั้งระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา กับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Heuristic ที่ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาในครั้งนี้ คือ 1) Sweep heuristic 2) Nearest neighbor heuristic และ Clarke-wright saving โดยผลจากการเปรียบเทียบต้นทุนรวม พบว่า การใช้วิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบ Clarke-wright savings สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้เป็นอย่างดี จากการศึกษา พบว่า ภายใน 88 วัน Clarke-wright savings ใช้ต้นทุนรวมทั้งสิ้น 1,684,953.35 บาท ในขณะที่วิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา ใช้ต้นทุนทั้งสิ้น 2,174,532.91 บาท เมื่อนำต้นทุนรวมของทั้ง 2 วิธีมาหาความแตกต่าง วิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบ Clarke-wright savings สามารถประหยัดต้นทุนให้บริษัทกรณีศึกษาได้ 489,579.55 บาท หรือคิดเป็น 22.51% ของการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม ภายในระยะเวลา 88 วัน ผู้วิจัยจึงเห็นว่า การนำวิธีการจัดเส้นทางรูปแบบ Clarke-wright savings มาปรับใช้กับบริษัทกรณีศึกษา สามารถทำให้บริษัทกรณีศึกษาได้รับประโยชน์สูงที่สุด ทั้งต้นทุนที่ใช้ในกิจกรรมการขนส่งที่ลดลง สามารถลำดับลูกค้าในเส้นทางได้จากเทคนิค VRP การเพิ่มประสิทธิภาพของการใช้พื้นที่บรรทุกของยานพาหนะ จากการใช้สมการทางคณิตศาสตร์

65920484: MAJOR: LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT; M.Sc. (LOGISTICS AND SUPPLY CHAIN MANAGEMENT)
KEYWORDS: ROUTE PLANNING WITH TIME CONSTRAINTS/ SAVING TRANSPORTATION COST/ MATCHING THE VEHICLETO THE ROUTE

GONLAWAT JARUPAT : INCREASING EFFICIENCY OF DELIVERY ROUTING BY VEHICLE ROUTING PROBLEM: A CASE STUDY OF WINDOW AND DOOR FRAMES COMPANY. ADVISORY COMMITTEE: PATCHARA KITJACHAROENCHAI, Ph.D. 2024.

Improving the efficiency of transportation route planning with time constraints for meeting customer demands, the application of Vehicle Routing Problem (VRP) tools can significantly reduce transportation costs and improve the utilization of delivery vehicles. This study utilized daily customer demand data from the case study company's database, spanning from May 1, 2023, to July 31, 2023, for analysis and conclusion. The research compared the total costs of the company's existing route planning methods with three heuristic routing methods studied by the researcher: Sweep Heuristic, Nearest Neighbor Heuristic, and Clarke-Wright Savings. The comparison revealed that the Clarke-Wright Savings method effectively improved the efficiency of the case study company. Over 88 days, the Clarke-Wright Savings method incurred a total cost of 1,684,953.35 Baht, while the company's traditional route planning method cost 2,174,532.91 Baht. The Clarke-Wright Savings method thus saved the company 489,579.55 Baht, representing a 22.51% cost reduction over the 88 days period. The researcher concludes that applying the Clarke-Wright Savings method can provide significant benefits to the case study company, including reduced transportation costs, optimized customer routing using VRP techniques, and enhanced vehicle load efficiency through the application of mathematical equations.

กิตติกรรมประกาศ

งานนิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ด้วยความกรุณาจาก ดร.พชร กิจจาเจริญชัย อาจารย์ที่ปรึกษาหลักในงานวิจัยครั้งนี้ ที่ได้ให้ความรู้ในเรื่องของการวางแผนการจัดเส้นทางเดินรถ ตลอดจนคำแนะนำ ข้อชี้แนะในการทำวิจัย จนทำให้งานนิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ และผู้วิจัยขอขอบคุณ นายพรรัตน์ หวังสนิทธรรม ที่สละเวลาเพื่อมาเป็นที่ปรึกษาทางด้านโปรแกรมมิ่ง

นอกจากนี้ ผู้วิจัยขอขอบพระคุณเจ้าของผลงานวิจัยทุกชิ้นที่ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาอ้างอิง เพื่อเป็นแนวทางในการทำงานวิจัยฉบับนี้ ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี

กลวัชร จารุพัฒน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สาราบัญตาราง ..... ฌ

สาราบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

ที่มาของความสำคัญและปัญหา 1

วัตถุประสงค์การวิจัย 4

ขอบเขตงานวิจัย 4

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 4

นิยามศัพท์เฉพาะ 5

บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

ทฤษฎีของการจัดเส้นทางเดินรถ 6

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถ 14

บทที่ 3 เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย 24

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย 24

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัย 25

การสร้างเครื่องมือเพื่อนำมาใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ 26

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง 29

บทที่ 4 ผลการวิจัย 30

ผลลัพธ์ของการดำเนินการเก็บรวมรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวบข้อมูล.....30
ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย .38
ผลลัพธ์ของการจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง.....41
ผลลัพธ์ที่แสดงต้นทุนรวมของแต่ละวิธีการรายวัน.....42
บทที่ 5 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ.....48
บทสรุปงานวิจัย.....48
ข้อเสนอแนะงานวิจัย.....50
บรรณานุกรม.....52
ประวัติย่อของผู้วิจัย.....55

สาราบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 การยกตัวอย่างประเภทของ Vehicle routing problem 9
ตารางที่ 2 สรุปงานวิจัยภายในประเทศ.....16
ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยต่างประเทศ.....20
ตารางที่ 4 ปริมาณยอดขายรายวันบางส่วนของบริษัทกรณีศึกษา.....31
ตารางที่ 5 ข้อมูลพิกัดและสถานที่ตั้งของลูกค้าและบริษัทกรณีศึกษา.....33
ตารางที่ 6 ตัวอย่างบางส่วนของ Distance matrix 35
ตารางที่ 7 ตัวอย่างบางส่วนของ Time matrix.....36
ตารางที่ 8 ความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะแต่ละประเภท 36
ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าแรงงาน 37
ตารางที่ 10 อัตราการบริโภคน้ำมันของยานพาหนะแต่ละประเภท 38
ตารางที่ 11 ผลลัพธ์ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถ ณ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566.....38
ตารางที่ 12 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการจัดประเภทยานพาหนะ ณ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566.....41
ตารางที่ 13 ต้นทุนรวมต่อวันของแต่ละวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ จำนวน 88 วัน 43
ตารางที่ 14 ต้นทุนรวมทั้ง 88 วัน ของทั้ง 4 รูปแบบการจัดเส้นทางเดินรถ.....47
ตารางที่ 15 ผลต่างของต้นทุนระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม กับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่นำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้ 48

สาราบัญภาพ

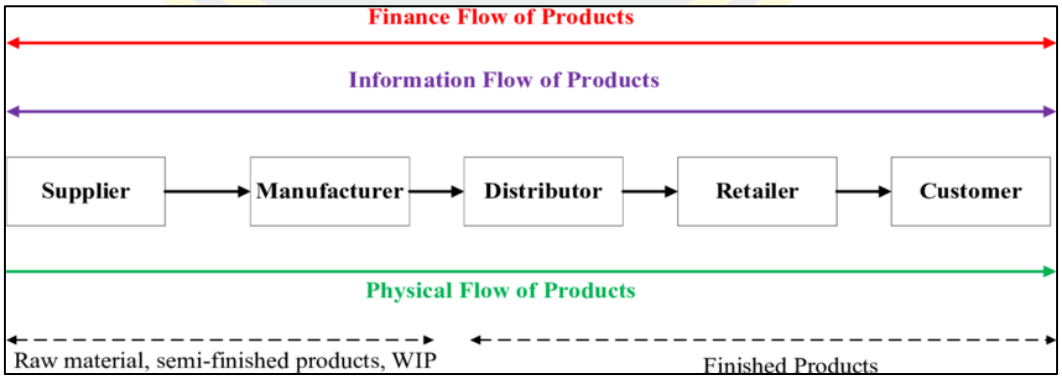
หน้า

ภาพที่ 1 การไหลของเงิน ข้อมูล และสินค้า....1
ภาพที่ 2 อัตราส่วนต้นทุนโลจิสติกส์กับ GDP ประเทศไทย....2
ภาพที่ 3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม....4
ภาพที่ 4 ตัวอย่างของ Traveling salesman problem....7
ภาพที่ 5 ตัวอย่างวิธีการหาคำตอบของ Vehicle routing problem....10
ภาพที่ 6 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Nearest neighbor heuristics....11
ภาพที่ 7 ข้อแตกต่างระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบเดิม (A) กับ Clarke-Wright savings (B)....12
ภาพที่ 8 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ด้วยวิธี Sweep heuristics....13
ภาพที่ 9 กระบวนการดำเนินการวิจัย....24
ภาพที่ 10 ปริมาณความต้องการของลูกค้าต่อวันของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566....32
ภาพที่ 11 ต้นทุนรวม จำนวน 88 วัน แบ่งตามวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ....46
ภาพที่ 12 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุดในแต่ละวัน....51

บทที่ 1
บทนำ

ที่มาของความสำคัญและปัญหา

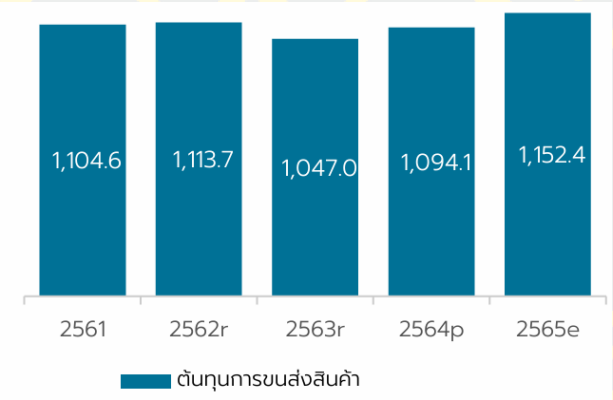
ที่มาของความสำคัญและปัญหาในช่วงระยะเวลาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2553 มาจนถึงปัจจุบัน การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทานในประเทศไทย ได้รับความสนใจและพัฒนาอย่างต่อเนื่อง มีการนำเทคนิคในการบริหารจัดการ รวมถึงเครื่องมือต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง เข้ามาช่วยในทุก ๆ กิจกรรม ที่มีความสำคัญกับโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน ไม่เพียงแต่กิจกรรมในการขนส่งเพียงอย่างเดียว แต่รวมไปถึงการรับสินค้า การเก็บสินค้า การแยกสินค้า โดยเป้าหมายของเทคนิคของการจัดการ และเครื่องมือต่าง ๆ ที่นำมาใช้ ล้วนมีเป้าหมายเดียวกัน คือ การเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงาน ซึ่งหากนำมาขยายความคำว่ามีประสิทธิภาพ ไม่ใช่เพียงแต่การทำอย่างไรก็ได้ให้ต้นทุนต่ำที่สุด แต่จะหมายถึง การใช้ต้นทุนให้เหมาะสมที่สุด ให้สัมพันธ์กับทรัพยากรที่มีอยู่ในช่วงเวลานั้น ๆ ต้นทุนในที่นี้ ไม่ใช่เพียงแต่ต้นทุนที่สามารถมองเห็นเป็นตัวเลขอย่างต้นทุนทางด้านการเงิน เพียงอย่างเดียว แต่รวมไปถึงต้นทุนในมิติด้านเวลาอีกด้วย ในปัจจุบัน หากมองกิจกรรมโลจิสติกส์ ที่เกิดขึ้น เพื่อทำหน้าที่ในการเชื่อมโซ่อุปทานตั้งแต่วัตถุดิบเพื่อใช้ในการผลิต ไปจนถึงสินค้า ขั้นสุดท้ายที่ผู้บริโภคได้บริโภค ในทางโลจิสติกส์ทุก ๆ กิจกรรม ล้วนมีความสัมพันธ์กัน และเชื่อมโยงเข้าด้วยกันทุก ๆ กิจกรรม จะเชื่อมโยงกันด้วยการไหลหลัก ๆ อยู่ 3 ประการ โดยอันดับแรก คือ การไหลของข้อมูล (Information flow) อันดับที่ 2 คือ การไหลของสินค้า (Materials flow) และอันดับสุดท้าย คือ การไหลของเงิน (Financial flow) ดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 การไหลของเงิน ข้อมูล และสินค้า

ที่มา: Tran-Dang (2023)

งานวิจัยนี้ ผู้วิจัยมีความสนใจที่จะศึกษาในส่วนของการไหลของสินค้า (Material flow) ซึ่งเป็นการไหลที่โดดเด่นทางโลจิสติกส์ที่ในการไหลของสินค้า (Material flow) กิจกรรมหลักที่เกี่ยวข้องโดยตรง คือ กิจกรรมการขนส่ง โดยหากการขนส่งมีประสิทธิภาพจะส่งผลให้เกิดห่วงโซ่อุปทานที่แข็งแรง ส่งผลทำให้สามารถสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น และยังสามารถลดต้นทุนที่เกิดขึ้นทั้งห่วงโซ่อุปทาน ซึ่งเป็นผลดีทั้งลูกค้าและบริษัทต่าง ๆ ที่อยู่ในโซ่อุปทานได้ และเมื่อดูข้อมูลของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ เห็นได้ว่า ต้นทุนที่เกิดขึ้นจากการขนส่งในประเทศไทย พ.ศ. 2565 นั้น มูลค่าต้นทุนการขนส่งเพิ่มขึ้น 5.3% เมื่อเทียบกับปี พ.ศ. 2564 (สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2565) ดังภาพที่ 2



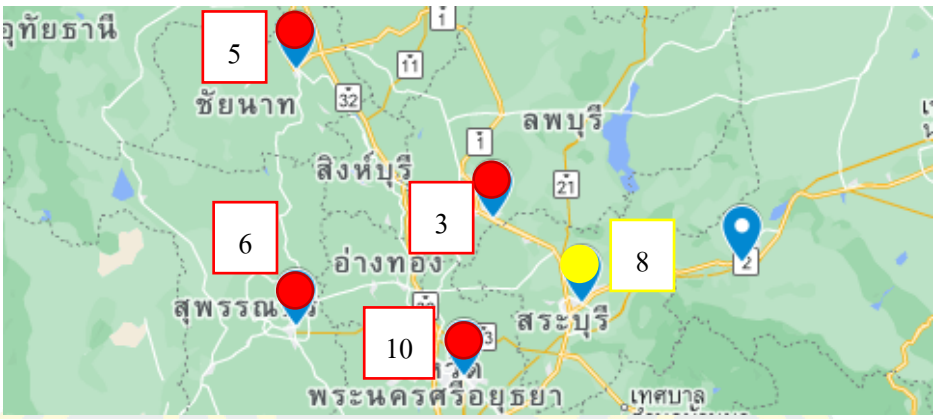
ภาพที่ 2 อัตราส่วนต้นทุนโลจิสติกส์กับ GDP ประเทศไทย
ที่มา: สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (2565)

ในการที่จะช่วยลดต้นทุนในภาคการขนส่ง ควรเริ่มมาจากการวางแผนที่เหมาะสมกับทรัพยากรที่มี ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถ การวางแผนการจัดเส้นทางให้เหมาะสมนั้น จะมีข้อจำกัดต่าง ๆ เข้ามาเกี่ยวข้อง เช่น ปริมาณความต้องการของลูกค้า เวลา ความสามารถในการบรรทุกของยานพาหนะที่ใช้ สภาพการจราจร และอื่น ๆ อีกมากมาย ส่งผลทำให้มีการคิดหาวิธีการแก้ปัญหา หรือเรียกได้ว่า เป็นเทคนิคที่ใช้ในการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีชื่อว่า Vehicle routing problem (VRP) ซึ่งรูปแบบในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค Vehicle routing problem นั้น มีเครื่องมือ หรือวิธีการจัดเส้นทางเดินรถอยู่หลากหลาย ยกตัวอย่าง เช่น Saving heuristic, Sweep heuristic, Nearest neighbor heuristic หรือ Farthest Nearest neighbor heuristic ด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถเหล่านี้ ผู้วิจัยมีความเห็นว่า สามารถนำเครื่องมือ หรือเทคนิค

ที่เรียกว่า Vehicle routing problem มาปรับใช้ เพื่อแก้ปัญหาที่บริษัทกรณีศึกษากรอบประตูหน้าต่างกำลังประสบอยู่ได้

พื้นฐานของบริษัทกรณีศึกษา เป็นบริษัทที่มีการผลิตสินค้า มีแผนกขนส่งเป็นของตัวเอง และมียานพาหนะให้เลือกใช้หลายประเภท ปัญหาที่บริษัทกรอบประตูหน้าต่างในกรณีศึกษานี้ที่กำลังประสบอยู่นั้น สาเหตุมาจากในการดำเนินการจัดเส้นทางในปัจจุบันของบริษัทกรณีศึกษา มีการจัดเส้นทางจากบุคลากรที่อาศัยความชำนาญและประสบการณ์เพียง 1 คน และยังไม่มีระบบที่เป็นระบบกลาง ที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ ส่งผลทำให้หากบุคลากรท่านนั้น ไม่สามารถทำการจัดเส้นทางทางเดินรถได้ จะก่อให้เกิดปัญหา ทำให้การขนส่งสะดุดลง หรือเกิดความล่าช้าในการส่งสินค้า และในส่วนของวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาที่ใช้การจัดกลุ่ม โดยแบ่งออกไปตามภาคตามหลักภูมิศาสตร์ในประเทศไทยก่อน แล้วจึงทำการจัดเส้นทาง เพื่อตอบสนองกับความต้องการของลูกค้า และยังไม่มีการเรียงลำดับลูกค้าในเส้นทาง ก่อให้เกิด 3 ปัญหาที่ตามมา คือ 1) ต้นทุนซ้ำซ้อนในการขนส่ง 2) เกิดที่ว่างในพื้นที่บรรทุก และ 3) การส่งสินค้าไม่ถูกเวลา

เพื่อให้เห็นภาพของปัญหาที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้แสดงตัวอย่างในภาพที่ 3 ประกอบด้วยจุดสีต่าง ๆ ที่ใช้แทนลูกค้า ที่มีความต้องการที่จะต้องทำการจัดส่งสินค้าค้า สีแดง หมายถึง ลูกค้าภาคกลาง สีเหลือง หมายถึง ลูกค้าภาคตะวันออกเฉียงเหนือ และกำหนดให้ความสามารถในการบรรทุกอยู่ที่ 50 หน่วย ในรูปสี่เหลี่ยม ใช้แทนความต้องการของลูกค้าแต่ละราย หากจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา ถ้าหากต้องการตอบสนองความต้องการของลูกค้าทุกรายที่อยู่ในภาพตัวอย่าง จะต้องใช้เส้นทาง 2 เส้นทางในการตอบสนอง ทำให้เกิดต้นทุนในการขนส่งที่ซ้ำซ้อน ไม่ว่าจะเป็นต้นทุนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรงงานของพนักงานขับรถ และต้นทุนอื่น ๆ ที่ตามมาจากการนำยานพาหนะไปใช้ นอกไปจากนั้นยังเกิดพื้นที่ว่างในพื้นที่บรรทุกของยานพาหนะทั้ง 2 เส้นทาง และการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบเดิม ยังไม่ได้ทำการเรียงลำดับลูกค้าที่ชัดเจนว่า จะต้องไปส่งลูกค้าคนไหนก่อน คนไหนหลัง ทำให้เกิดปัญหาในส่วนของการส่งของไม่ถูกเวลา



ภาพที่ 3 ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม

วัตถุประสงค์การวิจัย

1. เพื่อหาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา
2. เพื่อลดต้นทุนซ้ำซ้อนในการขนส่งสินค้า
3. เพื่อลดที่ว่างในพื้นที่บรรทุกสินค้า
4. เพื่อแก้ปัญหาในการส่งสินค้าไม่ถูกต้องตามเวลา

ขอบเขตงานวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้ ดำเนินการจัดเส้นทางการเดินรถให้ลูกค้า 47 ราย อยู่ในรัศมี 400 กิโลเมตร รอบโรงงาน หรือ Depot เนื่องจากลูกค้าเหล่านี้ มีความสำคัญกับยอดขายของบริษัท ข้อมูลเกี่ยวกับยอดขาย นำมาจากข้อมูลที่ถูกเก็บอยู่ในฐานข้อมูลย้อนหลัง จากวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566

ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1. การจัดเส้นทางเดินรถที่มีระบบที่เป็นกลาง
2. ต้นทุนกิจกรรมการขนส่งลดลง
3. ประสิทธิภาพการใช้ยานพาหนะสูงขึ้น
4. การส่งสินค้ามีความถูกต้องแม่นยำ

นิยามศัพท์เฉพาะ

Depot หมายถึง จุดเริ่มต้น หรือจุดสิ้นสุดในการจัดเส้นทางเดินรถ

ลูกค้า หมายถึง จุดที่นำมาใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ

Vehicle routing problem (VRP) หมายถึง เทคนิคในการจัดเส้นทางเดินรถ

อัลกอลิทึม (Algorithm) หมายถึง วิธีในการจัดเส้นทางเดินรถ หรือเครื่องมือที่อยู่ในเทคนิค Vehicle routing problem

Node หมายถึง จุดสถานที่ตั้งของลูกค้า

i หมายถึง จุดเริ่มต้น

j หมายถึง จุดสิ้นสุด

Max capacity of vehicle หมายถึง ปริมาตรสูงสุดในการบรรทุกของยานพาหนะประเภทต่าง ๆ

Demand หมายถึง ปริมาณความต้องการของลูกค้า

Index หมายถึง ตัวเลขที่ใช้แทนชื่อของลูกค้า

Distance matrix หมายถึง ตารางที่ใช้เก็บข้อมูลต้นทุนระหว่างจุด ไม่ว่าจะเป็น เวลา ระยะห่าง ค่าใช้จ่าย… ฯลฯ

Asymmetric หมายถึง ตารางที่ใช้เก็บข้อมูลระยะห่างระหว่างจุดที่ต้นทุนเที่ยวไปและเที่ยวกลับไม่เท่ากัน

Max speed of vehicle หมายถึง ความเร็วสูงสุดที่ยานพาหนะที่อนุญาติใช้ได้

Direct shipment หมายถึง การจัดส่งสินค้าโดยตรงจากจุดต้นทางไปยังลูกค้า แล้วกลับมาที่จุดต้นทาง

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษาค้นคว้าวิจัยในเรื่องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเดินรถส่งสินค้าด้วย Vehicle routing problem กรณีศึกษาบริษัทกรอบประตูหน้าต่าง โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะจัดเส้นทางการเดินรถให้มีประสิทธิภาพและเหมาะสม และเลือกประเภทของยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง ผู้วิจัยได้ทำการแบ่งการศึกษาค้นคว้าทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดการเส้นทางเดินรถออกเป็น 2 ส่วนได้แก่

1. ทฤษฎีของการจัดเส้นทางเดินรถ
2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถ

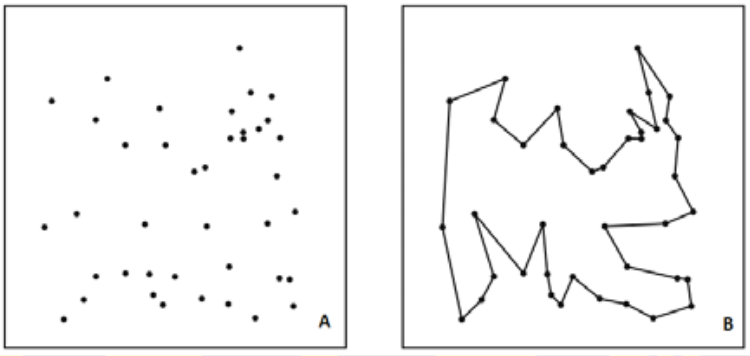
ทฤษฎีของการจัดเส้นทางเดินรถ

ความหมายของการขนส่งและต้นทุนทางด้านการขนส่ง

คำนาย อภิปรัชญาสกุล (2559) การขนส่ง หมายถึง การเคลื่อนย้ายสินค้า ไม่ว่าจะเป็นสิ่งของมนุษย์ หรือสัตว์จากที่หนึ่งไปสู่อีกที่หนึ่งตามที่ต้องการ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดส่งสินค้าที่ถูกต้อง ไปยังสถานที่ที่ถูกต้องในเวลาที่ถูกต้อง โดยมีต้นทุนที่เหมาะสม การขนส่งที่แบ่งตามลักษณะของเส้นทาง หรืออุปกรณ์ที่ใช้นั้น จะสามารถแบ่งออกเป็น 6 ลักษณะ ได้แก่ การขนส่งทางถนน การขนส่งทางราง การขนส่งทางน้ำ การขนส่งทางอากาศ การขนส่งทางท่อ และการขนส่งลักษณะอื่น ๆ โดยส่วนประกอบที่สำคัญของการขนส่งทางถนน มี 4 ส่วน คือ 1) เส้นทางในการขนส่ง 2) ยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง 3) อุปกรณ์ที่ใช้ในการขนส่ง และ 4) สถานีในการขนส่ง โดยค่าใช้จ่าย หรือต้นทุนในการขนส่งปกติที่ผู้ประกอบการขนส่งสินค้าใช้ในการคำนวณนั้น มาจากปัจจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกิจกรรมการขนส่ง เช่น ระยะทางในการขนส่ง เวลาในการขนส่ง น้ำหนักบรรทุก ประเภทของยานพาหนะ ปัจจัยต่าง ๆ ที่ได้ยกขึ้นมาจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณต้นทุนทางด้านน้ำมันเชื้อเพลิง (ศรีศรินทร์ สุขสุทธิ, 2563)

การวางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้า

1. Traveling salesman problem



ภาพที่ 4 ตัวอย่างของ Traveling salesman problem
ที่มา: Mazidi (2017)

หนึ่งในวิธีการจัดลำดับเส้นทางการเดินรถที่เป็นพื้นฐานมากที่สุด โดยเริ่มต้นในช่วงปี พ.ศ. 2343 จากนักคณิตศาสตร์ชื่อ W.R. Hamilton ชาวไอแอนด์ และ Thomas Kirkman ชาวอังกฤษ และได้รับความนิยมในช่วงปี พ.ศ. 2493-พ.ศ. 2503 (นวรรณ สืบสายลา, 2561) โดยมีหลักการและแนวคิดที่ต้องการหาเส้นทางและเรียงลำดับลูกค้า ให้สามารถไปส่งของให้ครบทุกราย โดยใช้ต้นทุนต่ำที่สุดเป็นวัตถุประสงค์ และมีเงื่อนไขว่า เมื่อพนักงานขายส่งของให้ลูกค้าจนครบทุกรายแล้ว ให้กลับมายังจุดเริ่มต้น และลูกค้าทุกคนต้องได้รับการตอบสนอง เป็นไปดังภาพที่ 4 ทางด้านขวา Traveling salesman problem สามารถเขียนออกมาเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ได้ดังนี้

สมการวัตถุประสงค์

$$\min Z = \sum_{i}^{N} \sum_{j}^{N} c_{ij} x_{ij}$$

สมการเงื่อนไข

$$\sum_{\substack{i=1 \\ i \neq j}}^{i=N} x_{ij} = 1, \ j = 1, 2, \ldots, N \quad (1)$$

$$\sum_{\substack{j=1 \\ j \neq i}}^{j=N} x_{ij} = 1, \ i = 1, 2, \ldots, N \quad (2)$$

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

กำหนดให้ i, j = สถานที่ของลูกค้าในแต่ละจุดโดยใช้เป็นตัวเลข

N = จำนวนลูกค้าที่มีความต้องการในการตอบสนอง

u = ตำแหน่งของ i และ j เมื่อ i หรือ j ใด ๆ

จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ได้แสดงให้เห็นว่า ในสมการวัตถุประสงค์มีตัวแปรอยู่ 2 ตัวแปร คือ cij และ xij ซึ่ง

C = ระยะทางที่ใช้เดินทางจากเมือง i ไปสู่เมือง j

X = ตัวแปรที่ใช้ในการเลือกเส้นทางระหว่างเมือง i ไป j

อยู่ในประเภท binary ซึ่งหมายถึง ตัวแปรจะมีค่า 0 หรือ 1

กล่าวคือ ถ้าหาก x_{ij} เป็น 1 จะหมายถึงเส้นทางจากเมือง i ไป j จะถูกเลือก แต่ถ้าหาก x_{ij} เป็น 0 จะหมายถึง เส้นทางจากเมือง i ไป j จะไม่ถูกเลือก ในสมการวัตถุประสงค์ตัวแปร 2 ตัวนี้จะนำมาคูณกัน เพื่อหาว่า ลำดับของลูกค้าควรเป็นอย่างไรเพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุดตามวัตถุประสงค์ของ Traveling salesman problem ในส่วนถัดมา เป็นส่วนของสมการเงื่อนไขในการทำ Traveling salesman problem นั้น มีเงื่อนไขที่ว่า จุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดจะต้องเป็นที่เดียวกัน โดยสมการที่ 1 และสมการที่ 2 ในสมการเงื่อนไข จะเป็นสมการที่ทำให้เงื่อนไขนั้นเป็นจริง ในส่วนของสมการที่ 3 เป็นสมการที่ป้องกันการเกิดทัวร์ย่อย (Sub tour eliminate) หลักการของสมการที่ 3 จะมีเงื่อนไขที่บังคับให้ i ไม่เท่ากับ j ซึ่งแสดงว่า ตำแหน่ง u จะไม่ตรงกันเมื่อนำเข้าไปใส่ในสมการ แต่เพื่อทำให้เกิดการเรียงลำดับที่ถูกต้อง จึงต้องมีสมการที่ 3 เข้ามาควบคุม โดยสมการจะกำหนดให้ i มาก่อน j จากภาพที่ 5 จะเห็นได้ว่า เนื่องมาจากไม่มีข้อจำกัดในด้านต่าง ๆ มีเพียงแค่มีวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด ทำให้การจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการ Traveling salesman problem มีผลลัพธ์ที่ออกมาเพียง 1 เส้นทาง (ศรีรักษ์ ศรีทองชัย, 2562) เนื่องจากไม่มีข้อจำกัดของคนส่งของ ซึ่งในทางปฏิบัตินั้น ข้อจำกัดในการจัดเส้นทางการเดินรถมีมากมาย ทำให้เกิดการจัดเส้นทางในรูปแบบใหม่ที่พัฒนาขึ้นมา มีชื่อเรียกว่า Vehicle routing problem

Vehicle routing problem

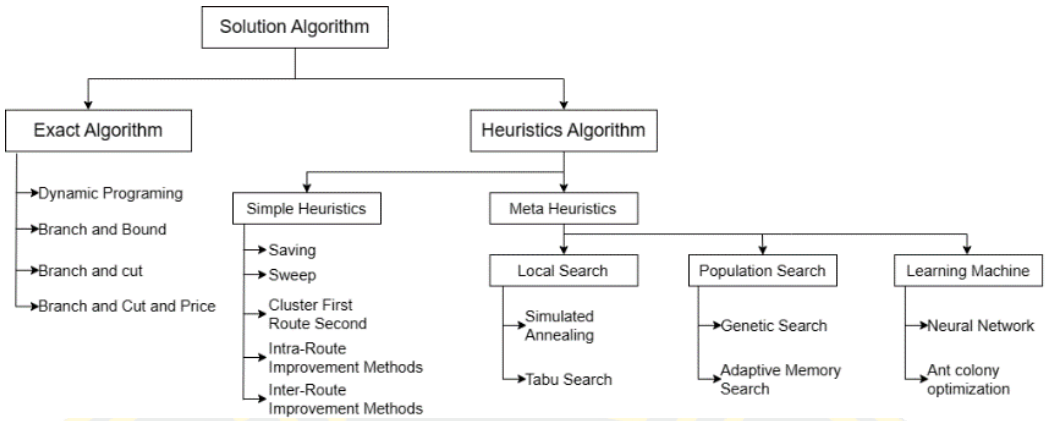
Vehicle routing problem เป็นหลักการคิดเส้นทางการเดินรถที่มีความคล้ายคลึงกับ Traveling salesman problem สังเกตุจาก Traveling salesman problem นั้น คำนวณโดยใช้พาหนะ

ขนส่งเพียง 1 ชนิด โดยความสามารถในการบรรทุกของพาหนะนั้น ไม่เป็นเงื่อนไขในการจัดเส้นทาง เพื่อเข้ามาจำกัดปริมาณสูงสุดที่พาหนะนั้นสามารถบรรทุกได้ แต่ใน Vehicle routing problem จะมีการเพิ่มเงื่อนไขต่าง ๆ เข้ามาเพิ่มในการคิดคำนวณเส้นทาง ไม่ว่าจะเป็นเงื่อนไขทางด้านเวลา เงื่อนไขทางด้านความสามารถในการบรรทุกสูงสุด และมีเงื่อนไขอีกมากมายที่ใส่เพิ่มเข้ามา เพื่อสะท้อนความเป็นจริงให้มากยิ่งขึ้น ซึ่งเงื่อนไขเหล่านี้ จะทำให้ Vehicle routing problem แตกต่างจาก Traveling salesman problem ยกตัวอย่างให้เห็นชัด ตามเงื่อนไขต่าง ๆ ที่เพิ่มเข้ามาดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 การยกตัวอย่างประเภทของ Vehicle routing problem

Vehicle routing problem Types	**Constraint**
VRPTW	การจัดเส้นทางรถ โดยมีข้อจำกัดทางด้านช่วงเวลาของลูกค้า
CVRP	การจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีข้อจำกัดด้านความสามารถในการบรรทุก
DVRP	การจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีข้อจำกัดทางด้านระยะทาง หรือเวลา
DCVRP	การจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีข้อจำกัดทางด้านระยะทาง หรือเวลา และความสามารถในการบรรทุก
VRPB	การจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีข้อจำกัดเกี่ยวกับการ Backhauling

จากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่า Vehicle routing problem นั้น มีหลายประเภท โดยจะถูกกำหนดให้เป็นไปตามเงื่อนไข หรือความต้องการที่จะจัดเส้นทางเดินรถของผู้ใช้ แต่ทั้งหมดยังมีวัตถุประสงค์เดียวกัน คือ ต้องการทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด วิธีในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิคหรือเครื่องมือ Vehicle routing problem นั้น มีหลายรูปแบบ เช่นเดียวกันกับประเภทของ Vehicle routing problem ตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 ตัวอย่างวิธีการหาคำตอบของ Vehicle routing problem
ที่มา: Bansal (2013)

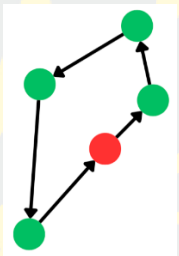
จากภาพที่ 5 จะเห็นว่า วิธีการในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค หรือเครื่องมือ Vehicle routing problem เพื่อให้บรรลุวัตถุประสงค์นั้น สามารถแบ่งออกหลัก ๆ ได้เป็น 2 วิธีการ คือ 1) Exact algorithm และ 2) Heuristics algorithm โดยทั้ง 2 วิธี จะมีข้อดี ข้อเสียที่แตกต่างกันออกไป ดังนี้

1. Exact algorithm เป็นหนึ่งในวิธีการในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค Vehicle routing problem เพื่อให้ได้คำตอบที่ดีที่สุด โดยในการใช้ Exact algorithm จะมีอยู่หลากหลายอัลกอริทึ่ม ที่สามารถเลือกใช้ได้ ไม่ว่าจะเป็น Linear programing, Branch and bound, Branch and cut, …, ฯลฯ และเนื่องจากปัญหา Vehicle routing problem มีความซับซ้อนและมีขนาดใหญ่ การหาคำตอบที่ดีที่สุดด้วย Exact algorithm นั้น จะใช้เวลาและทรัพยากรในการคำนวณอย่างมากในการหาคำตอบ และหากจำนวนลูกค้ามากขึ้น หรือมีข้อจำกัดที่มีความซับซ้อนมาก วิธีการนี้ อาจไม่สามารถค้นหาคำตอบได้เลย หรือเกิดความผิดพลาดในการให้คำตอบ ซึ่งทำให้เกิดวิธีการในการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเทคนิค หรือเครื่องมือ Vehicle routing problem แบบที่ 2 เพื่อแก้ปัญหาในเรื่องดังกล่าว

2. Heuristics algorithm เป็นวิธีการในการหาผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถของเทคนิค Vehicle routing problem โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะหาผลลัพธ์ของเส้นทางยอมรับ ที่ยอมรับได้ภายใต้เวลาและทรัพยากรในการคำนวณที่น้อยลง หรือใช้ในการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางที่มีเงื่อนที่ซับซ้อน วิธีการ หรือเครื่องมือที่อยู่ในกลุ่ม Heuristics algorithm มีอยู่หลากหลายเครื่องมือด้วยกัน โดยมีการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ ได้แก่ 1) Simple heuristics และ 2) Meta Heuristics วิธีการจัดเส้นทางเดินรถได้รับความนิยม เพื่อใช้ในการหาผลลัพธ์ของของเส้นทาง ซึ่งส่วนใหญ่อยู่ใน

กลุ่มของ Simple heuristics algorithm แต่เนื่องด้วย ณ ปัจจุบันมีการพัฒนาวิธีการจัดเส้นทางแบบ Heuristics algorithm ขึ้นมาต่าง ๆ มากมาย โดยวิธีการจัดเส้นทางที่ถูกพัฒนาขึ้นมาใหม่อยู่ในส่วนของ Meta heuristics โดยในบทที่ 2 ผู้วิจัยได้ทำการค้นหาข้อมูลและวิธีการในการจัดเส้นทางที่อยู่ในกลุ่มของ Simple heuristics ที่จะนำมาใช้กับงานวิจัยในครั้งนี้ ได้แก่ 1) Nearest neighbor heuristics 2) Clarke-Wright savings algorithm และ 3) Sweep heuristics ในภาพตัวอย่างตั้งแต่ภาพที่ 6 ถึงภาพที่ 8 จุดสีแดงใช้ในการแทนจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด (Depot) และจุสีเขียวใช้แทนลูกค้า (Node)

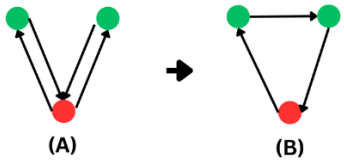
รูปแบบที่ 1 Nearest neighbor heuristics



ภาพที่ 6 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Nearest neighbor heuristics

วิธีการจัดเส้นทางแบบ Nearest neighbor heuristics เกิดขึ้นในปี พ.ศ. 2502 โดย Dantzig Ramaser (Shanker, Reddy, & Venkataramaiah, 2018) วิธีการทำงานของวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบนี้ ดำเนินการโดยค้นหา Node หรือลูกค้าที่อยู่ใกล้ที่สุดจากจุดที่อยู่ ณ ปัจจุบัน แล้วทำการเลือกเข้าเส้นทาง โดยมีเงื่อนไขว่า จะต้องไม่เกินข้อจำกัดที่ได้กำหนดขึ้น ไม่ว่าจะเป็นความสามารถในการบรรทุก หรือระยะเวลา โดยหากไม่เป็นไปตามข้อจำกัดที่ได้กำหนดขึ้น หากเกินข้อจำกัด ให้ทำการกลับไปที่จุดเริ่มต้น (Depot) แล้วทำการหาลูกค้ารายที่ใกล้ที่สุดอีกครั้ง เพื่อทำการสร้างเส้นทางในลำดับถัดมา โดยจะทำไปเรื่อย ๆ จนกว่าลูกค้าในทุก ๆ รายที่มีความต้องการ จะได้รับการตอบสนองทั้งหมด (นฤมล ไชยโคตร และคณะ, 2560)

รูปแบบที่ 2 Clarke-Wright savings algorithm ถูกคิดค้นขึ้นในปี พ.ศ. 2507 โดย Clarke-Wright เป็นผู้นำเสนอวิธีการนี้ เพื่อใช้ในการแก้ปัญหาในการจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีแนวคิด หรือหลักการที่ว่า หากนำจุดที่ต้องไปส่ง 2 จุดมารวมกัน จะทำให้เกิดการประหยัดกว่าการส่งในรูปแบบเดิม หรือ Direct shipment (Shanker, Reddy, & Venkataramaiah, 2018)



ภาพที่ 7 ข้อแตกต่างระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบเดิม (A) กับ Clarke-Wright savings (B)

จากภาพที่ 7 ในภาพ (A) จะเห็นได้ว่า เป็นการส่งแบบเดิม คือ การส่งสินค้าตรง หรือ Direct shipment จะทำให้เกิดเส้นทางในการขนส่งอยู่ด้วยกัน 2 เส้นทาง หากที่จุดสีเขียวมีความต้องการทั้ง 2 ซึ่งหากจะตอบสนองความต้องการทั้ง 2 จะทำให้เกิดต้นทุน 2 ครั้ง เพื่อทำการตอบสนองต่อความต้องการ Clarke-Wright จึงได้มีแนวคิดที่ว่า หากนำ Node หรือลูกค้า 2 ราย มารวมเข้าอยู่ในเส้นทางเดียวกัน จะทำให้ประหยัดต้นทุน จะเห็นว่า เมื่อเปลี่ยนจากรูปแบบการขนส่งแบบตรง หรือ Direct shipment (A) มาเป็น Clarke-Wright savings (B) จากแนวคิดจะทำให้มีมีเส้นที่เชื่อมระหว่าง Node หรือลูกค้า เกิดขึ้นมา ซึ่งหากต้องการตอบสนองความต้องการของลูกค้า 2 ราย จะใช้เพียง 1 เส้นทางเท่านั้น และจะทำให้ต้นทุนเหลือเพียง 1 เส้นทาง (Vanitchakornpong, 2023) ได้กล่าวถึง วิธีการและขั้นตอนการทำงานในการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Clarke-Wright savings จะเป็นไป ดังนี้

1. หาค่า saving ระหว่าง node i ไปสู่ j โดยใช้สมการ

$$S_{ij} = C_{i0}+C_{j0}-C_{ij}$$

C: ต้นทุนที่ใช้ในการเดินทางจาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j

S: ค่าความประหยัด หรือค่า Saving ของต้นทุนที่ใช้ในการเดินทางจาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j

2. นำค่าความประหยัด หรือค่า Saving จาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j มาเรียงลำดับจากคู่ [i, j] ที่มากที่สุด ไปน้อยที่สุด

3. เลือกค่าความประหยัด หรือค่า Saving ที่มากที่สุด มาเข้าสู่เส้นทางเพื่อสร้างเป็นจุดเริ่มต้น

4. เลือกคู่ [i, j] ที่จะถูกนำเข้าสู่เส้นทางที่ข้อที่ 3 ได้เลือกเป็นเส้นทางเริ่มต้นไว้ โดยเงื่อนไขในการเลือกเข้าเส้นทางจะเป็นดังนี้

ก. คู่ที่จะเข้ามาต้องอยู่คนละเส้นทาง และหากมีเส้นทางอยู่แล้ว จะนำเข้ามาใช้ในเส้นทางไม่ได้

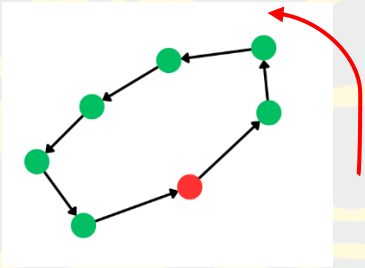
ข. คู่ที่จะนำเข้ามา จะต้องต่อด้านหน้า หรือด้านหลังเท่านั้น

ค. คู่ที่จะนำเข้ามา จะต้องไม่เกินข้อจำกัดของการจัดเส้นทางนั้น ๆ

ถ้าผ่านทั้ง 3 เงื่อนไขที่กล่าวมา จะสามารถนำ Node หรือลูกค้าเข้าเส้นทางได้ โดย จะทำซ้ำในขั้นตอนที่ 4 จนกว่าจะไม่สามารถนำเข้าได้จากเงื่อนไขที่กำหนด

5. เมื่อได้เส้นทางแรกมาแล้ว ให้วนกลับไปทำข้อที่ 3 และ 4 ใหม่ จนกว่าทุก Node หรือลูกค้าที่มีความต้องการ จะได้รับการตอบสนองทั้งหมด

รูปแบบที่ 3 Sweep heuristics



ภาพที่ 8 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ด้วยวิธี Sweep heuristics

วิธีการ Sweep heuristics เกิดขึ้นมาจาก Gillett and Miller ในปี พ.ศ. 2517 โดยวิธีการจัดเส้นทางนี้ เป็นส่วนหนึ่งของวิธีการจัดเส้นทางรูปแบบ Cluster first route second ในขั้นตอนของการจัดกลุ่มของลูกค้าเพื่อสร้างเส้นทางนั้น จะทำการจัดกลุ่มของ Node หรือลูกค้าก่อน โดยที่ลูกค้าที่จะนำเข้าสู่ในกลุ่ม หรือเส้นทางนั้น จะไม่ทำให้เกินข้อจำกัด หรือเงื่อนไขในการจัดเส้นทางเดินรถแล้วจึงจะทำการจัดเส้นทางเพื่อตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า การกวาดเพื่อทำการจัดกลุ่มของลูกค้าไม่มีรูปแบบตายตัวว่า ไม่ว่าจะเป็นตามเข็ม หรือทวนเข็มนาฬิกา โดยเริ่มที่ 0 องศา เพื่อจัดกลุ่มของ Node หรือลูกค้าเข้ามาอยู่ในเส้นทาง โดยจากภาพที่ 8 จะเป็นภาพที่แสดงการกวาดทวนเข็มนาฬิกา (Kumar & Jayachitra, 2016)

งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถ

งานวิจัยในประเทศ

ปัญญวัตน์ จันทร์ชัยภักดิ์ (2561) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน กรณีศึกษา โรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาสงเคราะห์ มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถให้กับโรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาสงเคราะห์ โดยมีวัตถุประสงค์ที่จะทำให้ระยะทางรวมของรถรับส่งนักเรียนมีค่าที่ลดลง หรือหมายถึงการมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น จากเครื่องมือ Saving heuristic, Sweep heuristic, Nearest neighbor heuristic, Farthest nearest และ Neighbor heuristic ผลลัพธ์จากงานวิจัยวิธีการจัดเส้นทางแบบ Saving heuristic ด้วยยานพาหนะประเภทรถบัสทำให้ระยะทางสั้นที่สุด โดยมีระยะทางรวม 733 กิโลเมตร ทำให้สามารถลดต้นทุนต่อเดือนไปได้ 134,817 บาทต่อเดือน ในการศึกษาในครั้งนี้ คิดต้นทุนจากอัตราค่าน้ำมันเพียงอย่างเดียว

รวิช วงศ์สวัสดิ์ และจักร ติงศภัทิย์ (2564) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การพัฒนาประสิทธิภาพของการบริหารระบบขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (กรณีศึกษา บริษัท สี่สหายขนส่ง จำกัด) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางและต้นทุนการขนส่งรวมของศูนย์กระจายสินค้าของบริษัท สี่สหายขนส่ง จำกัด ณ จังหวัดสงขลา ด้วยโปรแกรม VRP Solver ซึ่งใช้วิธีการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบ Meta heuristic และเมื่อได้ผล จะทำการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีสลับจุด 2 จุด (2-Opt) ผ่านโปรแกรม VRP Solver ผลลัพธ์จากงานวิจัย พบว่า เส้นทางลดลงเหลือเพียง 6 เส้นทาง โดยใช้รถบรรทุกเพียงแค่ 1 คัน เพื่อทำการส่ง แบ่งเป็นจำนวน 32 เที่ยวต่อสัปดาห์ ซึ่งผลของการทดลอง ทำให้ระยะทางรวมในการขนส่งต่อสัปดาห์อยู่ที่ 2,679.6 กิโลเมตร และต้นทุนรวมต่อเดือนลดลงไป 9,504.07 บาท การคำนวณต้นทุนมาจาก 2 ปัจจัย คือ 1) ค่าซ่อมบำรุงต่อระยะทาง และ 2) ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง

กวีร์วรรธณ์ วิพัฒน์กิจไพศาล (2558) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ กรณีศึกษา บริษัท XSquare จำกัด โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้าและเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า จากเครื่องมือ Nearest neighbor heuristic และ Saving heuristic ผลลัพธ์จากงานวิจัย พบว่า Saving heuristic ให้ผลที่ดีกว่า โดยมีระยะทางรวมที่น้อยกว่า 122.15 กิโลเมตร และระยะเวลารวมในการเดินรถทุกเที่ยว ที่น้อยกว่า 13 นาที

พรพรรณ โตโภชนพันธุ์ (2558) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดการใช้นำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำสุด ภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายสินค้าประเภทอุปโภคบริโภค จากเครื่องมือ Saving heuristic ผลลัพธ์จากงานวิจัย พบว่า

จัดเส้นทางด้วยวิธี Saving heuristic นั้น ทำให้ระยะทางต่อเดือนลดลง 1,221.8 กิโลเมตร ส่งผลทำให้อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันลดลง 105.3 ลิตรต่อเดือน และส่งผลไปยังต้นทุนรวมที่ลดลง 3,705.20 บาทต่อเดือน คิดเป็นร้อยละ 11.78 นอกจากนั้น การจัดเส้นทางแบบ Saving heuristic มีความเข้าใจที่ง่าย ทำให้บริษัทที่ใช้เป็นกรณีศึกษานำไปใช้ได้จริง

รวีโรจน์ ป้องทรัพย์ (2564) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวิเคราะห์การจัดเส้นทางการขนส่งและวิเคราะห์ต้นทุนของบริษัทกรณีศึกษาแบบเดิม เปรียบเทียบกับผลของการจัดเส้นทางแบบ Saving heuristic เพื่อหาวิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสม ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลาและความสามารถในการบรรทุกของรถ 1 ชนิด ผ่านเครื่องมือ Saving heuristic โดยผลลัพธ์ของงานวิจัย สามารถลดต้นทุนรวมในการส่งสินค้าได้ 4,241,705.71 บาทต่อปี ซึ่งเป็นผลมาจากระยะทางรวมต่อปีที่ลดลง 395,740.8 กิโลเมตรต่อปี ทำให้น้ำมันเชื้อเพลิงที่ใช้ลดลง 65,956.8 ลิตรต่อปี และรวมไปถึงรถบรรทุกที่ใช้ลดลง 4 คัน

ไพโรจน์ แสนดี, อนันทชัย ชำนาญหมอ และสุนาริน จันทะ (2557) ได้ทำการศึกษาเรื่อง การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูง กรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมทานี โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางการกำหนดเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยได้อย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และปลอดภัย ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลา และความสามารถในการบรรทุกเครื่องมือที่ใช้ คือ Saving heuristic และ Cluster first route second ผสมกับ Nearest neighbor heuristic โดยการจัดกลุ่ม จะจัดจากลักษณะภูมิประเทศ แล้วจึงใช้ Nearest neighbor ผลลัพธ์ของการทดลอง พบว่า การใช้ Saving heuristic มีค่าใช้จ่ายรวมที่ต่ำกว่า โดยค่าใช้จ่ายรวมเท่ากับ 9,093.90 บาท เมื่อเทียบกับการใช้ Cluster first route second ผสมกับ Nearest Neighbor ถึง 5,333.40 บาท

ศิรดา หัสนันท์ และคณะ (2563) ได้ทำการศึกษา เรื่อง การจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษา บริษัทแปรรูปอาหารทะเล โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนเส้นทาง โดยเปรียบเทียบวิธีการขนส่งแบบเดิมกับวิธี Saving heuristic และ Traveling salesman problem โดยมีวัตถุประสงค์ที่ต้องการให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยใช้รถ 4 ล้อใหญ่ เพียง 1 คัน ผ่านเครื่องมือ Saving heuristic และ Traveling salesman problem ผลลัพธ์จากการทดลอง พบว่า Traveling salesman problem นั้นให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด โดยใช้ระยะทาง 198.03 กิโลเมตร ซึ่งน้อยกว่าอีก 2 วิธีการจัดเส้นทาง ผลเปรียบเทียบระหว่าง Traveling salesman problem ซึ่งเป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด กับวิธีการแบบเดิม สามารถลดระยะทางรวมได้ 41.30 กิโลเมตร

ตารางที่ 2 สรุปงานวิจัยภายในประเทศ

ชื่อผู้แต่ง/ ปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
ปัญญวัตน์ จันทร์ชัยภักดิ์ (2561)	การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน กรณีศึกษาโรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาสงเคราะห์	เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถให้กับโรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาสงเคราะห์ มีวัตถุประสงค์เพื่อทำให้ระยะทางรวมของรถรับส่งนักเรียนมีค่าที่ลดลง หรือหมายถึง การมีประสิทธิภาพที่มากขึ้น	1. Saving heuristic 2. Sweep heuristic 3. Nearest neighbor heuristic 4. Farthest nearest neighbor heuristic	Saving heuristic
รวิช วงศ์สวัสดิ์ และจักร ติงศภัทิย์ (2564)	การพัฒนาประสิทธิภาพของการบริหารระบบขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (กรณีศึกษาบริษัท สี่สหายขนส่งจำกัด)	เพื่อลดระยะทาง และต้นทุนการขนส่งรวมของศูนย์กระจายสินค้าของ บริษัท สี่สหายขนส่ง จำกัด ณ จังหวัดสงขลา	VRP Solver และทำการปรับปรุงคำตอบ ด้วยวิธีสลับจุด 2 จุด (2-Opt)	VRP Solver ซึ่งใช้วิธีการจัดเส้นทางในรูปแบบ Meta heuristics
กวีร์วรรธณ์ วิพัฒน์กิจไพศาล (2558)	การเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ กรณีศึกษา บริษัท XSquare จำกัด	เพื่อลดต้นทุนการขนส่งสินค้าลง และเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้า	1. Nearest neighbor heuristic 2. Saving heuristic	Saving heuristic

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง/ ปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
พรพรรณ โตโภชนพันธุ์ (2558)	การจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำสุด ภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้า: กรณีศึกษาบริษัทจำหน่ายสินค้าประเภทอุปโภคบริโภค	1. เพื่อใช้ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง 2. ลดค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งโดยการลดต้นทุนผันแปร 3. เพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางการเดิน	Saving heuristic	Saving heuristic
รวีโรจน์ ป้องทรัพย์ (2564)	การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์	วิเคราะห์การจัดเส้นทางการขนส่งและวิเคราะห์ต้นทุนของบริษัทกรณีศึกษาแบบเดิม เปรียบเทียบกับผลของการจัดเส้นทางแบบ Saving heuristic เพื่อหาวิธีการจัดเส้นทางที่เมาะสมภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลา และความสามารถในการบรรทุกของรถ 1 ชนิด	Saving heuristic	Saving heuristic

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ชื่อผู้แต่ง/ ปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
ไพโรจน์ แสนดี และคณะ (2557)	การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตราย เมื่อระดับน้ำสูง กรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกา จังหวัดปทุมทานี	เพื่อหาแนวทางการกำหนดเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยอย่างมีประสิทธิภาพ รวดเร็ว และปลอดภัย ภายใต้ข้อจำกัดทางด้านเวลา และความสามารถในการบรรทุก	1. Saving heuristic 2. ทำการจัดกลุ่มแบ่งตามลักษณะภูมิประเทศ แล้วใช้ Nearest neighbor heuristic มาทำการจัดเส้นทาง	Saving heuristic
ศิรดา หัสนันท์ และคณะ (2563)	การจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษา บริษัทแปรรูปอาหารทะเล	เพื่อวางแผนเส้นทางโดยเปรียบเทียบวิธีการขนส่งแบบเดิมกับวิธี Saving heuristic และ Traveling salesman problem เพื่อต้องการให้ระยะทางรวมสั้นที่สุด โดยใช้รถ 4 ล้อใหญ่ เพียง 1 คัน	1. Saving heuristic 2. Traveling salesman problem	Traveling salesman problem

งานวิจัยต่างประเทศ

Kwangcheol and Sangyong (2011) ได้ทำการศึกษา เรื่อง A centroid-based heuristic algorithm for the capacitated vehicle routing problem โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางรวมให้ต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัด คือ ความสามารถในการบรรทุก ผ่านเครื่องมือ Centroid-based-phase การทำงานของเครื่องมือ คือ สร้างจุดกลึ่งกลางจากจุดที่ไกลที่สุด แล้วทำการเลือกว่า Node ไหนควรอยู่กับกลุ่มไหน โดยต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก แล้วจึงใช้ Traveling sell man

ในการจัดเส้นทาง Sweep heuristic ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย Centroid-based-phase ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าจากระยะทางที่ต่ำกว่า

Islam, Ghosh, and Rahman (2015) ศึกษา เรื่อง Solving capaciteted vehicle routing problem by using heuristic approaches: A case study โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการลดระยะทางในการขนส่ง และทำให้เกิดความเหมาะสมในการกระจายสินค้าให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของความสามารถในการบรรทุกของรถ 1 ประเภทนั้น ให้ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย Saving heuristic, Home and Parker: โดยการทำงาน คือ จะเลือกลูกค้าคนแรกจากลูกค้าคนที่มีค่า Saving ที่เยอะที่สุด จากนั้นจะใช้ลูกค้าคนที่ใกล้ที่สุดนำมาใส่เส้นทาง และ Fisher and Jaikuman: โดยจะทำการสร้างตารางต้นทุนในการขนส่งของระหว่างจุด 2 จุด มาทั้งหมดก่อน แล้วจึงทำการดูคู่ที่มีต้นทุนในการขนส่งน้อยที่สุดมาสร้างเส้นทาง ผลลัพธ์จากการวิจัย พบว่า Saving heuristic ได้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด เนื่องจากระยะทางในกระจายสินค้าสั้นที่สุด ส่งผลทำให้ค่าใช้จ่ายน้อยที่สุดมาจากศูนย์กระจายสินค้าของบริษัทนี้ เพียงแห่งเดียว

Xiaoyan (2015) ได้ทำการศึกษา เรื่อง Capacitated vehicle routing problem with time window: A case study in pickup of dietary products in nonprofit organization โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อลูกค้า ผ่านเครื่องมือ Saving heuristic ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย จากเดิมที่มีการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางการเดินรถที่เป็นโปรแกรมสำเร็จรูป โดยมีข้อจำกัดที่ใช้ คือ ต้องการให้ระยะทางรวมต่ำที่สุดเพียงเท่านั้น เมื่อนำ Saving heuristic เข้ามา ทำให้จำนวนรถที่ใช้ลดลงเฉลี่ยร้อยละ17 และเวลารวมในระบบลดลงไปร้อยละ 28.52%

Chandra and Naro (2020) ได้ทำการศึกษา เรื่อง A Comparative study of capacitated vehicle routing problem heuristic model โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริทึ่มมาใช้กับ Capacitated vehicle routing problem ผ่านเครื่องมือ Improved Clarke and Wright (ICW), Karagul Tokat Aydemir (KTA) Algorithm และ Sweeping algorithm ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย พบว่า อัลกอริทึ่มที่ให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด คือ Sweeping algorithm-Cluster first route second algorithm มีระยะทางรวมสั้นที่สุดเพียง 36.8 กิโลเมตร และอัลกอริทึ่มที่ให้ระยะทางรวมมากที่สุด คือ Karagul Tokat Aydemir (KTA) Algorithm โดยมีระยะทางรวม 70 กิโลเมตร

Avdoshin and Beresneva (2019) ได้ทำการศึกษา เรื่อง Constructive heuristics for capacitated vehicle routing problem: A comparative study โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการออกแบบเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งสินเค้าให้กับลูกค้า โดยมีข้อจำกัดในเรื่องความสามารถในการบรรทุก และเพื่อนำเอาผลลัพธ์การทดลองไปเปรียบเทียบกับวิธีการต่าง ๆ ใน

Meta heuristics ผ่านเครื่องมือ Sequential insertion algorithm, Improved parallel insertion algorithm, Nearest neighbor heuristic, Clarke and Wright savings heuristic, Variant of Clarke and Wright savings heuristic และ Sweep heuristic ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย พบว่า Clarke and Wright savings heuristic ให้ผลลัพธ์ที่ดี 7 ชุดข้อมูล มีเพียง 1 ชุดข้อมูลที่ Nearest neighbor heuristic ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า

Kasanah, Qisthani, and Munang (2022) ได้ทำการศึกษา เรื่อง Solving the capacitated vehicle routing problem with heterogeneous fleet using heuristic algorithm in poultry distribution โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขนสินค้า (ไก่ที่มีชีวิต) โดยไม่สนใจความสามารถในการบรรทุก โดยส่งผลเสียทำให้รถบรรทุกเสีย หากเกิดการบรรทุกที่เกินน้ำหนักที่สามารถบรรทุก และเพื่อทำการลดต้นทุนในการขนส่งลง ผ่านเครื่องมือ Clarke and Wright savings heuristic ผลลัพธ์ที่ได้จากงานวิจัย พบว่า การนำ Clarke and Wright savings heuristic มาใช้ทำให้ระยะทางลดลง และส่งผลทำให้ต้นทุนลดลงไป 84,129 RP ต่อ 1 รอบการส่ง หรือคิดเป็นต้นทุนที่ลดลงต่อเดือน ลดลง 2,523,876 RP

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยต่างประเทศ

ชื่อผู้แต่งและปี	**ชื่องานวิจัย**	**วัตถุประสงค์**	**เครื่องมือที่ใช้**	**เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด**
Kwangcheol and Sangyong (2011)	A centroid-based heuristic algorithm for the capacitated vehicle routing problem	เพื่อลดระยะทางรวมให้ต่ำที่สุด โดยมีข้อจำกัด คือ ความสามารถในการบรรทุก	1. Centroid-based-phase: การทำงาน คือ สร้างจุดกึ่งกลางจากจุดที่ไกลที่สุด แล้วทำการเลือกว่า Node ไหน ควรอยู่กับกลุ่มไหน โดยต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก	Centroid-based-phase

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อผู้แต่งและปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
			แล้วจึงใช้ Traveling sell man ในการจัดเส้นทาง 2. Sweep heuristic	
Islam, Ghosh, and Rahman (2015)	Solving capaciteted vehicle routing problem by using heuristic approaches: A case study	เพื่อทำการลดระยะทางในการขนส่งและทำให้เกิดความเหมาะสมในการกระจายสินค้าให้เป็นไปตามความต้องการของลูกค้า ภายใต้เงื่อนไขของข้อจำกัดของความสามารถในการบรรทุกของรถ 1 ประเภท	1. Saving heuristic 2. Home and Parker: โดยการทำงาน คือ จะเลือกลูกค้าคนแรกจากลูกค้าคนที่มีค่า Saving เยอะที่สุด จากนั้นจะใช้ลูกค้าคนที่ใกล้ที่สุด นำมาใส่เส้นทาง 3. Fisher and Jaikuman: โดยจะทำการสร้างตารางต้นทุนในการขนส่งของระหว่างจุด 2 จุด มาทั้งหมดแล้วจึงทำการดูคู่ที่มีต้นทุนในการขนส่งน้อยที่สุดมาสร้างเส้นทาง	Saving heuristic

ตารางที่ 3 (ต่อ)

ชื่อผู้แต่งและปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
Xiaoyan (2015)	Capacitated vehicle routing problem with time window: A case study in pickup of dietary products in nonprofit organization	เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการขนส่ง และเพิ่มประสิทธิภาพในการตอบสนองต่อลูกค้า	Saving heuristic	Saving heuristic
Chandra and Naro (2020)	A comparative study of capacitated vehicle routing problem heuristic model	เพื่อศึกษาเปรียบเทียบอัลกอริทึ่ม มาใช้กับ Capacitated vehicle routing problem	1. Improved Clarke and Wright (ICW) 2. Karagul Tokat Aydemir (KTA) algorithm 3. Sweeping algorithm-cluster first route second algorithm	Sweeping algorithm
Avdoshin and Beresneva (2019)	Constructive heuristics for capacitated vehicle routing problem: A comparative study	เพื่อทำการออกแบบเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดในการส่งสินค้าให้กับลูกค้าโดยมีข้อจำกัด	1. Sequential insertion algorithm 2. Improved parallel insertion algorithm 3. Nearest neighbor heuristic	Clarke and Wright Savings

ตารางที่ 3 (ต่อ)

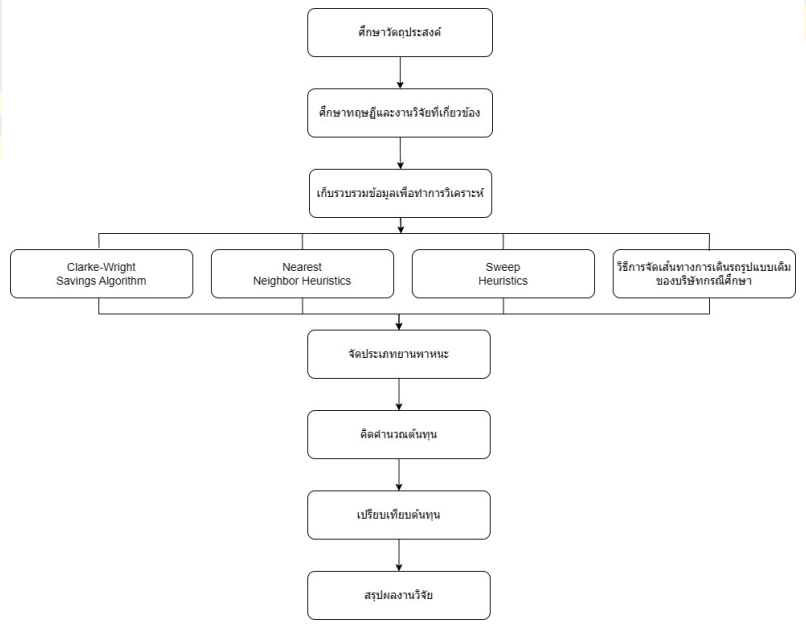
ชื่อผู้แต่งและปี	ชื่องานวิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้	เครื่องมือที่ให้ผลลัพธ์ดีที่สุด
		ในเรื่องความสามารถในการบรรทุกและเพื่อนำเอาผลลัพธ์การทดลองไปเปรียบเทียบกับวิธีการต่าง ๆ ใน Meta heuristics	4. Clarke and Wright savings heuristic 5. Variant of Clarke and Wright savings heuristic 6. Sweep heuristic	
Kasanah, Qisthani, and Munang (2022)	Solving the capacitated vehicle routing problem with heterogeneous fleet using heuristic algorithm in poultry distribution	เพื่อหาวิธีการแก้ปัญหาเกี่ยวกับการขนสินค้า (ไก่ที่มีชีวิต) โดยไม่สนใจความสามารถในการบรรทุก โดยส่งผลเสียทำให้รถบรรทุกเสีย หากเกิดการบรรทุกที่เกินน้ำหนัก ที่สามารถบรรทุกได้ และเพื่อลดต้นทุนในการขนส่งลง	Clarke and Wright savings heuristic	Clarke and Wright Savings

บทที่ 3
เครื่องมือและวิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้ เป็นงานวิจัยที่มีจุดมุ่งหมายเพื่อหาวิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา เพื่อพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถของบริษัทกรณีศึกษาให้มีประสิทธิภาพสูงขึ้น โดยใช้เครื่องมือและทฤษฎีต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการเดินรถ มาปรับใช้ให้เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา และให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยในครั้งนี้ โดยในส่วนของเนื้อหาในบทที่ 3 ผู้วิจัยได้เขียนอธิบายขั้นตอนการทำการวิจัย และกระบวนการทำงานของเครื่องมือที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ โดยในบทที่ 3 มีองค์ประกอบ 5 ส่วน ดังนี้

1. ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย
2. การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัย
3. การสร้างเครื่องมือเพื่อนำมาใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ
4. การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง
5. การเปรียบเทียบผลการทดลองเพื่อสรุปผล

ขั้นตอนในการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 9 กระบวนการดำเนินการวิจัย

ขั้นตอนการทำงานวิจัยในครั้งนี้ มี 8 ขั้นตอน ดังภาพที่ 9 ประกอบด้วย 1) ศึกษาวัตถุประสงค์ 2) ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางเดินรถทั้ง 4 รูปแบบ ทั้งวิธีการเดิมและวิธีการ Simple heuristics เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถในงานวิจัย 3) การเก็บรวบรวมข้อมูลและจัดการข้อมูล การเก็บรวบรวมข้อมูลจะแบ่งการเก็บออกไปเป็นตามวัตถุประสงค์ในการใช้ข้อมูล ได้แก่ เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ เพื่อใช้ในการจัดประเภทยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง และเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อเส้นทาง 4) การนำข้อมูลที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ ไปจัดเส้นทางเดินรถในวิธีการทั้ง 4 เพื่อนำผลลัพธ์ไปทำการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง 5) การจัดประเภทยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง ได้ใช้ข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมในข้อที่ 3 เพื่อนำเข้าสู่สมการทางคณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการจัดประเภทยานพาหนะที่เหมาะสมในแต่ละเส้นทาง 6) การคิดคำนวณต้นทุนเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบต้นทุนในข้อที่ 7 โดยต้นทุนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ ต้นทุนการบริโภคน้ำมันเชื้อเพลิง และต้นทุนค่าแรงงาน 7) การเปรียบเทียบต้นทุนวิธีการจัดเส้นทางเดินรถทั้ง 4 โดยทำการรวมต้นทุนทั้ง 88 วัน เพื่อทำการเปรียบเทียบ และ 8) สรุปผลงานวิจัยให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในงานวิจัย

การเก็บรวบรวมข้อมูลในงานวิจัย ถูกเก็บโดยแบ่งออกไปตามวัตถุประสงค์ที่ต้องใช้ วัตถุประสงค์ของการเก็บข้อมูล สามารถแบ่งออกเป็น 3 วัตถุประสงค์ ดังนี้ 1) การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถ ในวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่าง ๆ 2) การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดประเภทของยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง และ 3) การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อเส้นทาง

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถ ในวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่าง ๆ

ข้อมูลที่ถูกนำมาใช้ในการจัดเส้นทางของวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ประกอบด้วยข้อมูล 3 ส่วน ดังนี้

1. ความต้องการรวมของลูกค้าแต่ละรายต่อวัน ของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 ภายในรัศมี 400 กิโลเมตรรอบบริษัท เนื่องจากช่วงเวลาที่ใช้ในการทำการวิจัย ทางบริษัทกรณีศึกษาเห็นว่า เหมาะสมกับงานวิจัย จากสาเหตุที่ช่วงเวลาดังกล่าวมียอดคำสั่งซื้อปริมาณมาก และลูกค้าที่อยู่ภายในรัศมี 400 กิโลเมตร เป็นลูกค้ากลุ่มที่มีความสำคัญต่อยอดขายของบริษัท

2. พิกัดเพื่อนำเข้าสู่เครื่องมือ Google map เพื่อทำการสร้าง Distance matrix

3. ในการสร้าง Distance matrix ของงานวิจัยฉบับนี้ เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกใช้ Google map เป็นเครื่องมือหาระยะห่างระหว่างจุด เนื่องจาก Google map เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการหา Shortest path ของระยะห่างระหว่างจุดที่ถูกเพิ่มปัจจัยต่าง ๆ เข้าไป เพื่อคำนวณหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ซึ่งมีวัตถุประสงค์เดียวกันกับงานวิจัยนี้ ที่ต้องการหาเส้นทางที่สั้นที่สุด เพื่อให้ต้นทุนต่ำที่สุด เมื่อได้ Distance matrix ผู้วิจัยทำการเปลี่ยนให้เป็น Time matrix เนื่องจากข้อจำกัดในการจัดเส้นทางเดินรถของงานวิจัยฉบับนี้เป็นเวลา โดยผู้วิจัยทำการแปลงผ่านสมการทางคณิตศาสตร์ตามสมการข้างล่างนี้ โดยตัวแปรที่มีชื่อว่า Max speed of vehicle จะถูกกำหนดไว้ที่ 80 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

$$\text{Time}_{ij} = \frac{\text{Distance}_{ij}}{\text{Max speed of vehicle}} \times 60$$

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการจัดประเภทของยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง

ข้อมูลในส่วนนี้ ประกอบด้วยข้อมูลหลัก 2 ส่วน คือ ชนิดและประเภทของยานพาหนะ เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามียานพาหนะหลากหลายประเภท และความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะประเภทนั้น ๆ

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อเส้นทาง

ข้อมูลที่ใช้ในการคำนวณต้นทุนในแต่ละเส้นทาง เพื่อนำไปใช้ในการรวมต้นทุนต่อเส้นทาง ประกอบด้วย 2 ส่วน ได้แก่ 1) ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิง และ 2) ต้นทุนค่าแรงงาน

การสร้างเครื่องมือเพื่อนำมาใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ

เครื่องมือที่ถูกเลือกเพื่อนำมาใช้ในการแก้ปัญหาต้นทุนซ้ำซ้อน จากวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา ได้แก่ Clarke-Wright savings algorithm, Nearest neighbor heuristics และ Sweep heuristics สืบเนื่องมาจากทั้ง 3 เครื่องมือนั้น เป็นเครื่องมือพื้นฐานที่มีความซับซ้อนต่ำ เข้าใจขั้นตอนการทำงานได้ง่ายในการจัดเส้นทางเดินรถ เมื่อเปรียบเทียบกับเครื่องมืออื่น ๆ ที่อยู่ในเทคนิค Vehicle routing problem และให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับคำตอบที่ดีที่สุด อีกหนึ่งเหตุผลที่ใช้ในการตัดสินใจเลือกเครื่องมือเหล่านี้ คือ เครื่องมือเหล่านี้ สามารถนำไปปรับปรุง หรือเพิ่มข้อจำกัดต่าง ๆ เข้าไปได้ง่าย หากประสงค์ที่จะพัฒนาต่อในภายภาคหน้า เพื่อลดความผิดพลาดในการจัดเส้นทางเดินรถ ผู้วิจัยได้ทำการเขียนโปรแกรมมิ่งขึ้นมาด้วยภาษา

ทางคอมพิวเตอร์ ที่มีชื่อว่า Python เพราะงานวิจัยในครั้งนี้ ได้ทำการจัดเส้นทางเดินรถส่งสินค้าทั้งหมด 88 วัน โดยใช้ทั้ง 3 เครื่องมือ และบวกอีก 1 เครื่องมือ คือ การจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัท ที่ต้องทำการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมซ้ำอีกครั้ง เนื่องจากผู้วิจัยต้องการให้การเลือกเครื่องมือการจัดเส้นทางมาใช้อย่างเป็นกลางมากที่สุด โดยในการเขียนโปรแกรมมิ่งจะอ้างอิงจากวิธีการดำเนินการจัดเส้นทางจากเครื่องมือต่าง ๆ ที่ผู้วิจัยได้ที่การศึกษาในบทที่ 2 โดยเครื่องมือทั้งหมดจะเริ่มต้นจากการเลือกลูกค้าที่มีความต้องการ ณ วันนั้น ๆ แล้วจึงทำการจัดเส้นทางให้เป็นไปตามแต่ละรูปแบบวิธีการที่ผู้วิจัยได้ทำการเลือกเข้ามาใช้ ดังนี้

รูปแบบที่ 1 Clarke-Wright savings

1. เมื่อได้รายชื่อลูกค้าที่มีความต้องการ ณ วันนั้น ๆ แล้ว หาค่า Saving ระหว่าง Node i ไปสู่ j โดยใช้สมการ

$$S_{ij} = C_{i0} + C_{j0} - C_{ij}$$

C = ต้นทุนที่ใช้ในการเดินทางจาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j

S = ค่าความประหยัด หรือค่า Saving ของต้นทุนที่ใช้ในการเดินทางจาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j

2. นำค่าความประหยัด หรือค่า Saving จาก Node หรือลูกค้า i ไปสู่ j มาเรียงลำดับจากคู่ [i, j] ที่มากที่สุดไปน้อยที่สุด

3. เลือกค่าความประหยัด หรือค่า Saving ที่มากที่สุด มาสร้างเส้นทางเพื่อเป็นจุดเริ่มต้น

4. เลือก [i, j] คู่ที่จะมาเข้าเส้นทางที่ในข้อที่ 3 ได้เลือกไว้ โดยเงื่อนไขในการเลือกเข้าเส้นทาง มีดังนี้

4.1 คู่ที่จะเข้ามาต้องอยู่คนละเส้นทาง และหากมีเส้นทางอยู่แล้ว จะนำเข้ามาในเส้นทางนี้ไม่ได้

4.2 คู่ที่จะนำเข้ามา จะต้องต่อด้านหน้า หรือด้านหลังเท่านั้น

4.3 คู่ที่จะนำเข้ามา จะต้องไม่เกินข้อจำกัดทางด้านเวลา

ถ้าผ่าน 3 เงื่อนไขที่กล่าวมา จะสามารถนำ Node นั้น เข้ามาสู่เส้นทางได้

5. เมื่อได้เส้นทางแรกมาแล้ว ให้กลับไปทำข้อที่ 3 และข้อที่ 4 ใหม่ จนกว่าทุก Node หรือลูกค้าที่มีความต้องการ หรือ Demand จะได้รับการตอบสนองทั้งหมด

รูปแบบที่ 2 Nearest neighbor heuristics

1. เมื่อได้รายชื่อลูกค้าที่มีความต้องการ ณ วันนั้น ๆ แล้ว เริ่มทำการค้นหาลูกค้าที่ใกล้ที่สุด จาก Depot แล้วนำเข้าสู่เส้นทาง

2. เมื่อได้ลูกค้าคนแรกแล้ว ทำการหาลูกค้ารายถัดไปเพื่อเข้าสู่เส้นทาง จากการดูว่า ลูกค้าคนไหนที่อยู่ใกล้กับลูกค้าคนแรกมากที่สุด เพื่อนำเข้าสู่เส้นทาง

3. ทำการตรวจสอบว่า หากนำลูกค้ารายนั้นเข้ามาแล้ว จะทำให้เกินเงื่อนไขหรือไม่ หากไม่เกิน จะนำเข้าสู่เส้นทาง และถ้าหากเกิน ให้ย้อนกลับไปทำข้อที่ 1 ใหม่ โดยจะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าลูกค้าทุกคนได้รับการตอบสนองต่อความต้องการ

รูปแบบที่ 3 Sweep heuristics

1. เมื่อได้รายชื่อลูกค้าที่มีความต้องการ ณ วันนั้น ๆ แล้ว ทำการกวาดเพื่อจัดกลุ่ม โดยเริ่มจาก 3 นาฬิกา แล้วทำการกวาดไปทางทวนเข็มนาฬิกา เพื่อนำลูกค้าเข้าสู่เส้นทาง

2. เมื่อได้ลูกค้าเข้าสู่เส้นทาง ต้องทำการตรวจสอบว่า หากนำลูกค้ารายนั้นเข้ามาแล้วจะทำให้เกินเงื่อนไขหรือไม่ หากไม่เกิน จะนำเข้าสู่เส้นทาง และถ้าหากเกินให้ย้อนกลับไปทำข้อที่ 1 ใหม่ โดยไม่สนใจลูกค้าที่ถูกจัดกลุ่มแล้ว และจะทำซ้ำไปเรื่อย ๆ จนกว่าลูกค้าทุกคนได้รับการตอบสนองต่อความต้องการ

วิธีการจัดเส้นทางการเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา

1. เมื่อได้รายชื่อลูกค้าที่มีความต้องการ ณ วันนั้น ๆ แล้ว ทำการดูกลุ่มของลูกค้าว่า ลูกค้ารายไหนอยู่ภาคไหน เพื่อทำการจัดกลุ่ม

2. ทำการจัดเส้นทางเดินรถไปตามกลุ่มของลูกค้าที่ได้จัดทำไว้ในข้อที่ 1

3. ทำการตรวจสอบว่า เส้นทางที่ถูกจัดทำ ข้อไหนไม่เกินข้อจำกัด หากเกินข้อจำกัดให้กลับมาที่จุดเริ่มต้น แล้วทำการจัดเส้นทางไปหาลูกค้าเหล่านั้น โดยการจัดเส้นทางจะไม่มีการข้ามกลุ่มที่ถูกจัดไว้ในข้อที่ 1

4. ทำการตรวจสอบและจัดเส้นทางซ้ำไปจนกว่า ลูกค้าทั้งหมดจะได้รับการตอบสนอง

ในการจัดเส้นทางเดินรถของทุกเครื่องมือในงานวิจัยครั้งนี้ จะมีเงื่อนไขเพียงเงื่อนไขเดียวกัน คือ เวลาต้องไม่เกิน 840 นาที อ้างอิงตามเวลาเปิดและปิดของ Dock โดยจะเริ่มเปิดเวลา 5.00 น. ถึง 19.00 น. ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถในวิธีการต่าง ๆ ประกอบด้วย ลำดับของลูกค้าที่ต้องทำการส่งในเส้นทางนั้น ๆ ระยะเวลารวมต่อเส้นทางที่มีหน่วยเป็นนาที และระยะทางรวมที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ทั้งนี้ ผลลัพธ์ระยะทางรวมในแต่ละเส้นทางจะถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาต้นทุนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อเส้นทาง ปริมาณความต้องการรวม

ต่อเส้นทาง หน่วยเป็นลูกบาศ์กเซนติเมตร เพื่อนำไปจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทางที่เป็นผลลัพธ์ของแต่ละรูปแบบ

การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง

ในการจัดประเภทยานพาหนะ เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษามีรถอยู่หลายประเภท และเพื่อให้พื้นที่ที่ใช้ในการบรรทุกได้ใช้อย่างมีประสิทธิภาพสูงสุด ผู้วิจัยได้ทำการสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ โดยมีหลักการดังนี้ คือ หาความแตกต่างระหว่างปริมาณความต้องการต่อเส้นทางเทียบกับความสามารถในการบรรทุกของพาหนะแต่ละประเภท โดยจะเลือกปะเภทของยานพาหนะที่ให้ค่าความแตกต่างที่เข้าใกล้ 0 มากที่สุด มาใช้ในเส้นทาง โดยการจัดยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง จะดำเนินการหลังจากได้ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางเดินรถ

$$\text{Difference} = \left|\text{Total demand per route} - \text{Max capacity of vehicle}\right|$$

การคำนวณต้นทุนต่อเส้นทางเพื่อใช้ในการสรุปผล

ในเปรียบเทียบเพื่อสรุปผลหาเครื่องมือการจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมของบริษัทกรณีศึกษา จะทำการเปรียบเทียบต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นในแต่ละเส้นทาง ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ไปจนถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 รวมทั้งหมด 88 วัน โดยแบ่งแยกไปตามวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ และเลือกวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุด เพื่อใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถให้กับบริษัทกรณีศึกษา ในการคิดต้นทุนรวมต่อวันของแต่ละเส้นทางเดินรถจะเป็นไปตามสมการดังนี้

ต้นทุนรวมต่อเส้นทาง = ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อเส้นทาง
+ ต้นทุนค่าแรงงานต่อเส้นทาง (1)

ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงต่อเส้นทาง = ค่าเฉลี่ยอัตราการบริโภคน้ำมันของยานพาหนะที่ถูกจัด
x ระยะทางรวมต่อเส้นทาง (2)

ต้นทุนค่าแรงงานต่อเส้นทาง = (จำนวนยานพาหนะที่ใช้ x ค่าแรงรายวันของพนักงานขับรถขนส่งสินค้า) + (จำนวนยานพาหนะที่ใช้ x ค่าแรงรายวันของผู้ช่วยพนักงานขับรถขนส่งสินค้า) + ผลรวมค่าเที่ยวของพนักงานขับรถส่งสินค้าที่แบ่งไปตามประเภทยานพาหนะ (3)

บทที่ 4
ผลการวิจัย

เนื้อหาส่วนสำคัญของบทที่ 4 ในงานวิจัยฉบับนี้ คือ การนำเสนอถึงผลลัพธ์ของการดำเนินการต่าง ๆ ที่ได้แสดงไว้ในบทที่ 3 โดยผลลัพธ์ของการดำเนินงานวิจัยแบ่งออกเป็น 4 ส่วน เพื่อให้เป็นไปตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัย ดังนี้

1. ผลลัพธ์ของการดำเนินการเก็บรวมรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวบข้อมูล
2. ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย
3. ผลลัพธ์ของการจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง
4. ผลลัพธ์ที่แสดงต้นทุนรวมของแต่ละวิธีการรายวัน

ผลลัพธ์ของการดำเนินการเก็บรวมรวมข้อมูล เพื่อนำไปวิเคราะห์ข้อมูลตามวัตถุประสงค์ของการเก็บรวบรวบข้อมูล

ผลลัพธ์ของการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อทำการจัดเส้นทางด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบต่าง ๆ

ผลลัพธ์จากการเก็บรวบรวมข้อมูล เพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเครื่องมือ หรือวิธีการต่าง ๆ ประกอบด้วย 1) ปริมาณความต้องการรวมต่อวันของลูกค้าแต่ละราย และ 2) ระยะห่างระหว่าง Node i และ j มีเพียงแต่การจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาที่จำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูลเพิ่มในส่วนของกลุ่มลูกค้า ที่จัดให้เป็นไปตามภาคตามหลักภูมิศาสตร์ของประเทศไทย ร่วมอยู่เข้าไปเป็นตัวแปรเพิ่มเติมในการจัดเส้นทางเดินรถ ซึ่งเก็บอยู่ในตารางการเก็บข้อมูลพิกัด และสถานที่ตั้งของลูกค้าแต่ละราย

ปริมาณความต้องการรวมต่อวันของลูกค้าแต่ละราย

ปริมาณความต้องการรวมต่อวันของลูกค้าแต่ละราย ข้อมูลส่วนนี้ ผู้วิจัยได้ทำการแปลงข้อมูลจากหน่วยเดิมที่เป็นบาน ให้เป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ให้สอดคล้องกับหน่วยของความสามารถบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะแต่ละประเภท เป็นหน่วยลูกบาศก์เซนติเมตร โดยมีรายละเอียดอยู่ในตารางที่ 4 ซึ่งเป็นตารางแสดงตัวอย่างบางส่วนของยอดขายรายวันบางส่วนของบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 4 ปริมาณยอดขายรายวันบางส่วนของบริษัทกรณีศึกษา

วันที่	ลูกค้า	SKU	ปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่ง (บาน)	ปริมาตรของสินค้า (ลบ.ซม.)	ปริมาณความต้องการต่อคำสั่งซื้อ (ลบ.ซม.)
1/ 5/ 2566	ศรีสมาน	60318853	1	80,300	80,300
1/ 5/ 2566	ศรีสมาน	60364337	1	110,000	110,000
1/ 5/ 2566	บางแสน	60318855	1	96,360	96,360
1/ 5/ 2566	บางแสน	60334801	1	48,180	48,180

ข้อมูลที่แสดงอยู่ในคอลัมน์ปริมาณความต้องการต่อคำสั่งซื้อของตารางที่ 4 นั้น มาจากการนำขนาด ความกว้าง ความยาว และความสูงหน่วยเซนติเมตร หรือปริมาตรของสินค้า 1 หน่วย มาคูณกับปริมาณสินค้าที่ลูกค้าสั่ง (บาน) ซึ่งจะทำให้หน่วยของสินค้าจากบานเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร เพื่อหาปริมาณความต้องการรายวันของลูกค้าแต่ละราย ในส่วนถัดมาผู้วิจัยได้ใช้เครื่องมือ Pivot table ของโปรแกรม Microsoft excel ทำการรวมข้อมูลในคอลัมน์ปริมาณความต้องการต่อคำสั่งซื้อ โดยแบ่งออกเป็นของลูกค้าแต่ละราย เพื่อทำให้ทราบว่า ณ วันนั้น ๆ ต้องทำการจัดเส้นทางไปตอบสนอง โดยทำการรวมปริมาณความต้องการของลูกค้าแต่ละรายทุกวันตั้งแต่ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการจัดเส้นทางเดินรถ ดังภาพที่ 10 ซึ่งเป็นภาพแสดงวิธีการหาปริมาณความต้องการต่อคำสั่งซื้อ (ลบ.ซม.) โดยแบ่งเป็นของลูกค้าแต่ละราย ของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

วันที่	5/1/2566
Row Labels	**Sum of Sum demand**
เพชรบุรี	80,300
เพชรบูรณ์	2,080,400
แจ้งวัฒนะ	64,000
กำแพงเพชร	2,468,420
ขอนแก่น	128,000
ฉะเชิงเทรา	482,770
ชลบุรี	80,300
ชัยพฤกษ์	128,000
ตาก	864,000
นวมินทร์	335,800
บางแสน	655,420
บางนา	4,346,220
บางบอน	96,360
บางบัวทอง	1,590,220
บางพลี	389,100
บ้านฉาง	96,360
ปากช่อง	538,000
พระราม 2	803,600
พัทยาใต้	80,000
พิษณุโลก	261,360
มหาชัย	929,500
มหาสารคาม	1,900,400
รังสิตคลอง4	555,800
ลพบุรี	1,593,140
ลำลูกกา	178,700
ศรีสมาน	190,300
ศาลายา	424,600
สระบุรี	2,601,020
สุขสวัสดิ์	32,000
สุขาภิบาล3	926,720
สุพรรณบุรี	1,895,700
หนองจอก	401,500
อยุธยา	836,110
อ้อมน้อย	128,000
Grand Total	**28,162,120**

ภาพที่ 10 ปริมาณความต้องการของลูกค้าต่อวันของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

ระยะห่างระหว่าง Node i และ j

ลำดับแรกของการหาระยะห่างระหว่าง Node i และ j จำเป็นต้องรู้เกี่ยวกับพิกัดสถานที่ตั้งของลูกค้าแต่ละราย ที่จะนำเข้ามาใช้ในหาระยะห่างระหว่างจุด โดยใช้เครื่องมือ Google map ในการเก็บข้อมูลของส่วนของพิกัดและสถานที่ตั้งได้ การเก็บข้อมูลของกลุ่มที่ลูกค้าอยู่เพื่อนำไปใช้ทำการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม ที่บริษัทกรณีศึกษาได้ดำเนินการอยู่ ซึ่งผลลัพธ์จากการเก็บรวมรวมข้อมูลปรากฏดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ข้อมูลพิกัดและสถานที่ตั้งของลูกค้าและบริษัทกรณีศึกษา

Index	ลูกค้า	Latitude (X)	Longitude (Y)	Cluster
0	นครปฐม	14.02039676	100.2308976	Depot
1	ตาก	16.84982774	99.11099264	North
2	พิษณุโลก	16.81541455	100.3330745	North
3	เพชรบูรณ์	16.37539722	101.1194857	North
4	กำแพงเพชร	16.45685023	99.49481501	North
5	ศรีสมาน	13.93908596	100.5452053	Central
6	บางบัวทอง	13.92902219	100.4132742	Central
7	สุขาภิบาล3	13.81063538	100.7360563	Central
8	ลพบุรี	14.77358376	100.694764	Central
9	เพชรบุรี	12.72964308	99.9547497	Central
10	บางนา	13.65191244	100.6766468	Central
11	มหาชัย	13.5805216	100.3038406	Central
12	สุพรรณบุรี	14.47658269	100.1323741	Central
13	กาญจนบุรี	14.02035599	99.55425794	Central
14	ศาลายา	13.78708035	100.2727545	Central
15	ปทุมธานี	13.98264592	100.51511	Central
16	บางพลี	13.59339515	100.7639935	Central
17	นวมินทร์	13.82415147	100.6555425	Central
18	แจ้งวัฒนะ	13.89912421	100.5412406	Central
19	รังสิต	14.01644064	100.6129458	Central

ตารางที่ 5 (ต่อ)

Index	ลูกค้า	Latitude (X)	Longitude (Y)	Cluster
20	พระราม2	13.65294951	100.4231465	Central
21	ชัยพฤกษ์	13.93477316	100.4547789	Central
22	ลำลูกกา	13.93727833	100.7536895	Central
23	อ้อมน้อย	13.70598009	100.3014258	Central
24	หนองจอก	13.85540853	100.8560243	Central
25	สุขสวัสดิ์	13.66264888	100.5181881	Central
26	อยุธยา	14.3411574	100.6105362	Central
27	บางบอน	13.62521506	100.3548374	Central
28	รังสิตคลอง4	13.99899908	100.6755738	Central
29	เมืองเอก	13.96727976	100.6177651	Central
30	ชัยนาท	15.18176687	100.1366533	Central
31	สมุทรปราการ	13.61104179	100.6163479	Central
32	ชัยภูมิ	15.78774587	102.0326102	Northeast
33	ขอนแก่น	16.52406532	102.8301688	Northeast
34	มหาสารคาม	16.21287135	103.2734986	Northeast
35	สระบุรี	14.54318244	100.9499617	Northeast
36	นครราชสีมา	14.99000609	102.0525939	Northeast
37	ปากช่อง	14.65261844	101.4048939	Northeast
38	ฉะเชิงเทรา	13.66477736	101.0475175	East
39	ระยอง	12.67163718	101.3037024	East
40	บางแสน	13.31049833	100.9556297	East
42	พัทยาใต้	12.8872394	100.8969565	East
43	ชลบุรี	13.35675909	100.9988252	East
44	ศรีราชา	13.1419119	100.9844184	East
45	บ้านฉาง	12.73433796	101.0767784	East
46	บ่อวิน	13.03257019	101.096375	East

จากตารางที่ 5 แบ่งออกเป็น 5 คอลัมน์ คอลัมน์ที่ 1 คือ Index ในที่นี้ ใช้แทนรหัสของลูกค้าและโรงงาน เริ่มต้นจากรหัสที่ 0 เป็นรหัสของโรงงาน หรือสถานที่ที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดของเส้นทาง (Depot) ส่วนรหัสตั้งแต่ 1 ถึง 46 เป็นรหัสของลูกค้าที่จะต้องทำการนำส่ง หากมีปริมาณความต้องการในส่วนของ Index มีอีกหนึ่งสิ่งที่สำคัญ คือ การอ่านผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางเดินรถ ไม่ว่าจะอยู่ในรูปแบบ หรือวิธีการใดก็ตาม ผลลัพธ์จะแสดงอยู่ในรูปแบบของตัวเลข Index หากจะทำการแปลงตัวเลข Index มาเป็นชื่อของลูกค้า ต้องทำการเทียบจากข้อมูลในตารางที่ 5 คอลัมน์ที่ 2 ที่ระบุว่า Index ที่อยู่ในผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางเดินรถลูกค้าคือใคร คอลัมน์ที่ 3 และคอลัมน์ที่ 4 เป็นพิกัดของสถานที่ตั้ง โดยใช้เป็นค่าละติจูดและลองจิจูด โดยข้อมูลทั้ง 2 คอลัมน์นี้ ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหา Distance matrix ในลำดับต่อไป คอลัมน์ที่ 5 เป็นส่วนของภาค หรือกลุ่มที่ลูกค้าอยู่ เนื่องจากแต่เดิมบริษัทกรณีศึกษาได้ทำการจัดเส้นทางโดยแบ่งไปตามภาคข้อมูลในคอลัมน์ที่ 5 และถูกใช้ในการจัดเส้นทางในรูปแบบดั้งเดิมของบริษัท เมื่อได้พิกัดและสถานที่ของลูกค้าแต่ละราย การหาระยะทางจาก i ไป j เพื่อเก็บข้อมูลลงใน Distance matrix ผู้วิจัยใช้เครื่องมือที่มีชื่อว่า Google map ในการหาระยะห่างระหว่าง Node i และ j โดยจะเลือกเส้นทางที่สั้นที่สุดเท่านั้น Distance matrix ในงานวิจัยนี้ เป็นแบบ Asymmetric เนื่องจากในทางปฏิบัติ ระยะทางไปและกลับของ 2 สถานที่ อาจมีระยะทางที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากหลายปัจจัย เช่น ถนนบางเส้นทางสามารถเดินรถได้ทางเดียว สถานที่ที่ต้องนำส่งขากลับจะต้องไปกลับรถไกล ฯลฯ และทำการแปลง Distance matrix ที่หน่วยเป็นกิโลเมตร เป็น Time matrix เมื่อทำการแปลง Distance matrix ให้เป็น Time matrix จากตารางที่ 6 แล้ว ผลเป็นไปดังตารางที่ 7 ที่ตารางทั้ง 2 แสดงเพียงแค่ตัวอย่างบางส่วนของ Distance matrix และ Time matrix โดยหากต้องการดูตาราง Distance matrix และ Time matrix ขนาดเต็ม สามารถดูของทั้ง 2 ตารางได้จากภาคผนวกของงานวิจัยฉบับนี้

ตารางที่ 6 ตัวอย่างบางส่วนของ Distance matrix

D_{ij} (KM)	**นครปฐม**	**ตาก**	**พิษณุโลก**	**เพชรบูรณ์**
นครปฐม	0	395	367	343
ตาก	397	0	160	283
พิษณุโลก	361	159	0	158
เพชรบูรณ์	346	283	166	0

ตารางที่ 7 ตัวอย่างบางส่วนของ Time matrix

T_{ij} (Mins)	นครปฐม	ตาก	พิษณุโลก	เพชรบูรณ์
นครปฐม	0.00	296.25	275.25	257.25
ตาก	297.75	0.00	120.00	212.25
พิษณุโลก	270.75	119.25	0.00	118.50
เพชรบูรณ์	259.50	212.25	124.50	0.00

ผลลัพธ์ของการเก็บข้อมูล เพื่อใช้ในการจัดประเภทของยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง เนื่องจาก บริษัทกรณีศึกษามียานพาหนะหลายประเภทดังที่ปรากฏในตารางที่ 8 ทำให้งานวิจัยฉบับนี้ ภายหลังจากการหาผลลัพธ์ของการจัดเส้นทาง ผู้วิจัยได้ดำเนินการจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะกับปริมาณความต้องการรวมในแต่ละเส้นทาง โดยทางบริษัทกรณีศึกษามียานพาหนะอยู่ 7 ประเภท ประกอบด้วย รถกระบะแบบ 4 ที่นั่ง รถกระบะแบบ 2 ที่นั่ง รถกระบะตู้ทึบ รถ 6 ล้อกลาง รถ 6 ล้อใหญ่ รถ 10 ล้อ และรถ 6 ล้อพ่วง โดยรถแต่ละประเภทมีความสามารถในการบรรทุกสูงสุดที่แตกต่างกัน ซึ่งจะเรียงลำดับจากน้อยไปมาก ดังตารางที่ 8 ที่มีการเรียงลำดับปริมาตรในการบรรทุกสูงสุดเรียงจากน้อยที่สุดไปมากที่สุด

ตารางที่ 8 ความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของยานพาหนะแต่ละประเภท

ชนิด/ ขนาด	ชนิด/ ขนาด (ชื่อย่อ)	กว้าง (ซม.)	ยาว (ซม.)	สูง (ซม.)	ปริมาตรบรรทุกสูงสุด (ลบ.ซม.)
รถกระบะแบบ 4 ที่นั่ง	4WCabin	153	149	46.5	1,060,061
รถกระบะแบบ 2 ที่นั่ง	4WNocabin	153	220	46.5	1,565,190
รถกระบะตู้ทึบ	4WVan	153	220	210	7,068,600
รถ 6 ล้อกลาง	6WMedium	220	630	220	30,492,000
รถ 6 ล้อใหญ่	6Wlarge	230	630	230	33,327,000
รถ 10 ล้อ	10W	230	720	230	38,088,000
รถ 6 ล้อพ่วง	6WT	220	630	220	60,984,000

การเก็บรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้ในการคำนวณต้นทุนต่อเส้นทาง

ในงานวิจัยฉบับนี้ ได้ใช้วิธีการเปรียบเทียบต้นทุนรวมที่เกิดขึ้นของแต่ละวิธีการจัดเส้นทางทั้ง 4 รูปแบบ โดยต้นทุนประกอบด้วย 2 ส่วน คือ

1. ต้นทุนค่าแรงงาน

ค่าแรงงานประกอบด้วย 2 ส่วน คือ พนักงานขับรถขนส่งสินค้า และผู้ช่วยพนักงานขับรถขนส่งสินค้า เนื่องจากบริษัทกรณีศึกษาได้กำหนดให้ในรถ 1 คัน ต้องประกอบด้วยพนักงานขับรถขนส่งสินค้า และผู้ช่วยพนักงานขับรถขนส่งสินค้า ทั้ง 2 ตำแหน่ง ต้นทุนที่บริษัทต้องจ่ายเหมือนกัน คือ ค่าแรงรายวัน ตามตารางที่ 9 คอลัมน์ที่ 2 ในส่วนของต้นทุนค่าเที่ยว (เบี้ยเลี้ยง) จะเพิ่มให้กับพนักงานขับรถขนส่งสินค้า ซึ่งแบ่งไปตามประเภทของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งสินค้า

ตารางที่ 9 ข้อมูลค่าแรงงาน

ตำแหน่ง	ค่าแรงรายวัน (บาทต่อวัน)	ค่าเที่ยว (บาทต่อเที่ยว)			
		รถกระบะ	รถ 6 ล้อ	รถ 10 ล้อ	รถ 6 ล้อพ่วง
พนักงานขับรถขนส่งสินค้า	600	50	250	250	500
ผู้ช่วยพนักงานขับรถขนส่งสินค้า	340				

ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิง

ต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิงแบ่งตามประเภทของยานพาหนะ เนื่องจากอัตราการบริโภคน้ำมันของยานพาหนะแต่ละประเภทมีค่าที่แตกต่างกัน ดังแสดงในตารางที่ 10 โดยการแปรผันของต้นทุนค่าน้ำมันเชื้อเพลิง จะแปรผันไปตามระยะทางรวมในแต่ละเส้นทางกับประเภทยานพาหนะที่ใช้ในเส้นทาง โดยการคำนวณอัตราการบริโภคน้ำมันต่อเส้นทาง ได้ทำการหาค่าเฉลี่ยอัตราการบริโภคน้ำมันของยานพาหนะทุกคันที่อยู่ในเส้นทาง และนำไปคูณกับระยะทางรวมในแต่ละเส้นทาง

ตารางที่ 10 อัตราการบริโภคน้ำมันของยานพาหนะแต่ละประเภท

ชนิด/ ขนาด	ชนิด/ ขนาด (ชื่อย่อ)	อัตราการบริโภคน้ำมัน (บาทต่อกิโลเมตร)
รถกระบะแบบ 4 ที่นั่ง	4WCabin	2.586666667
รถกระบะแบบ 2 ที่นั่ง	4WNocabin	2.586666667
รถกระบะตู้ทึบ	4WVan	2.821818182
รถ 6 ล้อกลาง	6WMedium	4.775384615
รถ 6 ล้อใหญ่	6Wlarge	5.643636364
รถ 10 ล้อ	10W	6.897777778
รถ 6 ล้อพ่วง	6WT	6.208000000

ผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบต่าง ๆ ที่ใช้ในงานวิจัย

ผลลัพธ์ที่แสดงอยู่ในตารางที่ 11 เป็นผลลัพธ์ที่มาจากเครื่องมือที่ใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถที่ถูกสร้างขึ้น จากที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 โดยแบ่งออกเป็น 4 เครื่องมือด้วยกัน คือ 1) Sweep heuristics 2) Nearest neighbor heuristics 3) Clarke-Wright savings และ 4) วิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา

ตารางที่ 11 ผลลัพธ์ตัวอย่างการจัดเส้นทางเดินรถ ณ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

วันที่	ลำดับของลูกค้าในเส้นทางต่าง ๆ	ระยะเวลารวม (นาที)	ระยะทางรวมต่อเส้นทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณความต้องการรวมต่อเส้นทาง (ลบ.ซม.)
1/ 5/ 2566	**Sweep heuristics**			
	[0, 28, 22, 5, 24, 21, 18, 7, 38, 17, 6, 16, 10, 43, 40, 25, 45, 42, 20, 27, 23, 14, 0]	807.675	1,076.90	11,985,770

ตารางที่ 11 (ต่อ)

วันที่	ลำดับของลูกค้าในเส้นทางต่าง ๆ	ระยะเวลารวม (นาที)	ระยะทางรวมต่อเส้นทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณความต้องการรวมต่อเส้นทาง (ลบ.ซม.)
	[0, 11, 9, 4, 12, 0]	755.775	1,007.70	5,373,920
	[0, 2, 8, 0]	538.500	718.00	1,854,500
	[0, 33, 26, 35, 0]	708.750	945.00	3,565,130
	[0, 34, 0]	272.250	363.00	1,900,400
1/ 5/ 2566	**Nearest neighbor heuristics**			
	[0, 6, 21, 18, 5, 28, 22, 7, 17, 10, 16, 25, 20, 27, 11, 23, 14, 24, 38, 43, 40, 42, 45, 26, 35, 8, 12, 0]	763.875	1,018.50	19,841,240
	[0, 37, 33, 34, 0]	762.450	1,016.60	2,566,400
	[0, 9, 4, 0]	793.500	1,058.00	2,548,720
	[0, 2, 0]	546.000	728.00	261,360
1/ 5/ 2566	**Clarke-Wright savings**			
	[0, 34, 33,0]	757.125	1,009.50	2,028,400
	[0, 37, 2, 4, 8, 35, 26,0]	774.900	1,033.20	8,298,050
	[0, 9, 5, 18, 17, 28, 22, 7, 24, 38, 40, 42, 45, 43, 16, 10, 25, 20, 27, 11, 23, 14, 6, 12, 21,0]	824.625	1,099.50	14,891,270

ตารางที่ 11 (ต่อ)

วันที่	ลำดับของลูกค้าในเส้นทางต่าง ๆ	ระยะเวลารวม (นาที)	ระยะทางรวมต่อเส้นทาง (กิโลเมตร)	ปริมาณความต้องการรวมต่อเส้นทาง (ลบ.ซม.)
1/ 5/ 2566	**การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม**			
	[0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 0]	809.850	1,079.80	11,976,700
	[0, 33, 34, 35, 0]	759.450	1012.60	462,9420
	[0, 2, 4, 0]	610.500	814.00	272,9780
	[0, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 0]	535.800	714.40	355,9870
	[0, 38, 40, 42, 43, 45, 0]	441.750	589.00	1,394,850

ผลลัพธ์จากการนำข้อมูลที่ได้เก็บรวบรวมเพื่อทำการจัดเส้นทางเดินรถในรูปวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบต่าง ๆ ประกอบด้วย ลำดับของลูกค้าที่ต้องทำการส่งในเส้นทางนั้น ๆ ระยะเวลารวมต่อเส้นทางที่มีหน่วยเป็นนาที เพื่อใช้ทำการตรวจสอบว่า เส้นทางแต่ละเส้นทางจะไม่เกินข้อกำหนด ระยะทางรวมที่มีหน่วยเป็นกิโลเมตร ถูกนำไปใช้ในการคำนวณหาต้นทุนการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงต่อเส้นทาง ปริมาณความต้องการรวมต่อเส้นทาง หน่วยเป็นลูกบาศก์เซนติเมตร ถูกนำไปจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทางในทุก ๆ เส้นทางที่ถูกจัดออกมาจาก VRP ซึ่งสามารถดูได้จากตารางที่ 11 ซึ่งเป็นตารางที่ยกตัวอย่างผลลัพธ์ที่ออกมาจากการจัดเส้นทางของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ทั้งนี้ ผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางเดินรถด้วยเครื่องมือที่อยู่ในเทคนิค VRP ดังที่ปรากฏอยู่ในตารางที่ 11 นั้น มีทั้งหมด 88 ผลลัพธ์ เนื่องจากงานวิจัยฉบับนี้ จะทำการจัดเส้นทางทุกวันที่มีปริมาณความต้องการทั้งหมด ซึ่งสามารถตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 4 ในงานวิจัยครั้งนี้ ในเรื่องของการเรียงลำดับลูกค้าภายในเส้นทางเพื่อป้องกันการส่งไม่ถูกเวลา

ผลลัพธ์ของการจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง

ผลลัพธ์ของการจัดประเภทยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทาง มีรายละเอียดดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตัวอย่างผลลัพธ์จากการจัดประเภทยานพาหนะ ณ วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566

วันที่	ลำดับของลูกค้าในเส้นทางต่าง ๆ	ยานพาหนะที่ถูกจัดในแต่ละเส้นทาง
1/ 5/ 2566	**Sweep heuristics**	
	[0, 28, 22, 5, 24, 21, 18, 7, 38, 17, 6, 16, 10, 43, 40, 25, 45, 42, 20, 27, 23, 14, 0]	4WVan, 4WVan
	[0, 11, 9, 4, 12, 0]	4WVan
	[0, 2, 8, 0]	4WNocabin, 4WCabin
	[0, 33, 26, 35, 0]	4WNocabin, 4WNocabin, 4WCabin
	[0, 34, 0]	4WNocabin, 4WCabin
1/ 5/ 2566	**Nearest neighbor heuristics**	
	[0, 6, 21, 18, 5, 28, 22, 7, 17, 10, 16, 25, 20, 27, 11, 23, 14, 24, 38, 43, 40, 42, 45, 26, 35, 8, 12, 0]	6WMedium
	[0, 37, 33, 34, 0]	4WNocabin, 4WCabin
	[0, 9, 4, 0]	4WNocabin, 4WCabin
	[0, 2, 0]	4WCabin
1/ 5/ 2566	**Clarke-Wright savings**	
	[0, 34, 33, 0]	4WNocabin, 4WCabin
	[0, 37, 2, 4, 8, 35, 26, 0]	4WVan, 4WCabin, 4WCabin
	[0, 9, 5, 18, 17, 28, 22, 7, 24, 38, 40, 42, 45, 43, 16, 10, 25, 20, 27, 11, 23, 14, 6, 12, 21, 0]	4WVan, 4WVan, 4WCabin

ตารางที่ 12 (ต่อ)

วันที่	ลำดับของลูกค้าในเส้นทางต่าง ๆ	ยานพาหนะที่ถูกจัดในแต่ละเส้นทาง
1/ 5/ 2566	**การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม**	
	[0, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 14, 0]	4WVan, 4WVan
	[0, 33, 34, 35, 0]	4WVan
	[0, 2, 4, 0]	4WNocabin, 4WCabin, 4WCabin
	[0, 17, 18, 20, 21, 22, 23, 24, 25, 26, 27, 28, 0]	4WNocabin, 4WNocabin, 4WCabin
	[0, 38, 40, 42, 43, 45, 0]	4WNocabin

จากตารางที่ 12 แสดงผลลัพธ์ของการจัดยานพาหนะให้เหมาะสมกับเส้นทางนั้น ๆ ของวันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 โดยในคอลัมน์ที่มีชื่อว่า ยานพนหนะที่ถูกจัดในแต่ละเส้นทาง สามารถบ่งบอกว่า เส้นทางนั้น ๆ ควรใช้รถประเภทไหนในการตอบสนองต่อความต้องการ โดยผลลัพธ์จากการจัดประเภทยานพาหนะนั้น จะถูกนำไปใช้ต่อในส่วนของการคำนวณต้นทุน ของแต่ละเส้นทาง เพื่อทำการเปรียบเทียบและสรุปผลในส่วนถัดไป จากผลลัพธ์ในตารางที่ 12 ซึ่งแสดงผลลัพธ์จากการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง โดยใช้สูตรทางคณิตศาสตร์ (สมการในบทที่ 3 หัวข้อ การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง หน้าที่ 29) ที่ผู้วิจัยได้สร้างขึ้นมา จะสามารถตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 3 ได้ เนื่องจากสมการที่ถูกใช้เพื่อหาประเภทของยานพาหนะ ที่ทำให้ค่าความแตกต่างระหว่างความต้องการรวมต่อเส้นทางกับพื้นที่บรรทุกของยานพาหนะแต่ละประเภท ที่ให้ค่าน้อยที่สุด

ผลลัพธ์ที่แสดงต้นทุนรวมของแต่ละวิธีการรายวัน

จากการนำต้นทุนรายวันของแต่ละวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ทั้งหมด 88 วัน ดังที่ปรากฏอยู่ในตารางที่ 13 นั้น มาทำการรวม โดยแบ่งแยกในแต่ละวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ผลลัพธ์จะเป็นดังตารางที่ 14 ซึ่งเป็นตารางที่แสดงต้นทุนรวมต่อวันของแต่ละวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ที่ใช้ในงานวิจัยฉบับนี้ เพื่อใช้ในการเลือกวิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมให้กับบริษัทกรณีศึกษา เพื่อที่จะสามารถตอบวัตถุประสงค์ข้อที่ 1 และข้อที่ 2 ของงานวิจัยฉบับนี้ จะเห็นได้ว่า วิธีการ Clarke-Wright savings ให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด เมื่อดูจากแผนภูมิแท่งในภาพที่ 11 และตารางที่ 14

ตารางที่ 13 ต้นทุนรวมต่อวันของแต่ละวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ จำนวน 88 วัน

Date	Sweep heuristic	Nearest neighbor heuristic	Clarke-Wright savings	การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม
5/ 1/ 2023	21,022.95	18,253.12	16,301.18	21,281.38
5/ 2/ 2023	21,080.71	18,374.74	16,836.31	20,562.93
5/ 3/ 2023	27,346.04	19,878.90	17,771.41	21,503.73
5/ 4/ 2023	22,453.20	19,904.55	20,473.98	24,965.02
5/ 5/ 2023	24,889.29	21,205.52	20,254.40	21,366.93
5/ 6/ 2023	24,963.38	18,609.98	15,882.59	28,024.72
5/ 7/ 2023	22,945.10	23,645.77	19,890.15	26,515.58
5/ 8/ 2023	24,852.72	20,393.44	21,097.15	18,554.37
5/ 9/ 2023	23,163.24	21,325.60	18,244.24	21,793.52
5/ 12/ 2023	17,433.44	20,745.73	17,716.88	20,858.25
5/ 14/ 2023	25,557.28	17,532.49	23,052.70	20,857.21
5/ 15/ 2023	26,289.62	19,502.92	20,089.56	24,032.29
5/ 16/ 2023	27,418.26	20,948.61	16,894.12	22,894.37
5/ 17/ 2023	24,816.65	23,154.55	26,230.75	30,231.87
5/ 18/ 2023	26,217.57	18,741.86	19,633.73	25,682.21
5/ 19/ 2023	25,786.85	19,337.16	18,158.63	23,927.48
5/ 20/ 2023	26,608.45	18,296.62	19,970.15	26,102.46
5/ 21/ 2023	23,115.32	21,600.24	18,712.81	24,865.67
5/ 22/ 2023	20,792.51	18,758.78	14,694.66	21,621.37
5/ 23/ 2023	22,501.31	20,311.00	21,417.78	24,968.00
5/ 24/ 2023	24,207.10	19,809.22	20,240.65	27,008.92
5/ 25/ 2023	25,083.76	21,868.35	24,115.99	25,917.01
5/ 26/ 2023	23,760.43	21,332.99	26,374.58	26,795.09
5/ 27/ 2023	23,510.32	22,426.70	24,029.12	31,485.00
5/ 28/ 2023	27,932.60	21,537.32	21,495.47	21,311.81

ตารางที่ 13 (ต่อ)

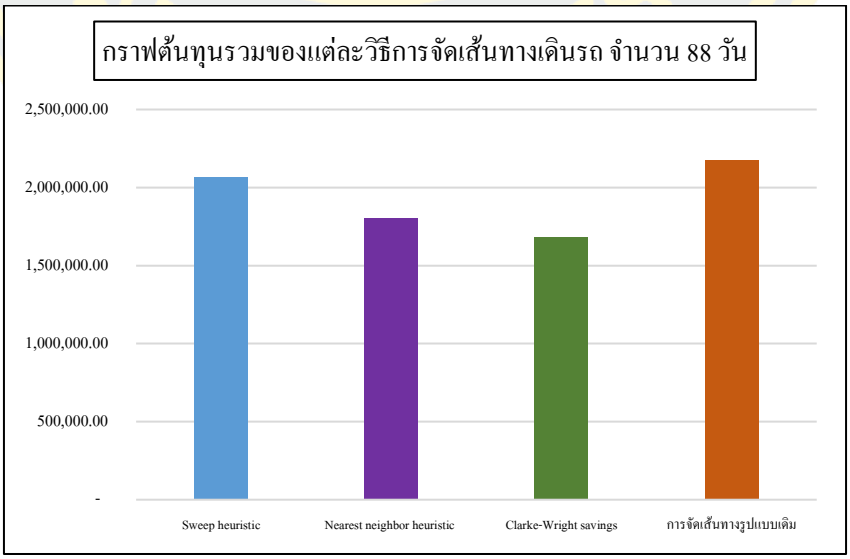
Date	Sweep heuristic	Nearest neighbor heuristic	Clarke-Wright savings	การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม
5/ 29/ 2023	26,202.89	21,686.60	18,824.65	26,569.46
5/ 30/ 2023	25,046.65	19,012.13	13,910.32	25,303.35
5/ 31/ 2023	25,776.54	17,863.53	13,892.82	24,459.81
6/ 1/ 2023	17,213.71	16,722.55	15,149.97	20,215.04
6/ 2/ 2023	25,661.84	21,950.58	21,681.25	25,288.15
6/ 3/ 2023	25,614.22	26,409.55	16,556.18	27,137.34
6/ 4/ 2013	22,687.56	19,726.16	22,431.27	27,261.39
6/ 5/ 2023	22,682.85	21,911.05	19,161.16	29,253.47
6/ 6/ 2023	23,072.98	20,786.26	21,062.46	25,139.24
6/ 7/ 2023	25,431.11	21,197.71	18,810.91	23,421.17
6/ 8/ 2023	24,223.60	22,331.14	17,684.86	24,897.88
6/ 9/ 2023	23,174.04	22,394.99	17,823.22	22,130.30
6/ 10/ 2023	28,389.30	27,420.73	23,622.00	28,910.10
6/ 11/ 2023	31,627.87	23,097.39	19,358.68	29,854.16
6/ 12/ 2023	23,948.62	17,630.83	16,267.77	22,387.56
6/ 13/ 2023	30,172.64	22,156.35	17,774.85	26,381.73
6/ 14/ 2023	16,491.77	18,079.42	17,889.04	24,595.85
6/ 15/ 2023	23,153.12	23,553.31	19,426.46	24,232.20
6/ 16/ 2023	23,352.47	20,215.08	18,052.21	18,074.57
6/ 17/ 2023	21,868.18	18,705.62	21,893.27	28,493.36
6/ 18/ 2023	21,869.48	19,969.02	24,146.32	30,134.95
6/ 19/ 2023	21,335.62	20,462.17	18,627.43	27,253.49
6/ 20/ 2023	21,335.64	19,297.75	18,721.31	25,503.40
6/ 21/ 2023	23,645.51	22,172.26	18,431.54	25,732.38
6/ 22/ 2023	22,158.51	20,411.33	19,262.17	25,396.60

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Date	Sweep heuristic	Nearest neighbor heuristic	Clarke-Wright savings	การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม
6/ 23/ 2023	23,526.26	16,702.91	16,387.31	21,984.15
6/ 24/ 2023	24,188.54	20,666.04	21,491.91	26,590.47
6/ 26/ 2023	25,528.16	23,491.66	18,211.62	22,275.82
6/ 27/ 2023	16,056.81	20,296.45	18,006.83	21,266.93
6/ 28/ 2023	23,648.64	17,041.82	22,643.32	24,558.68
6/ 29/ 2023	26,202.89	19,178.41	15,553.39	27,559.46
6/ 30/ 2023	22,593.02	20,971.64	21,692.27	22,368.12
7/ 1/ 2023	21,936.23	23,220.35	20,408.03	25,571.02
7/ 2/ 2023	19,673.98	22,586.34	20,490.95	26,659.57
7/ 3/ 2023	20,609.16	21,139.72	19,315.98	18,572.53
7/ 4/ 2023	23,295.68	20,379.96	19,489.17	23,516.43
7/ 5/ 2023	27,446.81	19,135.44	18,477.42	26,079.42
7/ 6/ 2023	19,980.78	13,739.23	18,959.43	24,222.87
7/ 7/ 2023	24,546.74	19,789.55	19,606.32	27,630.85
7/ 8/ 2023	25,986.51	27,549.71	20,973.03	25,257.08
7/ 9/ 2023	17,360.55	27,117.59	15,960.43	26,415.68
7/ 10/ 2023	20,708.25	20,078.18	13,956.38	22,127.50
7/ 11/ 2023	23,870.16	22,770.63	20,744.85	27,228.96
7/ 12/ 2023	24,933.25	23,020.12	20,161.05	24,863.00
7/ 13/ 2023	23,005.02	19,350.17	19,794.89	22,568.12
7/ 14/ 2023	17,343.24	20,605.66	18,153.47	28,105.31
7/ 15/ 2023	21,328.70	22,877.37	17,853.29	25,966.16
7/16/ 2023	22,699.09	22,248.67	19,903.09	27,757.53
7/ 17/ 2023	22,138.31	20,951.22	15,861.79	23,635.56
7/ 18/ 2023	23,811.56	21,329.72	19,864.54	26,089.65

ตารางที่ 13 (ต่อ)

Date	Sweep heuristic	Nearest neighbor heuristic	Clarke-Wright savings	การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม
7/ 19/ 2023	27,035.69	21,832.02	17,582.68	27,520.41
7/ 20/ 2023	27,995.19	18,186.69	21,011.17	24,718.06
7/ 21/ 2023	16,619.82	15,051.85	20,536.38	21,675.06
7/ 22/ 2023	23,856.54	17,094.81	18,351.17	26,527.27
7/ 23/ 2023	23,359.05	20,260.27	18,983.27	24,270.62
7/ 24/ 2023	25,674.65	19,677.02	15,811.63	23,364.64
7/ 25/ 2023	19,254.01	16,786.27	18,996.49	23,031.73
7/ 26/ 2023	23,509.42	18,270.11	21,419.96	24,718.51
7/ 27/ 2023	25,822.00	19,762.27	18,939.42	27,162.94
7/ 28/ 2023	25,162.41	23,300.94	21,533.40	23,923.78
7/ 29/ 2023	25,624.61	21,810.28	19,446.47	25,361.13
7/ 30/ 2023	17,946.56	14,922.11	12,735.30	20,052.89
7/ 31/ 2023	23,531.11	15,925.60	15,604.12	22,180.91



ภาพที่ 11 ต้นทุนรวม จำนวน 88 วัน แบ่งตามวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ

ตารางที่ 14 ต้นทุนรวมทั้ง 88 วัน ของทั้ง 4 รูปแบบการจัดเส้นทางเดินรถ

	Sweep heuristic	**Nearest neighbor heuristic**	**Clarke-Wright savings**	**การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม**
ต้นทุนรวมทั้ง 88 วัน แต่ละวิธีการจัดเส้นทาง (บาท)	2,067,694.22	1,80,778.43	1,684,953.35	2,174,532.91

บทที่ 5
สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ

บทนี้ เป็นบทสรุปของงานวิจัย ที่ผู้วิจัยได้ดำเนินการศึกษาในครั้งนี้ เพื่อหาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่มีประสิทธิภาพให้กับบริษัทกรณีศึกษา และข้อเสนอแนะของผู้วิจัย

บทสรุปงานวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยในการหาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบริษัทกรณีศึกษา โดยใช้ข้อมูลยอดขายทั้งหมด 88 วัน ตั้งแต่วันที่ 1 พฤษภาคม พ.ศ. 2566 ถึงวันที่ 31 กรกฎาคม พ.ศ. 2566 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้ คือ วิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Clarke-Wright savings เพราะวิธีการจัดเส้นทางเดินรถนี้ สามารถเพิ่มประสิทธิภาพให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้เป็นอย่างดี วิธีการจัดเส้นทางแบบ Clarke-Wright savings ให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด โดยภายใน 88 วันใช้ต้นทุน 1,684,953.35 บาท รองลงมาจะเป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Nearest neighbor heuristic ภายใน 88 วัน ใช้ต้นทุน 1,801,778.43 บาท ต่อมาเป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Sweep heuristic ภายใน 88 วันใช้ต้นทุน 2,067,694.22 บาท และวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ให้ต้นทุนที่สูงที่สุด คือ การจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา ภายใน 88 วัน ใช้ต้นทุน 2,174,532.91 บาท และหากเมื่อนำวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา มาเปรียบเทียบต้นทุนกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ที่นำเสนออยู่ในงานวิจัยตามตารางที่ 15 แล้ว ภายใน 88 วัน วิธีการ Clarke-Wright savings สามารถทำให้บริษัทกรณีศึกษาประหยัดต้นทุนไปได้ 489,579.55 บาท หรือคิดเป็น 22.51% ของการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม ภายในระยะเวลา 88 วัน

ตารางที่ 15 ผลต่างของต้นทุนระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม กับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่นำเสนอในงานวิจัยครั้งนี้

วิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่นำเสนอในงานวิจัย	ผลต่างของต้นทุนระหว่างวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่นำเสนอในงานวิจัย (บาท)
Sweep heuristic	106,838.69
Nearest neighbor heuristic	372,754.48
Clarke-Wright savings	489,579.55

กล่าวโดยสรุปงานวิจัยฉบับนี้ จากปัญหาที่บริษัทกรณีศึกษากำลังประสบอยู่ในเรื่องของการเกิดต้นทุนซ้ำซ้อนของกิจกรรมการขนส่ง รวมถึงปัญหาในเรื่องของการส่งสินค้าช้า หรือเร็วเกินไป อาจเรียกด้วยคำง่าย ๆ ว่า การขนส่งไม่ถูกต้องตามเวลาที่กำหนด ซึ่งทำให้เกิดวัตถุประสงค์ที่ต้องการที่จะลดต้นทุนในกิจกรรมการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา และค้นหาวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมกับบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นวัตถุประสงค์หลักของงานวิจัยในครั้งนี้ จากการทดลองวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่อยู่ในรูปแบบ Heuristic ตามทฤษฎีที่ผู้วิจัยได้ศึกษามา เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษา พบว่า วิธีการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธี Heuristic ทั้ง 3 วิธี สามารถช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของต้นทุนที่ซ้ำซ้อนในกิจกรรมการขนส่งได้อย่างมีนัยสำคัญ แต่วิธีการที่เหมาะสมที่สุดของบริษัทกรณีศึกษา คือ Clarke-Wright savings และเนื่องด้วยผลลัพธ์ของการจัดเส้นทางเดินรถมีการลำดับลูกค้าในการขนส่งอย่างชัดเจน ทำให้ช่วยแก้ปัญหาในเรื่องของการส่งไม่ถูกเวลาให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้ในเวลาเดียวกัน อีกทั้งผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางด้วยวิธี Heuristic หากนำมาเข้าสมการทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการจัดประเภทของยานพาหนะในงานวิจัยในครั้งนี้ ยังสามารถทำให้ประสิทธิภาพการใช้ยานพานะให้เหมาะสมกับเส้นทางดีขึ้น จากการที่ช่องว่าง หรืออากาศที่ต้องบรรทุกไปลดลง

ข้อสังเกตของผู้วิจัย พบว่า วิธีการจัดเส้นทางเดินรถแบบ Nearest neighbor heuristic และ Clarke-Wright savings เป็นวิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถลดต้นทุนให้กับบริษัทกรณีศึกษาได้อยู่ในกลุ่มใกล้เคียงกัน เนื่องจากทั้ง 2 วิธีการนี้ มีวัตถุประสงค์ที่คล้ายกัน ส่วนของ Nearest neighbor heuristic ต้องการที่จะหาลูกค้าที่ใกล้ที่สุด เพื่อทำการนำเข้าสู่เส้นทาง หมายถึงลูกค้าที่นำเข้าสู่เส้นทางนั้น จะเป็นตัวเลือกที่ทำให้ต้นทุนต่ำที่สุด ซึ่งมีความคล้ายกับวิธีการ Clarke-Wright savings วิธีการจัดเส้นทางนี้ จะเลือกลูกค้าที่มีค่าความประหยัดที่มากที่สุดเข้าสู่เส้นทาง โดยในสมการหาค่าความประหยัดตัวแปรต้น คือ ต้นทุนระหว่างจุด ซึ่งหมายความได้ว่าหากต้นทุนระหว่างจุดยิ่งต่ำ จะทำให้ค่าความประหยัดยิ่งสูง ในส่วนของวิธีการ Sweep heuristic ที่ต้นทุนสูง เนื่องมาจากการกระจายตัวของลูกค้าของบริษัทกรณีศึกษา ไม่ได้มีการกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอโดยรอบในทุกทิศทาง ซึ่งกลุ่มลูกค้าจะมีการกระจุกตัวอยู่ในควอแดรนท์ (Quadrant) ทางขวาบน เมื่อมองจาก Depot ทำให้ลูกค้าในกลุ่มนั้น มีโอกาศทำให้เกิดประสิทธิภาพในการจัดเส้นทาง แต่ลูกค้าที่อยู่ในควอแดรนท์ (Quadrant) อื่น ๆ จะทำให้การจัดเส้นทางด้วยวิธีนี้ อาจมีเส้นทางเดินรถที่อยู่ในลักษณะ Direct shipment ทำให้ใช้ต้นทุนมาก ส่วนสุดท้าย เป็นส่วนของวิธีการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิมของบริษัทกรณีศึกษาที่ทำให้ต้นทุนสูงสุด มาจากเหตุผล

ที่ความต้องการของลูกค้าในแต่ละกลุ่มมีความผันผวน ทำให้หากกลุ่มใดกลุ่มหนึ่งมีความต้องการที่ไม่มากพอ จะทำให้เกิดเส้นทางที่อยู่ในลักษณะ Direct shipment ซึ่งจะทำให้เกิดต้นทุนที่สูงขึ้น

ข้อเสนอแนะงานวิจัย

ข้อเสนอแนะเพื่อนำงานวิจัยนี้ไปใช้กับบริษัท หรือผู้ประกอบการ

ข้อเสนอแนะสำหรับบริษัท หรือผู้ประกอบการที่มีกิจกรรมการขนส่งเป็นของตนเอง ที่จะนำวิจัยฉบับนี้ไปใช้ในการจัดเส้นทางเดินรถ ด้วยวิธี Heuristic โดยมีข้อจำกัดเดียวกับบริษัทกรณีศึกษา คือ เวลาที่มีอยู่อย่างจำกัด และมียานพาหนะหลากหลายประเภทใช้เลือกใช้ เพื่อให้ต้นทุนในกิจกรรมการขนส่งลดลง และยังได้ผลประโยชน์ในการเพิ่มประสิทธิภาพจากการใช้ยานพาหนะที่มากยิ่งขึ้น จากการจัดเส้นทางเดินรถด้วยวิธีการ Heuristic เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดกับบริษัท หรือผู้ที่นำวิจัยนี้ไปใช้ ควรนำผลลัพธ์จากการจัดเส้นทางเดินรถที่ในส่วนที่แสดงลำดับของลูกค้าในแต่ละเส้นทาง ไปทำการจัดเรียงสินค้าเข้าพื้นที่บรรทุกให้เป็นไปตามลำดับอย่างมีระบบ หรือเรียกได้ว่า มีการวางแผนการจัดเรียนสินค้าเข้าพื้นที่บรรทุก เหตุผลมาจากในงานวิจัยในครั้งนี้ ลำดับของลูกค้าที่เป็นผลลัพธ์ ใช้ปัจจัยทางด้านเวลามาเป็นข้อกำหนดในการเลือกลูกค้าเข้าเส้นทาง หากเกิดการหยุดชะงักที่ลูกค้า ที่ใดที่หนึ่ง อาจทำให้ไม่สามารถตอบสนองลูกค้าในลำดับถัด ๆ ไป ในเวลาที่กำหนดได้ ในอีกหนึ่งส่วนสำคัญในการนำงานวิจัยนี้ไปใช้ เนื่องจากผู้วิจัยได้ทำการจัดเส้นทางเดินรถเป็นลำดับแรกแล้ว จึงทำการจัดยานพาหนะเข้าสู่เส้นทาง ทำให้ใน 1 เส้นทาง จะมียานพาหนะอยู่หลายคัน ซึ่งมีประโยชน์เพียงพอในการจัดทรัพยากรต่าง ๆ เพื่อให้มีเพียงพอต่อการขนส่ง ถ้าหากผู้ประกอบการ หรือผู้นำผลงานวิจัยฉบับนี้ไปดำเนินการต่อ เพื่อได้เส้นทางเดินรถที่เป็นผลลัพธ์ของ VRP แล้วจะต้องทำการจัดยานพาหนะใหม่อีก 1 ครั้ง โดยกำหนดให้ข้อจำกัดเป็นความสามารถในการบรรทุกสูงสุดของประเภทยานพาหนะ โดยประเภทของยานพาหนะดูจากผลลัพธ์ในการจัดประเภทยานพาหะในการจัดเส้นทางครั้งที่ 1 หากทำตามวิธีการดังกล่าว บริษัท หรือผู้ประกอบการสามารถกำหนดได้ว่า เส้นทางไหนใช้รถประเภทไหน

ข้อเสนอแนะเพื่อเป็นแนวทางในการศึกษาในภายภาคหน้า

จากผลการทดลองทั้งหมด 88 วัน ดังภาพที่ 12 ผู้วิจัย พบว่า หากนำวิธีการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบที่ต่างกัน ให้สอดคล้องกับวันที่ทำการจัดเส้นทางเดินรถ โดยดูต้นทุนของแต่ละวิธีการที่ให้ต้นทุนที่ต่ำที่สุด อาจจะทำให้ประสิทธิภาพสูงขึ้น เนื่องจากในภาพที่ 12 ภายในกรอบสีแดง จะเห็นได้ว่า ในแต่ละวัน วิธีการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดจะไม่เหมือนกัน โดยพิจารณาจากต้นทุนที่ต่ำที่สุด หากจัดเส้นทางเดินรถแบบที่มีความยืดหยุ่นในวิธีการจัดเส้นทางเดินรถ ผู้วิจัย

เห็นว่า จะเป็นอีกหนึ่งช่องทางในการช่วยลดต้นทุนในการขนส่ง และเพิ่มประสิทธิภาพให้กับการขนส่งสินค้าได้

Date	Sweep heuristic	Nearest neighbor heuristic	Clarke-Wright savings	การจัดเส้นทางรูปแบบเดิม	best algorith
5/1/2023	21,022.95	18,253.12	16,301.18	21,281.38	saving
5/2/2023	21,080.71	18,374.74	16,836.31	20,562.93	saving
5/3/2023	27,346.04	19,878.90	17,771.41	21,503.73	saving
5/4/2023	22,453.20	19,904.55	20,473.98	24,965.02	nearest
5/5/2023	24,889.29	21,205.52	20,254.40	21,366.93	saving
5/6/2023	24,963.38	18,609.98	15,882.59	28,024.72	saving
5/6/2023	22,945.10	23,645.77	19,890.15	26,515.58	saving
5/8/2023	24,852.72	20,393.44	21,097.15	18,554.37	cluster
5/9/2023	23,163.24	21,325.60	18,244.24	21,793.52	saving
5/12/2023	17,433.44	20,745.73	17,716.88	20,858.25	sweep
5/14/2023	25,557.28	17,532.49	23,052.70	20,857.21	nearest
5/15/2023	26,289.62	19,502.92	20,089.56	24,032.29	nearest
5/16/2023	27,418.26	20,948.61	16,894.12	22,894.37	saving
5/17/2023	24,816.65	23,154.55	26,230.75	30,231.87	nearest
5/18/2023	26,217.57	18,741.86	19,633.73	25,682.21	nearest
5/19/2023	25,786.85	19,337.16	18,158.63	23,927.48	saving
5/20/2023	26,608.45	18,296.62	19,970.15	26,102.46	nearest
5/21/2023	23,115.32	21,600.24	18,712.81	24,865.67	saving
5/22/2023	20,792.51	18,758.78	14,694.66	21,621.37	saving
5/23/2023	22,501.31	20,311.00	21,417.78	24,968.00	cluster
5/24/2023	24,207.10	19,809.22	20,240.65	27,008.92	nearest
5/25/2023	25,083.76	21,868.35	24,115.99	25,917.01	nearest
5/26/2023	23,760.43	21,332.99	26,374.58	26,795.09	nearest
5/27/2023	23,510.32	22,426.70	24,029.12	31,485.00	nearest
5/28/2023	27,932.60	21,537.32	21,495.47	21,311.81	cluster
5/29/2023	26,202.89	21,686.60	18,824.65	26,569.46	saving
5/30/2023	25,046.65	19,012.13	13,910.32	25,303.35	saving
5/31/2023	25,776.54	17,863.53	13,892.82	24,459.81	saving
6/1/2023	17,213.71	16,722.55	15,149.97	20,215.04	saving
6/2/2023	25,661.84	21,950.58	21,681.25	25,288.15	saving
6/3/2023	25,614.22	26,409.55	16,556.18	27,137.34	saving
6/4/2013	22,687.56	19,726.16	22,431.27	27,261.39	nearest
6/5/2023	22,682.85	21,911.05	19,161.16	29,253.47	saving
6/6/2023	23,072.98	20,786.26	21,062.46	25,139.24	nearest
6/7/2023	25,431.11	21,197.71	18,810.91	23,421.17	saving
6/8/2023	24,223.60	22,331.14	17,684.86	24,897.88	saving
6/9/2023	23,174.04	22,394.99	17,823.22	22,130.30	saving
6/10/2023	28,389.30	27,420.73	23,622.00	28,910.10	saving
6/11/2023	31,627.87	23,097.39	19,358.68	29,854.16	saving
6/12/2023	23,948.62	17,630.83	16,267.77	22,387.56	saving
6/13/2023	30,172.64	22,156.35	17,774.85	26,381.73	saving
6/14/2023	16,491.77	18,079.42	17,889.04	24,595.85	sweep
6/15/2023	23,153.12	23,553.31	19,426.46	24,232.20	saving
6/16/2023	23,352.47	20,215.08	18,052.21	18,074.57	saving
6/17/2023	21,868.18	18,705.62	21,893.27	28,493.36	nearest
6/18/2023	21,869.48	19,969.02	24,146.32	30,134.95	nearest
6/19/2023	21,335.62	20,462.17	18,627.43	27,253.49	saving
6/20/2023	21,335.64	19,297.75	18,721.31	25,503.40	saving
6/21/2023	23,645.51	22,172.26	18,431.54	25,732.38	saving
6/22/2023	22,158.51	20,411.33	19,262.17	25,396.60	saving
6/23/2023	23,526.26	16,702.91	16,387.31	21,984.15	saving
6/24/2023	24,188.54	20,666.04	21,491.91	26,590.47	nearest
6/26/2023	25,528.16	23,491.66	18,211.62	22,275.82	saving
6/27/2023	16,056.81	20,296.45	18,006.83	21,266.93	sweep
6/28/2023	23,648.64	17,041.82	22,643.32	24,558.68	nearest
6/29/2023	26,202.89	19,178.41	15,553.39	27,559.46	saving
6/30/2023	22,593.02	20,971.64	21,692.27	22,368.12	nearest
7/1/2023	21,936.23	23,220.35	20,408.03	25,571.02	saving
7/2/2023	19,673.98	22,586.34	20,490.95	26,659.57	sweep
7/3/2023	20,609.16	21,139.72	19,315.98	18,572.53	cluster
7/4/2023	23,295.68	20,379.96	19,489.17	23,516.43	saving
7/5/2023	27,446.81	19,135.44	18,477.42	26,079.42	saving
7/6/2023	19,980.78	13,739.23	18,959.43	24,222.87	nearest
7/7/2023	24,546.74	19,789.55	19,606.32	27,630.85	saving
7/8/2023	25,986.51	27,549.71	20,973.03	25,257.08	saving
7/9/2023	17,360.55	27,117.59	15,960.43	26,415.68	saving
7/10/2023	20,708.25	20,078.18	13,956.38	22,127.50	saving
7/11/2023	23,870.16	22,770.63	20,744.85	27,228.96	saving
7/12/2023	24,933.25	23,020.12	20,161.05	24,863.00	saving
7/13/2023	23,005.02	19,350.17	19,794.89	22,568.12	nearest
7/14/2023	17,343.24	20,605.66	18,153.47	28,105.31	sweep
7/15/2023	21,328.70	22,877.37	17,853.29	25,966.16	saving
7/16/2023	22,699.09	22,248.67	19,903.09	27,757.53	saving
7/17/2023	22,138.31	20,951.22	15,861.79	23,635.56	saving
7/18/2023	23,811.56	21,329.72	19,864.54	26,089.65	saving
7/19/2023	27,035.69	21,832.02	17,582.68	27,520.41	saving
7/20/2023	27,995.19	18,186.69	21,011.17	24,718.06	nearest
7/21/2023	16,619.82	15,051.85	20,536.38	21,675.06	nearest
7/22/2023	23,856.54	17,094.81	18,351.17	26,527.27	nearest
7/23/2023	23,359.05	20,260.27	18,983.27	24,270.62	saving
7/24/2023	25,674.65	19,677.02	15,811.63	23,364.64	saving
7/25/2023	19,254.01	16,786.27	18,996.49	23,031.73	nearest
7/26/2023	23,509.42	18,270.11	21,419.96	24,718.51	nearest
7/27/2023	25,822.00	19,762.27	18,939.42	27,162.94	saving
7/28/2023	25,162.41	23,300.94	21,533.40	23,923.78	saving
7/29/2023	25,624.61	21,810.28	19,446.47	25,361.13	saving
7/30/2023	17,946.56	14,922.11	12,735.30	20,052.89	saving
7/31/2023	23,531.11	15,925.60	15,604.12	22,180.91	saving
total cost	2,067,694.22	1,801,778.43	1,684,953.35	2,174,532.91	

ภาพที่ 12 วิธีการจัดเส้นทางเดินรถที่ให้ต้นทุนต่ำที่สุดในแต่ละวัน

บรรณานุกรม

กวีร์วรรธณ์ วิพัฒน์กิจไพศาล. (2558). *การเพิ่มประสิทธิภาพด้านโลจิสติกส์ กรณีศึกษา บริษัท XSquare จำกัด*. วิทยานิพนธ์บริการธุรกิจมหาบัณฑิต, สาขาวิชาบริหารธุรกิจ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย.

คำนาย อภิปรัชญาสกุล. (2559). การจัดการการขนส่งและการกระจายสินค้าเชิงกลยุทธ์: *Strategic transport and distribution management*. กรุงเทพฯ: โฟกัสมีเดีย แอนด์ พับลิชชิ่ง.

นวรรณ สืบสายลา. (2561). การจัดเส้นทางการขนส่งปุ๋ยเคมีชีวภาพ โดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายและปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง กรณีศึกษา บริษัท ABC. *ราชภัฏเลยวิชาการ ประจำปี 2561*.

นฤมล ไชยโคตร, ภรปภากร อธิชญานันท์, รติรัตน์ กิตติปัญญาพัฒน์ และสิรเดช ชาตินิยม. (2560). การศึกษาเปรียบเทียบกระบวนการฮิวริสติกส์ในการจัดการการขนส่งสำหรับโรงงาน กรณีศึกษา โรงงานจำหน่ายอุปกรณ์ระบบงานไฟฟ้า. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ, 12*(2), 168-177.

ปัญญวัตน์ จันทร์ชัยภักดิ์. (2561). *การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถรับส่งนักเรียน: กรณีศึกษา กรณีศึกษา โรงเรียนประสิทธิ์ศึกษาสงเคราะห์*. วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตร มหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยอุบลราชธานี.

พรพรรณ โตโภชนพันธุ์. (2558). การจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อลดการใช้น้ำมันเชื้อเพลิงให้ต่ำสุดภายใต้ข้อจำกัดในการบรรทุกสินค้า: กรณีศึกษา บริษัทจำหน่ายสินค้าประเภทอุปโภคบริโภค. *วารสารวิชาการบริหารธุรกิจ, 4*(1), 92-101.

ไพโรจน์ แสนดี, อนันทชัย ชำนาญหมอ และสุนาริน จันทะ. (2557). การศึกษาเส้นทางเดินรถในการเคลื่อนย้ายผู้ประสบอุทกภัยออกจากพื้นที่อันตรายเมื่อระดับน้ำสูง กรณีศึกษา: ตำบลลาดสวาย อำเภอลำลูกกาจังหวัดปทุมธานี. *วารสารวิชาการอุตสาหกรรมศึกษา 8*(1), 61-71.

รวิช วงศ์สวัสดิ์ และจักร ติงศภัทิย์. (2564). การพัฒนาประสิทธิภาพของการบริหารระบบขนส่งด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. *Journal of Business Administration and Languages, 9*(3), 34-48.

บรรณานุกรม (ต่อ)

รวีโรจน์ ป้องทรัพย์. (2564). *การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษา บริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์.* วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, บัณฑิตวิทยาลัย, มหาวิทยาลัยบูรพา.

ศรีศรินทร์ สุขสุทธิ. (2563). อิทธิพลของข้อมูลทางการบัญชีที่ส่งผลต่อประสิทธิผลในการบริหารงานของผู้จัดการโรงงาน ในนิคมอุตสาหกรรมบางพลี จังหวัดสมุทรปราการ. *วารสารวิชาการเซาธ์อีสท์บางกอก (สาขามนุษยศาสตร์และสังคมศาสตร์), 6*(1), 12-25.

ศรีรักษ์ ศรีทองชัย. (2562). อัลกอริทึ่มการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขตสำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ภายใต้ความน่าจะเป็นที่กลับไปยังจุดเริ่มเดินทาง. *วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา, 30*(1), 65-74.

ศิรดา หัสนันท์, สุริยันต์ จอมธนชัย, ธัญดา แสงวิไล และวชิราภรณ์ จันทร์โพธนุกุล. (2563). *การจัดเส้นทางการเดินรถ: กรณีศึกษา บริษัทแปรรูปอาหารทะเล.* ใน *การประชุมวิชาการระดับนานาชาติและระดับชาติด้านบริหารธุรกิจและการบัญชี 2564.* เชียงใหม่ ศูนย์ประชุมนานาชาติเอ็มเพรส โรงแรม ดิ เอ็มเพรส เชียงใหม่.

สำนักงานสภาพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2565). *Thailand's logistic report*. เข้าถึงได้จาก https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=12898

Avdoshin, S. M., & Beresneva, E. N. (2019). Constructive heuristics for capacitated vehicle routing problem: A comparative study *Trudy ISP RAN/ Proc. ISP RAS, 31*(3), 145-156.

Bansal, S. (2013). *Issues in solving vehicle routing problem with time window and its variants using meta heuristics-a survey*. Retrieve from https://www.researchgate.net/figure/Solution-algorithms-for-VRP-and-its-variant_fig2_282689785

Chandra, A., & Naro, R. (2020). A comparative study of capacitated Vehicle routing problem heuristics model. *International Journal of Engineering and Emerging Technology, 5*(2), 94-100.

Islam, M., Ghosh, S., & Rahman, R. (2015). Solving capacitated Vehicle routing problem by using heuristic approaches: A case study. *Journal of Modern Science and Technology, 3*(1), 135-146.

บรรณานุกรม (ต่อ)

Kasanah, U. S., Qisthani, N. N., & Munang, A. (2022). Solving the capacitated vehicle routing problem with heterogeneous fleet using heuristic algorithm in poultry distribution. *Jurnal Ilmiah Teknik Industri, 21*(1), 104-112.

Kumar, S., & Jayachitra, R. (2016). Linear sweep algorithm for Vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery between two depots with several nodes. *Global Journal of Pure and Applied Mathematics, 12*(1), 897-908.

Kwangcheol, S., & Sangyong, H. (2011). A centroid-based heuristic algorithm for the capacitated vehicle routing problem. *Computing and Informatics, 30*, 721-732.

Mazidi, A. (2017). *Meta-heuristic approaches for solving travelling salesman problem.* Retrieve from Retrieve from https://www.researchgate.net/figure/An-example-of-TSP-a-location-of-40-cities-B-Optimal-path-for-travelling-salesman_fig1_320961227

Shanker, R. B. S., Reddy, D. R., & Venkataramaiah, V. (2018). Solution to a capacitated vehicle routing problem using heuristics and firefly algorithm. *International Journal of Applied Engineering Research, 13*, 15247-15254.

Tran-Dang, H. (2023). *3D Spatial modeling of stacked containers based on wireless sensor network: Application to the physical internet.* Retrieve from https://www.researchgate.net/figure/A-typical-model-of-a-supply-chain-encompassing-the-three-main-flows-of-products-and_fig37_321240584

Vanitchakornpong, K. (2023). Contemporary marketing mix factors affecting user in Chonburi province intention to use smartphone food ordering apps during Covid-19 pandemic. *Journal of Management Sciences Suratthani Rajabhat University, 10*(2), 359-376.

Xiaoyan, L. (2015). *Capacitated vehicle routing problem with time windows: A case study on pickup of dietary products in nonprofit organization.* Master of Science. Arizona State University.

บรรณานุกรม

ประวัติย่อของผู้วิจัย

ชื่อ-สกุล	นายกลวัชร จารุพัฒน์	
วัน เดือน ปี เกิด	30 พฤษภาคม พ.ศ. 2541	
สถานที่เกิด	กรุงเทพมหานคร	
สถานที่อยู่ปัจจุบัน	978/ 59 ถนนบรมราชชนนี แขวงบางบำหรุ เขตบางพลัด กรุงเทพมหานคร	
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2563	เศรษฐศาสตรบัณฑิต (เศรษฐศาสตร์เกษตรและทรัพยากร) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
	พ.ศ. 2567	วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต (การจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน) มหาวิทยาลัยบูรพา

มหาวิทยาลัยบูรพา
BURAPHA UNIVERSITY