การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น

โดย
นางสาวแพรวผกา หลงแป้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น

โดย
นางสาวแพรวผกา หลงแป้น

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการและการจัดการ
มหาวิทยาลัยศิลปากร
ปีการศึกษา 2566
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยศิลปากร

DEVELOPMENT OF VEHICLE ROUTING PROBLEM BY 2-PHASE HEURISTICS ALGORITHM

By

MISS Praewpaka LHONGPAEN

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for Master of Engineering ENGINEERING MANAGEMENT

Department of INDUSTRIAL ENGINEERING AND MANAGEMENT

Academic Year 2023

Copyright of Silpakorn University

หัวข้อ	การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น
โดย	นางสาวแพรวผกา หลงแป้น
สาขาวิชา	การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	อาจารย์ ดร. พีรพงศ์ ภควณิช

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร ได้รับพิจารณาอนุมัติให้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา ตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์และ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. อรุณศรี ลีจีรจำเนียร) เทคโนโลยีอุตสาหกรรม

พิจารณาเห็นชอบโดย

.....ประธานกรรมการ
(อาจารย์ ดร. สิทธิชัย แซ่เหล่ม)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาหลัก
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์)

.....อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(อาจารย์ ดร. พีรพงศ์ ภควณิช)

.....ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอก
(รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัญญา วสุศรี)

650920020 : การจัดการงานวิศวกรรม แผน ก แบบ ก 2 ปริญญามหาบัณฑิต
คำสำคัญ : ฮิวริสติกส์แบบสองขั้น, ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ, การจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค, ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ, ขั้นตอนวิธีการปีนเขา

นางสาว แพรวผกา หลงแป้น: การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก : ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. คเณศ พันธุ์สวาสดิ์

ต้นทุนการขนส่งถือว่าเป็นต้นทุนหลักของระบบโลจิสติกส์ การจัดการด้านการขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพจึงส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ บทความนี้จึงศึกษาแนวทางแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งเป็นแนวทางที่ช่วยให้ผู้ประกอบการลดต้นทุนการขนส่งโดยประยุกต์ใช้การเขียนโปรแกรม Visual Basic บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางต่ำที่สุดภายใต้จำนวนคันรถที่กำหนด และเพื่อสร้างโปรแกรมที่ช่วยวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น หรือหลักการ Cluster First-Route Second (CFRS) จากการวิเคราะห์ข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทจำหน่ายเครื่องมือแพทย์ พบว่ามีลูกค้ากระจายตัวอยู่ 5 ภูมิภาค จึงได้นำข้อมูลตำแหน่งพิกัดของลูกค้ามาใช้วิธี CFRS โดยทำการจัดกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยของเค และจัดลำดับเส้นทางของลูกค้าแต่ละกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ จากนั้นทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์กับวิธีที่มีการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา ผลการศึกษาพบว่า การใช้วิธี CFRS ร่วมกับการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา มีระยะทางการขนส่งที่ดีว่าวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิมโดยมีระยะทางรวมลดลงคิดเป็นร้อยละ 58.43 อีกทั้งมีการทดลองวิเคราะห์การหาค่า K ที่เหมาะสมกับปัญหาโดยตั้งสมมติฐานขึ้น 2 กรณี กรณีที่ 1 พบว่าเมื่อมีศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง ผลลัพธ์ด้านระยะทางนั้นเพิ่มขึ้นตามค่า K กรณีที่ 2 พบว่าเมื่อไม่มีการพิจารณาถึงศูนย์กระจายสินค้ามีผลลัพธ์ด้านระยะทางที่ดีที่สุดอยู่ที่ค่า K เท่ากับ 9 สรุปได้ว่าการวิเคราะห์ค่า K จะให้ผลลัพธ์ที่ดีหรือไม่ดีนั้นขึ้นอยู่กับการเลือกประยุกต์ใช้ให้เข้ากับรูปแบบของปัญหา สามารถนำไปเป็นเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจเพื่อศูนย์กระจายสินค้าได้ และโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นจากทฤษฎีดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนจัดเส้นทางการเดินรถได้จริง

650920020 : Major ENGINEERING MANAGEMENT
Keyword : 2-Phase heuristics, Vehicle routing problem, K-mean clustering, Greedy algorithm, Hill climbing algorithm

MISS Praewpaka LHONGPAEN : Development of Vehicle Routing Problem by 2-Phase Heuristics Algorithm Thesis advisor : Assistant Professor Dr. Kanate Puntusavase

Transportation costs are considered the main costs of the logistics system. Inefficient transportation management therefore affects total logistics costs. This research therefore investigates solutions for solving efficient vehicle routing problems. This guideline helps entrepreneurs reduce transportation costs by applying Visual Basic programming. This research aims to find the shortest distance route under the specified number of vehicles and create a program that helps plan transportation routes by applying two-phase heuristics based on the Cluster First-Route Second (CFRS). The data analysis of the case study company, a medical equipment distribution company, found customers scattered in 5 regions. Therefore, the coordinates of all customers were collected. Then use the CFRS to cluster customer groups by K-Means, sequence the customer routes in each group with Greedy Algorithm, and compare the results with the method where the Hill climbing Algorithm (HCA) improved the results. The result of the study found that using the CFRS with the HCA has a better distance than the original routing. The total distance decreased by 58.43 percent. In addition, there was an experiment to analyze finding the K value that was appropriate for the problem by making assumptions in 2 cases. Case 1 found that when there was 1 distribution center, the distance results increased according to the K value. Case 2 found that without considering the distribution center, the best distance result was at a K value of 9. In conclusion, K value analysis will give good or bad results, it depends on the selection of the appropriate one for the type of problem and can be used as a decision-making tool for distribution centers. Finally, the program developed from such a theory can be applied in actual transportation planning, and the program developed from the above theory can be practically applied to vehicle routing problems.

มหาวิทยาลัยศิลปากร

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.คเณศ พันธุ์สวาสดิ์ ที่ได้มีเมตตาให้ความช่วยเหลือ แนะนำแนวทางในการศึกษาค้นคว้างานวิจัย สนับสนุนวิชาความรู้ในทางทฤษฎี ไม่ว่าจะเป็นการคิดวิเคราะห์ การพัฒนาโปรแกรม และคำแนะนำทางปฏิบัติ รวมถึงการอบรมด้านจริยธรรมอันดี ซึ่งเป็นประโยชน์ต่อการปฏิบัติงานและการดำเนินชีวิต และยังคอยช่วยชี้แนะแนวทางในการนำเสนอผลงานให้กำลังใจและสร้างแรงผลักดันให้ผู้วิจัยสามารถดำเนินงานวิจัยนี้จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณอาจารย์ ดร.สิทธิชัย แซ่เหล่ม รองศาสตราจารย์ ดร. ธนัญญา วสุศรี ที่กรุณาให้ความรู้ คำแนะนำในการปรับปรุงแก้ไขการทำวิทยานิพนธ์เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ของผลงานที่มีประสิทธิภาพ

ขอขอบพระคุณอาจารย์พีรพงศ์ ภควณิช ที่ได้มอบความรู้และสนับสนุนข้อมูลที่จำเป็นต่อการดำเนินงานวิจัยโดยการพาไปเยี่ยมชมโรงงานกรณีศึกษาเพื่อเก็บข้อมูลที่สำคัญและเป็นประโยชน์ต่อการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณบริษัทกรณีศึกษาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับสนับสนุนการดำเนินงานวิจัยทางด้านข้อมูลและส่วนงานต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วง

ขอขอบพระคุณครอบครัวที่เป็นกำลังใจ เป็นแรงผลักดันและให้การสนับสนุนในทุกด้านจนสามารถทำให้งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จด้วยดี

ประการสุดท้ายนี้ ขอขอบพระคุณพี่ ๆ น้อง ๆ เพื่อนนักศึกษาปริญญาโทหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากรทุกท่านที่ได้ให้กำลังใจและความช่วยเหลือซึ่งกันและกันในตลอดเวลาศึกษาอยู่ ขอขอบพระคุณผู้เกี่ยวข้องทุกท่านมา ณ โอกาสนี้

แพรวผกา หลงแป้น

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ช

สารบัญ ..... ซ

สารบัญตาราง ..... ฎ

สารบัญรูปภาพ ..... ฎ

บทที่ 1 1

บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย 2

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย 2

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 2

บทที่ 2 3

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 3

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 3

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) 3

2.1.2 การจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multi Traveling Salesman Problem, MTSP) 7

2.1.3 การหาคำตอบแบบค่าประมาณ (Approximate Solution) 8

2.1.4 วิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น (2-Phase Heuristics) 10

2.1.5 วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-Means Clustering) 11

2.1.6 ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Algorithm) 12
2.1.7 ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm) 13
2.1.8 โปรแกรม Visual Basic 14
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 15
บทที่ 3 25
วิธีการดำเนินงาน 25
3.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา 26
3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่ง 27
3.3 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยของเค 28
3.4 การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ 29
3.6 การพัฒนาโปรแกรมช่วยวางแผนการจัดเส้นทาง 31
บทที่ 4 32
ผลการดำเนินงาน 32
4.1 การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งในรูปแบบเดิม 32
4.2 ผลลัพธ์จากการแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค 33
4.3 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทาง 34
4.4 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา 36
4.5 ผลลัพธ์จากการทดลองวิเคราะห์ค่า K 41
บทที่ 5 45
สรุปผล 45
5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านเส้นทาง 45
5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองค่า K 46
5.3 ข้อเสนอแนะ 47
รายการอ้างอิง 48

ประวัติผู้เขียน 52

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 5
ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของวิธีฮิวริสติกส์ 10
ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 20
ตารางที่ 4 จำนวนเส้นทาง ณ ปัจจุบัน โดยแบ่งตามภูมิภาค 27
ตารางที่ 5 แสดงการเก็บข้อมูลพิกัดจุดของจุดเริ่มต้นในแผ่นงานที่ 1 27
ตารางที่ 6 แสดงการเก็บข้อมูลพิกัดจุดของลูกค้าในแผ่นงานที่ 2 28
ตารางที่ 7 ผลลัพธ์ด้านระยะทางของการจัดเส้นทางรูปแบบเดิม 32
ตารางที่ 8 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางของแต่ละกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ 34
ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา 37
ตารางที่ 10 การทดลองค่า K กับตัวแบบปัญหา กรณีมี DC 1 แห่ง 42
ตารางที่ 11 การทดลองค่า K กับตัวแบบปัญหา กรณีไม่มี DC 42

มหาวิทยาลัยศิลปากร

สารบัญรูปภาพ

หน้า

ภาพที่ 1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ 4

ภาพที่ 2 ตัวอย่างวิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น 10

ภาพที่ 3 ตัวอย่างขั้นตอนวิธีแบบละโมบ 13

ภาพที่ 4 ขั้นตอนวิธีการปีนเขา 13

ภาพที่ 5 แผนผังกระบวนการดำเนินงานวิจัย 25

ภาพที่ 6 ลักษณะของรถที่ใช้ในการขนส่งจริง 26

ภาพที่ 7 แผนผังกระบวนการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค 29

ภาพที่ 8 แผนผังกระบวนการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ 29

ภาพที่ 9 แผนผังกระบวนการปรับปรุงคำตอบด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา 30

ภาพที่ 10 แผนผังกระบวนการพัฒนาโปรแกรม 31

ภาพที่ 11 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมแบ่งกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค 33

ภาพที่ 12 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ 36

ภาพที่ 13 แผนภูมิเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างเส้นทางเดิมและเส้นทางจากโปรแกรม 39

ภาพที่ 14 ตัวอย่างการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา 40

ภาพที่ 15 เส้นทางจากการวิเคราะห์ค่า K = 1 และ 9 กรณีมี DC 1 แห่ง 43

ภาพที่ 16 แผนภูมิวิเคราะห์ค่า K กรณีมี DC 1 แห่ง 43

ภาพที่ 17 เส้นทางจากการวิเคราะห์ค่า K = 1 และ 9 กรณีไม่มี DC 44

ภาพที่ 18 แผนภูมิวิเคราะห์ค่า K กรณีไม่มี DC 44

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของงานวิจัย

การบริหารจัดการด้านโลจิสติกส์ทำให้การดำเนินงานของธุรกิจและเศรษฐกิจสามารถขับเคลื่อนอย่างก้าวหน้า ไม่ว่าจะเป็นในส่วนของการจัดซื้อจัดหาวัตถุดิบ การวางแผนการผลิต การบรรจุภัณฑ์ การส่งสินค้าให้ถึงลูกค้าอย่างปลอดภัยและตรงเวลา รวมถึงการบริการลูกค้าให้เกิดความพึงพอใจ ปัจจัยสำคัญคือต้นทุนของการจัดการโลจิสติกส์ เพราะการจัดการด้านโลจิสติกส์ที่ดีจะสามารถลดต้นทุน เพิ่มกำไรให้กับธุรกิจ สร้างความได้เปรียบทางการแข่งขัน โดยในที่นี้จะกล่าวถึงต้นทุนการขนส่ง (Transportation Cost) ซึ่งถือเป็นต้นทุนหลักของระบบโลจิสติกส์ ในกระบวนการกระจายสินค้าจากผู้ผลิตไปสู่ผู้บริโภคมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องอยู่หลายประการ เช่น จำนวนและขนาดของรถที่ใช้ขนส่งสินค้า ปริมาณของสินค้าที่จะจัดส่งและเวลาในการขนส่ง เป็นต้น การจัดการด้านการขนส่งที่ไม่มีประสิทธิภาพจะส่งผลกระทบต่อต้นทุนรวมทางด้านโลจิสติกส์ จึงเกิดการพยายามศึกษาค้นหาแนวทางแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพสามารถลดระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งและตอบสนองความต้องการของลูกค้า (Demand) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นแนวทางที่ช่วยให้ผู้ประกอบการลดต้นทุนการขนส่งลงได้

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นปัญหาที่มีการศึกษาและกล่าวถึงอย่างแพร่หลาย [1] โดยจะมีการกำหนดเงื่อนไขและข้อจำกัดเพื่อให้ปัญหามีความหลากหลายมากขึ้น แต่ก็ยังไม่พบว่ามีวิธีการใดที่สามารถแก้ปัญหาได้อย่างสมบูรณ์ เนื่องจากปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาที่ถือว่าซับซ้อน [2] จึงมีการนำเสนอวิธีการหาคำตอบแบบฮิวริสติกส์ (Heuristics) แทนวิธีการหาทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด เพื่อหาคำตอบให้ได้ในเวลาที่รวดเร็ว โดยในงานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาอัลกอริทึมและพัฒนาระบบเพื่อช่วยสนับสนุนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าที่มีขนาดและที่ตั้งที่หลากหลายและแตกต่างกัน ทำการขนส่งด้วยยานพาหนะที่เหมือนกัน จากที่ตั้งจุดกระจายสินค้าที่มีแห่งเดียว เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่าย ประหยัดเวลาในการขนส่งและสามารถจัดเส้นทางการขนส่งให้ตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างเป็นระบบ

การศึกษาวิจัยนี้ได้อาศัยข้อมูลของบริษัทจำหน่ายเครื่องมือแพทย์แห่งหนึ่งเป็นกรณีศึกษาซึ่งเป็นบริษัทจัดจำหน่ายเครื่องมือแพทย์รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชีย โดยมีกลุ่มลูกค้าเป็นผู้ให้บริการทางการแพทย์และสถาบันการแพทย์ทั้งภาครัฐและเอกชน ในปัจจุบันดำเนินธุรกิจใน 9 ประเทศทั่วภูมิภาค บริษัทจัดการระบบการขนส่งสินค้าโดยอาศัยการทำงานด้วยประสบการณ์และความชำนาญ

ของผู้วางแผน ซึ่งอาจจะต้องใช้เวลานานในการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่ง ดังนั้นเพื่อนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการขนส่งที่มีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นโดยใช้หลักการจัดกลุ่มก่อน - จัดเส้นทางทีหลัง (Cluster First - Route Second: CFRS) ซึ่งประกอบด้วยการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-Means Clustering) และการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Algorithm) หลังจากนั้นปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm) และทำการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุงผลลัพธ์ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรม Visual Basic เพื่อศึกษาและนำเสนอแนวทางการแก้ปัญหาเส้นทางการขนส่งของยานพาหนะ รวมถึงหาเส้นทางในการขนส่งที่มีระยะทางที่ต่ำที่สุด และพัฒนาโปรแกรมเข้ามาสนับสนุนในด้านการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น อีกทั้งในตอนท้ายของการวิจัยได้มีการทดลองวิเคราะห์หาค่า K ที่เหมาะสมกับลักษณะปัญหาซึ่งอาจจะเป็นประโยชน์ต่อการพิจารณาจำนวนกลุ่มหรือจำนวนคันรถอย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อสร้างโปรแกรมที่ช่วยวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นร่วมกับการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

1.2.2 เพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางต่ำที่สุดภายใต้จำนวนคันรถที่กำหนด

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

งานวิจัยประยุกต์ใช้วิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น โดยเริ่มต้นด้วยการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคและตามด้วยการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ จากนั้นทำการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขาแล้วจึงเปรียบเทียบผลลัพธ์ ร่วมกับการพัฒนาโปรแกรม Visual Basic มาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทาง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถนำโปรแกรมไปใช้ในการจัดเส้นทางการขนส่ง

1.4.2 สามารถสร้างความสมดุลให้กับค่าใช้จ่ายและจำนวนงานของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้

1.4.3 สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า

บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

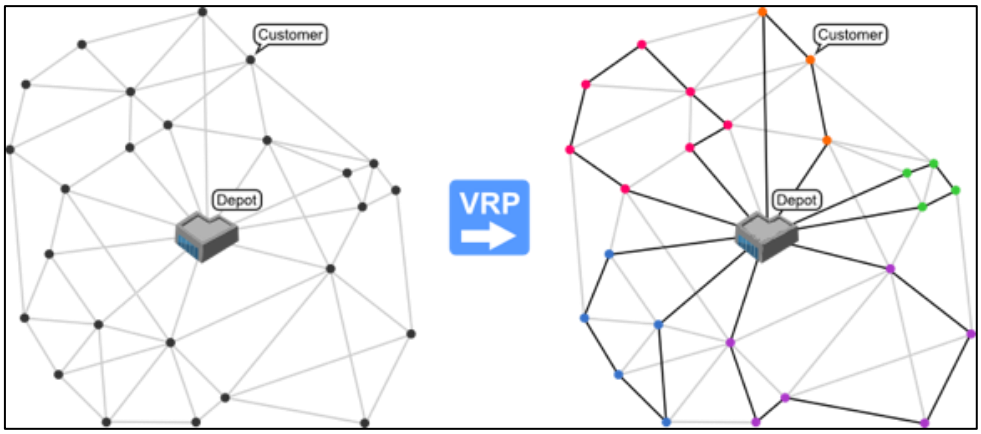
ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาค้นคว้าเกี่ยวกับการแก้ปัญหาการขนส่งในบริษัทกรณีศึกษาโดยอาศัยวิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น ที่สามารถนำมาวางแผนและแก้ปัญหาการขนส่งได้โดยใช้การพัฒนาโปรแกรมเข้ามาช่วยในการประมวลผล ผู้วิจัยได้ศึกษาแนวคิด ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อใช้เป็นแนวทางของข้อมูลสำหรับการศึกษาและทำวิจัย โดยมีสาระสำคัญดังนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถเป็นปัญหาที่สำคัญในด้านโลจิสติกส์อย่างหนึ่ง โดยหมายถึงการขนส่งวัตถุดิบจากผู้ผลิต (Supplier หรือ Vendor) ไปยังโรงงานที่ผลิตสินค้า (Factory Plant) หรือการขนส่งสินค้าไปยังคลังเก็บสินค้า (Warehouse) หรือลูกค้า (Customer) [3] โดยทั่วไปบริษัทต้องการหาวิธีการขนส่งสินค้าและการกระจายสินค้าที่มีประสิทธิภาพ เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของบริษัท ซึ่งค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานนั้นประกอบไปด้วย จำนวนการใช้ยานพาหนะที่น้อยลง ระยะทางในการขนส่งที่น้อยลง การลดระยะเวลาและความล่าช้าในการขนส่งสินค้าและการเพิ่มระดับการให้บริการในด้านการขนส่ง เป็นต้น การจัดเส้นทางแบบดั้งเดิมมีหลักการสำคัญภายใต้เงื่อนไข 4 ประการ [4] คือ 1) ในแต่ละเส้นทางจะต้องมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ณ ตำแหน่งเดียวกัน 2) ปริมาณความต้องการของลูกค้าต้องไม่เกินปริมาณความจุของยานพาหนะ 3) ลูกค้าแต่ละรายต้องได้รับการบริการจากรถขนส่งสินค้าคันเดียวเท่านั้น และ 4) ต้นทุนโดยรวมของแต่ละเส้นทางมีค่าที่ต่ำที่สุด โดยปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแสดงดังภาพที่ 1

จากทฤษฎีที่กล่าวมาข้างต้นทำให้เห็นว่าปัญหา VRP เป็นปัญหาการกำหนดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดจากจุดต้นทางหนึ่งจุด ไปยังปลายทางต่างๆโดยคำนึงถึงข้อจำกัดเฉพาะต่างๆของธุรกิจนั้นๆ อาทิเช่น ข้อจำกัดด้านยานพาหนะและทรัพยากร ข้อจำกัดด้านเวลา ข้อจำกัดด้านระยะทาง เป็นต้น ซึ่งวัตถุประสงค์ของการออกแบบและจัดเส้นทางการเดินรถเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่เหมาะสมที่สุดมี 4 ประการ [5] ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 1 ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

1. เพื่อลดจำนวนของยานพาหนะที่ใช้ขนส่งสินค้าหรือเพื่อลดค่าใช้จ่ายต้นทุนคงที่ (Fixed Cost) ที่เกิดขึ้นในการขนส่งแต่ละครั้ง เมื่อจำนวนรถลดลง ความจำเป็นในการจ้างพนักงานขับรถจะลดลงตามไปด้วย
2. เพื่อลดระยะทางในการเดินทางหรือลดระยะเวลาในการเดินทาง เมื่อระยะทางและเวลาลดลง ค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ที่เกิดขึ้นในการขนส่งแต่ละครั้งจะลดลงตามไปด้วย ซึ่งค่าใช้จ่ายต้นทุนแปรผัน ได้แก่ ค่าน้ำมัน ค่าเปลี่ยนถ่ายของเหลว เช่น น้ำมันเครื่อง น้ำมันเกียร์ น้ำมันเบรก เป็นต้น ซึ่งของเหลวเหล่านี้จะแปรผันตรงกับจำนวนระยะทาง
3. เพื่อลดค่าใช้จ่ายทั้งต้นทุนคงที่และต้นทุนแปรผัน กล่าวได้ว่า สามารถลดทั้งจำนวนยานพาหนะ ระยะเวลา และระยะทางในการเดินทาง ซึ่งถือว่าเป็นการลดค่าใช้จ่ายต้นทุนทั้งหมดให้มีค่าน้อยที่สุด (Total Cost Minimization)
4. ออกแบบเส้นทางเพื่อเพิ่มความพึงพอใจให้กับผู้รับบริการหรือลูกค้า ทั้งนี้การออกแบบเส้นทางเดินรถส่วนใหญ่จะคำนึงถึงวัตถุประสงค์ใน 3 ประการแรกก่อนเป็นสำคัญ

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถได้รับความสนใจเป็นอย่างมากในการดำเนินธุรกิจ เนื่องจากต้นทุนด้านการขนส่งถือเป็นต้นทุนสำคัญประการหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อต้นทุนโดยรวมขององค์กร อีกทั้งจัดเป็นต้นทุนที่มีสัดส่วนค่อนข้างสูงเมื่อเทียบกับต้นทุนอื่นๆทั้งหมดซึ่งไม่สามารถหลีกเลี่ยงได้ จึงเกิดการพัฒนาลักษณะของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถในลักษณะเฉพาะทางมากยิ่งขึ้น เช่น การเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่างๆเข้าไป อาทิเช่น จำนวนยานพาหนะในการขนส่ง รูปแบบการขนส่ง ปริมาณที่สามารถขนส่งได้ต่อรอบ เป็นต้น การวางแผนจัดการด้านการขนส่งสินค้า โดยทั่วไปสามารถแบ่งได้ 3 ระดับ [6] ได้แก่

ระดับที่ 1 การวางแผนเชิงกลยุทธ์ (Strategic Planning) คือการวางแผนเกี่ยวกับการดำเนินการขององค์กรและนโยบายในการบริหาร อาทิเช่น การกำหนดขอบเขตของพื้นที่ให้บริการ กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของคลังเก็บสินค้าหรือจุดกระจายสินค้า เป็นต้น

ระดับที่ 2 การวางแผนเชิงควบคุม (Tactical Planning) เกี่ยวข้องกับการตัดสินใจขององค์กร เช่น ควรจะซื้อยานพาหนะจำนวนกี่คัน และเป็นประเภทรถกระบะหรือรถบรรทุก เป็นต้น

ระดับที่ 3 การวางแผนเชิงปฏิบัติการ (Operational Planning) คือปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถที่ได้ทำการศึกษาในงานวิจัยนี้ ซึ่งบริษัทจะต้องจัดการการขนส่งสินค้าหรือกระจายสินค้าหรือกำหนดเส้นทางของยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่ง เพื่อให้มีค่าใช้จ่ายในการขนส่งที่น้อยที่สุด [4] โดยแบ่งประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถได้ 9 ประเภท ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ประเภทของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ

รูปแบบปัญหา	**ชื่อย่อ**	**ความหมาย**
Capacitated VRP	CVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีข้อจำกัดความจุของยานพาหนะ
VRP with Time Windows	VRPTW	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีกรอบเวลาในการจัดส่ง
VRP with Backhaul	VRPB	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีการส่งกลับมายังคลังเดิม
VRP with Pickup and Delivery	VRPPD	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีการรับ-ส่งสินค้า
VRPPD with Time Windows	VRPPDTW	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีการรับ-ส่งสินค้าและมีกรอบเวลา
VRP with Multiple Depots	MDVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีหลายคลังสินค้า
Periodic VRP	PVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีช่วงเวลา
Split Delivery VRP	SDVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีการแยกสินค้าส่งออกเป็นส่วน ๆ
Stochastic VRP	SVRP	ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีความไม่แน่นอน

จากการศึกษาพบว่าปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถสามารถแสดงด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาตรฐานและสามารถเขียนแบบจำลองปัญหาการขนส่งจากแหล่งต้นทางทั้งหมดที่มีจำนวนสินค้าเท่ากับจำนวนความต้องการของสินค้าของแหล่งปลายทาง โดยแสดงได้ดังนี้

ดัชนี (Indices)

i = ลำดับของลูกค้าที่ i โดยที่ i =1, 2,...,n

j = ลำดับของลูกค้าที่ j โดยที่ j =1,2,...,n

k = ยานพาหนะในการขนส่งสินค้าที่ k โดยที่ k = 1, 2,...,n

p = จุดลูกค้าที่มีการเดินทางเข้า-ออก โดยที่ p = 1,2,...,n

Min z = คำตอบที่ได้จากการแก้สมการโดยเป็นค่าที่ต่ำที่สุด

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

C_{ij} = ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ i ไปยังลูกค้าที่ j

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ijk} = 1 ในกรณีที่ยานพาหนะ k มีการเดินทางจาก i ไป j

0 ในกรณีอื่นๆ

U_i = ตัวแปรสนับสนุนที่มีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} \sum_{k=1}^{k} C_{ij} X_{ijk} \quad (2.1)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{n} \sum_{k=1}^{k} X_{ijk} = 1 \qquad \forall_j = (1,2,...,n) \quad (2.2)$$

$$\sum_{j=1}^{n} \sum_{k=1}^{k} X_{ijk} = 1 \qquad \forall_i = (1,2,...,n) \quad (2.3)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ipk} - \sum_{j=1}^{k} X_{pjk} = 0 \qquad \forall_{k,p} = (1,2,...,n) \quad (2.4)$$

$$\sum_{j=0}^{n} X_{0jk} \leq 1 \qquad \forall_k = (1,2,...,k) \quad (2.5)$$

$$\sum_{i=0}^{n} X_{i0k} \leq 1 \qquad \forall_k = (1,2,...,k) \quad (2.6)$$

$$U_i - U_j + N \sum_{k=1}^{k} X_{ijk} \leq N-1 \qquad \forall_{i,j} = (1,2,...,n) \text{ and } i \neq j \quad (2.7)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall_{i,j} = (1,2,...,n),\ k = (1,2,...,k) \quad (2.8)$$

ฟังกชันวัตถุประสงค์ที่ (2.1) เมื่อต้องการหาเส้นทางการเดินทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุด (MIN = Minimize) ในการเดินทาง สมการข้อจำกัดที่ (2.2) และ (2.3) กำหนดให้ลูกค้าแต่ละราย สามารถรับบริการจากยานพาหนะได้เพียงหนึ่งคัน สมการข้อจำกัดที่ (2.4) สมการแสดงความต่อเนื่องในแต่ละจุดที่เชื่อมกันในเส้นทางเมื่อยานพาหนะเข้าและออก ณ จุดใดๆ สมการข้อจำกัดที่ (2.5) และ (2.6) สมการกำหนดให้รถขนส่งแต่ละคันถูกใช้ได้เพียงเส้นทางใดเส้นทางหนึ่งเท่านั้น สมการข้อจำกัดที่ (2.7) กำหนดให้ตัวแปรสนับสนุนมีค่ามากกว่าหรือเท่ากับ 0 สมการข้อจำกัดที่ (2.8) คือการกำหนดตัวแปรการตัดสินใจ X_{ij} เป็นแบบไบนารี่ ให้เป็นได้สองค่าคือ 0 และ 1

2.1.2 การจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายเส้นทาง (Multi Traveling Salesman Problem, MTSP)

ปัญหาในการจัดลำดับการส่งสินค้าโดยใช้เส้นทางหลายเส้นทางให้กับลูกค้าต่างๆ โดยออกจากศูนย์กระจายสินค้าเดียว โดยแตกต่างจาก VRP ตรงที่ MTSP จะไม่มีข้อจำกัดด้านเวลาและความจุของรถ และแตกต่างจาก TSP ตรงที่ลักษณะการเดินรถเป็นแบบหลากหลายกลุ่มและเส้นทางหรือพนักงานขายหลายคน แต่ละกลุ่มมีศูนย์กระจายสินค้าเดียว ทุกเส้นทางต้องมีการเดินทางเข้าและออกจากศูนย์กระจายสินค้าเพียงครั้งเดียว ห้ามเดินทางข้ามกลุ่มและต้องไม่มีทัวร์ย่อย (sub tours) ในปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถแบบหลายเส้นทาง สามารถแสดงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ [7] โดยแสดงได้ดังนี้

<u>ดัชนี (Indices)</u>

i = ลำดับของลูกค้าที่ i โดยที่ i = 1, 2,...,n

j = ลำดับของลูกค้าที่ j โดยที่ j = 1,2,...,n

m = จำนวนพนักงานขายในแต่ละกรณี

Min z = คำตอบที่ได้จากการแก้สมการโดยเป็นค่าที่ต่ำที่สุด

V = เซตของลูกค้าทั้งหมดที่พิจารณา โดยที่ V = 1,2,...,n

S = สับเซตที่เป็นไปได้ทั้งหมดของเซต V; $S \subset V$, $S \neq \emptyset$, $S \neq V$

<u>ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)</u>

C_{ij} = ระยะทางระหว่างลูกค้าที่ i ไปยังลูกค้าที่ j

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

X_{ijk} = 1 ในกรณีที่มีการเดินทางจาก i ไป j

0 ในกรณีอื่น ๆ

สมการวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min } z = \sum_{i=1}^{N} \sum_{j=1}^{N} C_{ij}X_{ij} \quad (2.9)$$

สมการข้อจำกัด (Constraints)

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad \forall_j = (2,\ldots,n) \quad (2.10)$$

$$\sum_{i=1}^{n} X_{ij} = m \qquad \forall_j = 1 \quad (2.11)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = 1 \qquad \forall_i = (2,\ldots,n) \quad (2.12)$$

$$\sum_{j=1}^{n} X_{ij} = m \qquad \forall_i = 1 \quad (2.13)$$

$$\sum_{i\in S} \sum_{j\in N-S} X_{ij} \geq 1 \quad (\emptyset \neq S \subset N = \{2,\ldots,n\}), |S| \geq 2 \quad (2.14)$$

$$\sum_{i\in N-S} \sum_{j\in S} X_{ij} \geq 1 \quad (\emptyset \neq S \subset N = \{2,\ldots,n\}), |S| \geq 2 \quad (2.15)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall_{i,j} = (1,2,\ldots,n) \quad (2.16)$$

ฟังกชันวัตถุประสงค์ที่ (2.9) เพื่อหาเส้นทางการเดินทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุดในการเดินทาง สมการข้อจำกัดที่ (2.10) และ (2.11) กำหนดให้พนักงานขายแต่ละคนเดินทางให้ครบทุกจุด สมการข้อจำกัดที่ (2.12) และ (2.13) เพื่อตรวจสอบว่าพนักงานขายสามารถเข้าออกแต่ละจุดลูกค้าและ DC ได้เพียงครั้งเดียว สมการข้อจำกัดที่ (2.14) และ (2.15) สมการป้องกันการเกิดทัวร์ย่อยสำหรับพนักงานขา ยแต่ละคน สมการข้อจำกัดที่ (2.16) คือการกำหนดตัวแปรการตัดสินใจ Xij เป็นแบบไบนารี่ ให้เป็นได้สองค่าคือ 0 และ 1

2.1.3 การหาคำตอบแบบค่าประมาณ (Approximate Solution)

การหาคำตอบแบบค่าประมาณนี้สามารถเรียกได้อีกชื่อหนึ่งว่า “วิธีฮิวริสติกส์”(Heuristics) ซึ่งมาจากภาษากรีกคือ Heurisko หรือ Heuriskein แปลว่าการค้นพบ โดยวิธีฮิวริสติกส์นี้เป็นวิธีที่ให้คำตอบที่ดีพอใช้แต่ไม่ถึงกับดีที่สุดเพราะถือว่าเป็นคำตอบที่ได้จากการประมาณ แต่คำตอบนั้นก็สามารถยอมรับได้ และใช้เวลาในการคำนวณที่รวดเร็วมากเมื่อเทียบกับวิธีผลเฉลยแม่นตรง (Exact Solution) [8] รวมถึงมีข้อดีคือเมื่อนำไปใช้กับปัญหาขนาดใหญ่จะสามารถใช้เวลาและหน่วยความจำ

ในการประมวลผลน้อยกว่า สำหรับการหาคำตอบแบบค่าประมาณที่นำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ คือ วิธีจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคและขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

ปัญหาที่เหมาะสมต่อการนำวิธีฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้ [9] มีดังนี้

2.1.3.1 ปัญหาที่ข้อมูลมีจำนวนไม่แน่นอนหรือมีจำนวนจำกัด เช่น ข้อมูลที่เป็นกลุ่มตัวอย่าง เนื่องจากการเก็บข้อมูลจากประชากรทั้งหมดนั้นมีความเป็นไปได้ยาก จึงต้องทำการเก็บข้อมูลจากประชากรเพียงบางส่วน เมื่อได้ข้อมูลที่เป็นกลุ่มตัวอย่างมาแล้วจึงนำมาแก้ปัญหาหรือหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกส์ จะได้ผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาดน้อยกว่าการใช้ข้อมูลที่มีจำนวนมาก

2.1.3.2 ปัญหาที่มีความซับซ้อนมาก จำเป็นต้องใช้วิธีฮิวริสติกส์ในการหาคำตอบ โดยกำหนดวัตถุประสงค์บางประการขึ้นมาเพื่อทำการหาคำตอบผ่านกระบวนการทำงานที่จะวนซ้ำจนครบเงื่อนไขที่กำหนดและจึงจะหยุดการทำงาน

2.1.3.3 เมื่อไม่มีวิธีการที่น่าเชื่อถือที่สามารถใช้ได้อย่างแท้จริง สามารถนำวิธีฮิวริสติกส์มาทดลองใช้ได้ เพื่อพิจารณาคำตอบโดยประมาณเพราะวิธีการทางฮิวริสติกส์ใช้เวลาในการสร้างแบบจำลองไม่นานนักและให้คำตอบที่รวดเร็ว

2.1.3.4 กรณีที่ปัญหาใช้เวลาในการคำนวณด้วยวิธี Optimization มากเกินไป สามารถเปลี่ยนมาใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์ในการประมวลผลและให้คำตอบที่ใกล้เคียงกับวิธี Exact Solution

2.1.3.5 ใช้แบบจำลองทางฮิวริสติกส์เป็นจุดเริ่มต้นในการแก้ปัญหา แล้วจึงรวมวิธีการฮิวริสติกส์เข้ากับวิธีการหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุด ถือเป็นการปรับปรุงประสิทธิภาพของกระบวนการได้ เช่น การหาระยะทางที่สั้นที่สุดด้วยวิธี Greedy เมื่อได้คำตอบแล้วจึงนำคำตอบที่ได้ไปทำการหาคำตอบด้วยวิธี Linear Programming อีกครั้งเพื่อปรับปรุงให้ได้คำตอบที่ดีขึ้น

2.1.3.6 เมื่อต้องการหาคำตอบอย่างรวดเร็วในขณะที่ไม่สามารถนำคอมพิวเตอร์เข้ามาช่วยเพราะวิธีการทางฮิวริสติกส์สามารถคำนวณด้วยมือได้ในกรณีที่ข้อมูลไม่เยอะจนเกินไป เช่น การหาระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางด้วยวิธี Greedy ที่เป็นการเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดในการเดินทาง จึงสามารถดูค่าระยะทางที่น้อยที่สุดของแต่ละจุดและจัดลำดับเส้นทางด้วยตนเองได้

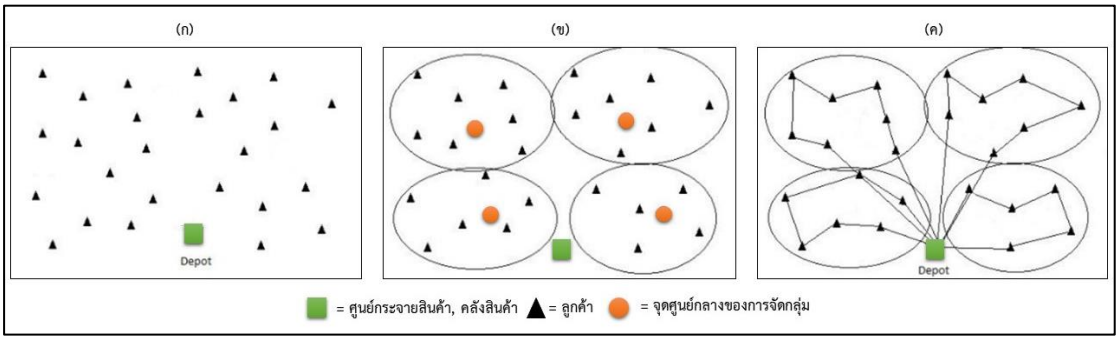
วิธีฮิวริสติกส์มีข้อดีและข้อเสียที่สามารถพิจารณาเพื่อนำไปประยุกต์ใช้ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ข้อดีและข้อเสียของวิธีฮิวริสติกส์

ข้อดีของฮิวริสติกส์	ข้อเสียของฮิวริสติกส์
ทำความเข้าใจในขั้นตอนวิธีได้ง่ายเพราะเป็นวิธีที่ไม่ซับซ้อน	สามารถเกิดความผิดพลาดได้เนื่องจากวิธีการไม่มีข้อกำหนดที่ตายตัว
ประหยัดเวลาในการสร้างตัวแบบปัญหาต่างๆ ช่วยลดเวลาในการทำงานของคนและคอมพิวเตอร์	ผลลัพธ์ที่ได้อาจจะเป็นผลลัพธ์ที่ดีเมื่อนำไปใช้กับปัญหาหนึ่ง แต่อาจจะไม่ดีเมื่อนำไปใช้กับปัญหาอื่นๆก็เป็นได้
ใช้ประเมินและแก้ปัญหาการตัดสินใจได้หลากหลายรูปแบบ	ต้องมีการประเมินความเหมาะสมของปัญหาและเลือกวิธีการเพื่อไปปรับใช้ให้เหมาะสมกับปัญหานั้นๆ
มีระยะเวลาในการประมวลผลที่ยืดหยุ่นโดยขึ้นอยู่กับจำนวนของข้อมูลที่นำเข้า	

2.1.4 วิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น (2-Phase Heuristics)

วิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้นเป็นหนึ่งในฮิวริสติกส์ที่นิยมนำมาประยุกตใชสำหรับการแกปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งเนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย ขั้นตอนการคำนวณไม่ยุงยาก และผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการนำไปใชงานจริงได้ โดยหลักการของฮิวริสติกส์แบบสองขั้นจะมีการแบ่งขั้นตอนการแก้ปัญหาเป็น 2 ขั้นตอนด้วยหลักการจัดกลุ่มก่อน-จัดเส้นทางทีหลัง หรือเรียกว่า Cluster First-Route Second เพื่อให้จัดการกับข้อมูลหรือปัญหานั้นได้ง่ายยิ่งขึ้น วิธีการนี้จะจัดการสมาชิกหรือลูกค้าที่อยู่แบบกระจายตัว ดังภาพที่ 2(ก) ด้วย 2 ขั้นตอน โดยขั้นตอนที่ 1 เป็นการประยุกตใชวิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคในการนำลูกค้าทั้งหมดมาทำการจัดกลุ่มเพื่อจัดระเบียบของปัญหาหรือข้อมูล ดังภาพที่ 2(ข) และในขั้นตอนที่ 2 กลุ่มของลูกค้าที่ถูกจัดไว้แต่ละกลุ่มจะถูกนำมาลำดับเส้นทางการขนส่งสินคาโดยใช้ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ ดังภาพที่ 2(ค)



ภาพที่ 2 ตัวอย่างวิธีการฮิวริสติกส์แบบสองขั้น

2.1.5 วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค (K-Means Clustering)

วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค คือวิธีการสำหรับแบ่งจำนวนของคลัสเตอร์หรือกลุ่ม จากข้อมูลที่ไม่ปรากฏประเภท (Class) หรือไม่มีสัญลักษณ์ (Label) ซึ่งเรียกว่า Unlabeled Data [10] ถือเป็นวิธีการที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (Non-Hierarchical Cluster Analysis) และจัดเป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนอย่างง่าย [4] หน้าที่หลักของการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคจะตัดแบ่ง (Partition) ข้อมูลจำนวน n ข้อมูล ออกเป็น K กลุ่ม และใช้ค่าเฉลี่ยของกลุ่มนั้นๆเป็นจุดศูนย์กลาง (Centroid) ของกลุ่ม ในการวัดระยะห่างของข้อมูลในกลุ่มเดียวกันดังภาพที่ 2.2(ข) โดยหลักการที่ใช้จะมีการเลือกจุดพิกัดที่มีค่าระยะห่างจากจุดศูนย์กลางของกลุ่มน้อยที่สุดเพื่อเลือกจุดพิกัดเข้าเป็นสมาชิกของจุดศูนย์กลางนั้นๆ จากนั้นจึงคำนวณค่าจุดศูนย์กลางของกลุ่มใหม่ จนกระทั่งค่าจุดศูนย์กลางของกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบรอบการคำนวณที่กำหนดไว้จึงจะสิ้นสุดกระบวนการ โดยสามารถแสดงลำดับขั้นตอนการทำงานของวิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคได้ดังต่อไปนี้

<u>ขั้นตอนที่ 1</u> กำหนดหรือสุ่มค่าเริ่มต้นจำนวน K ค่า (กลุ่ม) และกำหนดจุดศูนย์กลางเริ่มต้น K จุด เรียกว่า Cluster Centers หรือ (Centroid)

<u>ขั้นตอนที่ 2</u> ทำการหาค่าระยะห่างระหว่างจุด 2 จุด คือจุดข้อมูลกับจุดศูนย์กลาง โดยใช้สูตร Euclidian Distance ดังสมการที่ (2.10) หากข้อมูลไหนใกล้ค่าจุดศูนย์กลางตัวไหนที่สุดก็จะอยู่กลุ่มนั้นๆ

$$\text{Euclidian Distance} = \sqrt{(X_i - X_j)^2+(Y_i - Y_j)^2} \qquad (2.10)$$

เมื่อ X_i = พิกัดลองติจูดของจุดที่ i

X_j = พิกัดลองติจูดของจุดที่ j

Y_i = พิกัดละติจูดของจุดที่ i

Y_j = พิกัดละติจูดของจุดที่ j

<u>ขั้นตอนที่ 3</u> หาค่าเฉลี่ยแต่ละกลุ่ม และให้ค่าเฉลี่ยนั้นเป็นค่าจุดศูนย์กลางใหม่

<u>ขั้นตอนที่ 4</u> ทำซ้ำข้อ 2 และ 3 จนกระทั่งค่าเฉลี่ยหรือจุดศูนย์กลางในแต่ละกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง จึงหยุดกระบวนการ

วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย เช่น การจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางการขนส่งภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของน้ำหนักรถบรรทุก [4] การจัดกลุ่ม

ลูกค้าที่อยู่กระจัดกระจายของบริษัทเครื่องดื่ม [5] การจัดกลุ่มเพื่อลดจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ [8] การจัดกลุ่มที่อยู่ของผู้ป่วยเพื่อการเดินทางจัดส่งยา [9] การแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะด้วยกรอบเวลา (VRPTW) [11] เป็นต้น

2.1.6 ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Algorithm)

ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ เป็นวิธีการที่ค้นหาเส้นทางที่ใกล้ที่สุดโดยพิจารณาระยะทางระหว่างจุดสองจุดอย่างรวดเร็ว ซึ่งเส้นทางเริ่มที่จุดเริ่มต้นและเลือกเดินทางไปยังสถานที่ที่มีระยะทางใกล้ที่สุดก่อนเสมอ จากนั้นค้นหาสถานที่ที่ยังไม่ได้จัดเข้าไปในเส้นทางโดยเลือกที่มีระยะทางสั้นที่สุดใกล้กับสถานที่ก่อนหน้าที่ทำการเลือกไปแล้ว ทำซ้ำจนกว่าสถานที่ทั้งหมดจะถูกจัดเข้าเส้นทางและสุดท้ายวนมายังจุดเริ่มต้น วิธีการนี้เป็นวิธีฮิวริสติกส์ซึ่งอาจไม่ใช่คำตอบที่ดีที่สุด แต่สามารถทำได้ง่ายและใช้เวลาไม่นานโดยสามารถใช้คอมพิวเตอร์หรือไม่ใช้คอมพิวเตอร์ก็ได้ วิธีการสร้างเส้นทางโดยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ มีกระบวนการและแสดงตัวอย่างได้ดังภาพที่ 3

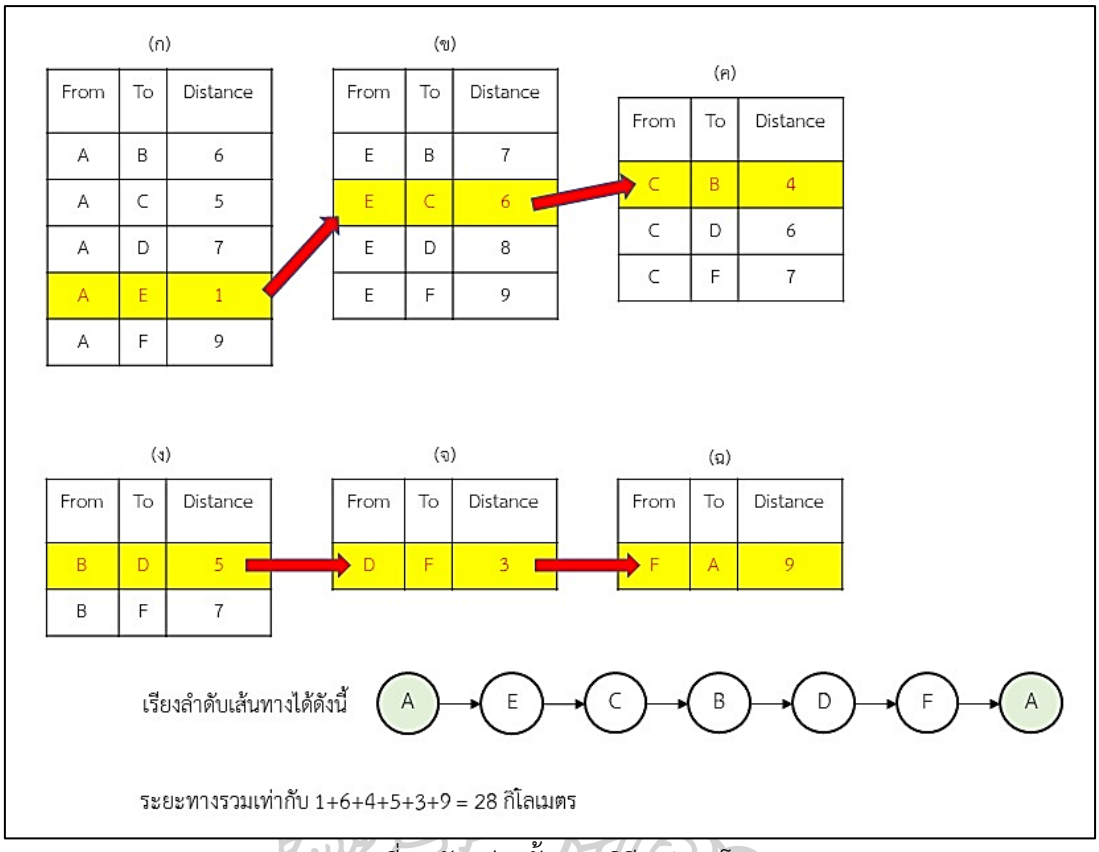
ขั้นตอนที่ 1 เลือกจุดแรกของเส้นทาง โดยเป็นจุดที่อยู่ใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุด

ขั้นตอนที่ 2 ค้นหาจุดที่อยู่ใกล้จุดก่อนหน้ามากที่สุดและเพิ่มจุดนั้นเข้ามาในเส้นทาง

ขั้นตอนที่ 3 ทำซ้ำจนมีทุกจุดอยู่ในเส้นทาง

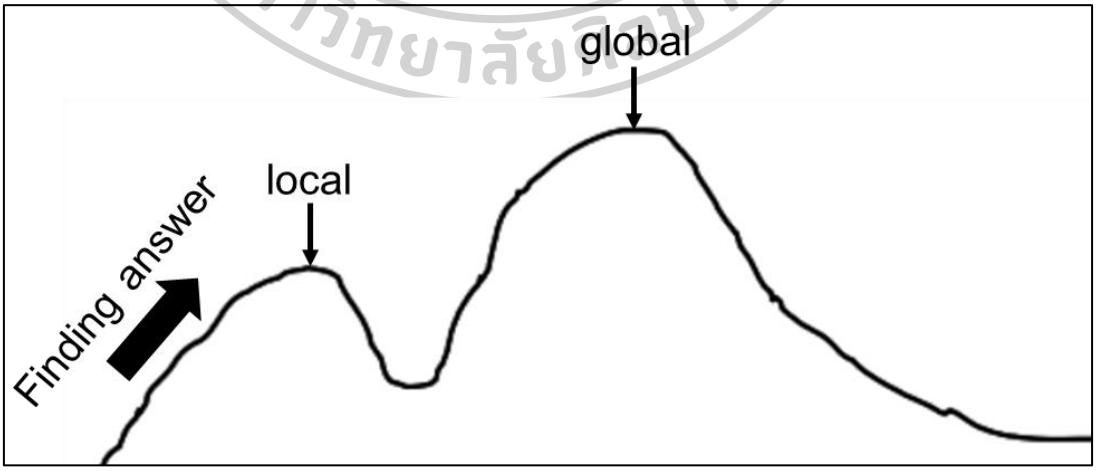
ขั้นตอนที่ 4 เรียงลำดับเส้นทางตามจุดที่ได้

จากภาพที่ 3 เป็นการแสดงตัวอย่างของขั้นตอนวิธีแบบละโมบ โดยกำหนดให้จุดเริ่มต้นมีเพียงจุดเดียวคือจุด A จากนั้นจึงกำหนดจุดแรกของเส้นทางที่จะไป โดยควรเป็นจุดที่อยู่ใกล้จุดเริ่มต้น A มากที่สุด (ก) แสดงให้เห็นว่าจากจุดเริ่มต้น A ไปยังจุด E มีระยะทางน้อยที่สุดคือ 1 กิโลเมตร จึงทำการเลือกจุด E เข้ามาในเส้นทางเป็นจุดแรก จากนั้นทำการค้นหาจุดที่อยู่ใกล้จุด E มากที่สุด (ข) จะเห็นว่าจุด C มีระยะทางใกล้กับจุด E มากที่สุดคือ 6 กิโลเมตร จึงทำการเลือกจุด C เข้ามาในเส้นทาง (ค) ทำการหาจุดที่มีระยะทางใกล้เคียงกับจุด C มากที่สุดนั่นก็คือจุด B ซึ่งมีระยะทาง 4กิโลเมตร จึงนำจุด B เข้ามาในเส้นทาง (ง) คือการหาจุดที่มีระยะทางใกล้กับจุด B มากที่สุด คือ D ที่มีระยะทาง 5 กิโลเมตร จึงนำจุด D เข้าสู่เส้นทาง (จ) จะเห็นว่าเหลือเพียงจุดเดียวที่ยังไม่ได้จัดเข้าเส้นทางคือจุด F จากนั้นเมื่อเดินทางครบทุกจุดแล้ว จะต้องเดินทางกลับไปยังจุดเริ่มต้นเดิม นั่นก็คือจุด A ดัง (ฉ) ที่แสดงให้เห็นว่าระยะทางจากจุด F ไปยังจุด A คือ 9 กิโลเมตร ซึ่งถือว่าเดินทางครบทุกจุดแล้ว จากนั้นจึงนำระยะทางทั้งหมดมารวมกันจะได้ผลลัพธ์ของขั้นตอนวิธีแบบละโมบ คือ 28 กิโลเมตร



ภาพที่ 3 ตัวอย่างขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

2.1.7 ขั้นตอนวิธีการปีนเขา (Hill Climbing Algorithm)



ภาพที่ 4 ขั้นตอนวิธีการปีนเขา

ขั้นตอนวิธีปีนเขานี้จะเป็นการค้นหาคำตอบในรูปแบบค่าสูงสุดและต่ำสุด [12] เปรียบเสมือนการปีนขึ้นไปสู่ยอดเขาในแนวดิ่งอย่างสม่ำเสมอ เมื่อเจอทางแยกก็จะเลือกไปในทิศทางที่ใกล้และตรงดิ่งมากที่สุด หลีกเลี่ยงทิศทางที่จะทำให้ห่างจากยอดเขาเพื่อไปถึงถึงยอดเขาให้เร็วที่สุด ดังภาพที่ 4 เมื่อถึงจุดสูงสุดจึงจะวัดความสูงจากฐานของภูเขาไปยังตำแหน่งสูงสุดที่อยู่ ณ ปัจจุบัน (ในกรณีที่ต้องการหาค่าสูงสุด) ผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนวิธีนี้จะมีทั้งค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ (local optimum) หมายความว่าเป็นผลลัพธ์ที่ดีแต่ไม่ถึงกับดีที่สุด และค่าที่ดีที่สุดวงกว้าง (global optimum) คือผลลัพธ์ที่ดีที่สุด [13] หากเปรียบเทียบกับภูเขาค่าที่ดีที่สุดเฉพาะที่ จะเปรียบเหมือนยอดดอยอินทนนท์ที่มีความสูงที่สุดในประเทศ และค่าที่ดีที่สุดวงกว้างเปรียบเหมือนยอดเขาเอเวอเรสที่มีความสูงที่สุดในโลก ในกรณีที่ต้องการหาคำตอบที่เป็นค่าต่ำสุดก็จะใช้หลักการคล้ายกันคือ การเดินทางลงเขาเพื่อไปยังจุดที่ต่ำที่สุดโดยเลือกทิศทางที่ทำให้ถึงจุดเป้าหมายโดยเร็วที่สุด จะได้ค่าผลลัพธ์เชิงฮิวริสติกส์ โดยขั้นตอนตอนการทำงานมีดังต่อไปนี้

ขั้นตอนที่ 1 สร้างคำตอบเริ่มต้น โดยการสุ่มตัวแปรเพื่อใช้เปรียบเทียบในการคัดคำตอบก่อนจะเข้าสู่กระบวนการหาคำตอบที่เหมาะสม

ขั้นตอนที่ 2 การสร้างคำตอบใหม่ เป็นการปรับเปลี่ยนหรือค้นหาตัวแปรของปัญหาจากเดิมเพียงเล็กน้อยเพื่อนำไปเปรียบเทียบกับคำตอบเริ่มต้น

ขั้นตอนที่ 3 การตรวจสอบคำตอบ คือการเปรียบเทียบคำตอบระหว่างคำตอบใหม่กับคำตอบเดิม หากคำตอบใดดีกว่าจึงจะถูกกำหนดเป็นคำตอบปัจจุบันเพื่อใช้ในการเปรียบเทียบครั้งต่อไป จนกว่าจะไม่พบคำตอบที่ดีขึ้นกว่าเดิม

ขั้นตอนที่ 4 ตรวจสอบคำตอบเป้าหมาย ซึ่งคำตอบความีลักษณะตรงตามสมการเป้าหมายที่กำหนดไว้

ขั้นตอนที่ 5 ทำซ้ำขั้นตอนที่ 2 ถึงขั้นตอนที่ 4 จนกว่าจะได้คำตอบที่ตรงตามเป้าหมายหรือครบจำนวนรอบที่กำหนด

2.1.8 โปรแกรม Visual Basic

Visual Basic เป็นเครื่องมือในการสร้างโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Windows ที่พัฒนาโดยบริษัทไมโครซอฟท์ โดยโปรแกรมเป็น ภาษาคอมพิวเตอร์ (Programming Language) ที่มีพื้นฐานมาจากภาษา Basic ที่ย่อมาจาก Beginner’s All Symbolic Instruction หมายถึง ชุดคำสั่งหรือภาษาคอมพิวเตอร์โดยโปรแกรม Visual Basic นั้นมีจุดเด่นคือ ผู้ที่ไม่มีพื้นฐานเรื่องการเขียนโปรแกรมสามารถเรียนรู้และนำไปใช้งานได้อย่างง่ายดายและรวดเร็ว ภาษา Basic นั้นเป็นภาษาที่เรียนรู้ได้ง่ายที่สุดทำให้มีการใช้งานมากที่สุดในประวัติศาสตร์คอมพิวเตอร์ มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง

ทั้งความง่าย ความเร็วในการประมวลผล รวมถึงการเข้าถึงอินเตอร์เน็ต ทำให้ภาษานี้ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายความสามารถของ Visual Basic นั้นสามารถสร้าง โปรแกรมทางด้านกราฟฟิก โปรแกรมจัดการไฟล์ โปรแกรมคำนวณและสร้างโปรแกรมฐานข้อมูล พื้นฐานทั่วไปทำงานบนระบบปฏิบัติการ Windows ได้อย่างรวดเร็ว เพราะมีเครื่องมือเกี่ยวกับฐานข้อมูลอย่างครบถ้วนและสามารถเรียกใช้งานได้ทันที สำหรับงานวิจัยนี้จะมีการพัฒนาโปรแกรม Visual Basic .NET (VB.NET) ออกแบบคำสั่งด้วยภาษา Basic ในการหาคำตอบและวางแผนการขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าในแต่ละสถานที่ โดยออกแบบตามหลักการของการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ และขั้นตอนวิธีการปีนเขา

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ ในช่วงเวลาที่ผ่านมานั้นมีนักวิจัยหลายท่านได้ทำการศึกษาและหาคำตอบโดยใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยเพื่อหาคำตอบซึ่งผู้วิจัยแต่ละท่านเลือกใช้วิธีการในการหาคำตอบที่แตกต่างกันและนำไปใช้ในการแก้ปัญหาที่แตกต่างกันออกไป ในการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จะเป็นการกล่าวถึงการศึกษาหาแนวทางจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องที่มีลักษณะไปในทิศทางเดียวกันและนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับเป็นแนวทางในการศึกษาการใช้ขั้นตอนวิธีการจัดกลุ่มแบบ K-Means ขั้นตอนวิธีแบบละโมบร่วมกับปัญหาการขนส่ง และการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา ซึ่งงานวิจัยที่เกี่ยวข้องมีดังต่อไปนี้

ธนาภา ควรผดุงศักดิ์ และสรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย (2560) [13] ศึกษาแนวทางการจัดการแก้ปัญหาเส้นทางการเดินรถเพื่อช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ เมื่อทราบว่าข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงในทันที เพื่อให้บริการรับอาหารและสิ่งของที่จำเป็นและส่งมอบในพื้นที่แต่ละแห่งที่ประสบภัยพิบัติ โดยนำหลักการฮิวริสติกส์มาคำนวณหาผลลัพธ์ด้านเส้นทาง ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งที่มีค่าใช้จ่ายที่เหมาะสม และเพื่อพิสูจน์ว่าภายใต้ข้อจำกัดแบบเดียวกันวิธีฮิวริสติกส์ใช้เวลาในการประมวลผลหาคำตอบน้อยกว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้น ซึ่งผลการดำเนินงานคือ เมื่อนำสถานการณ์ตัวอย่างมาทดลองกับวิธีเชิงฮิวริสติกส์โดยการเขียนโปรแกรม Visual Basic for Applications บนไมโครซอฟท์เอกซ์เซล พบว่า เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น วิธีฮิวริสติกส์สามารถหาค่าคำตอบที่ยืดหยุ่นและดีกว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้น และใช้เวลาในการหาคำตอบน้อยกว่า

อิทธิพงษ์ จรัสอรรถกร, อนันต์ มุ่งวัฒนา และ นราภรณ์ เภาประเสริฐ (2560) [14] ได้ศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบหลายคลังสินค้า เพื่อที่จะลดค่าใช้จ่ายในการดำเนินการของบริษัท โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบหลายคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ และมีระยะทางรวมในการขนส่งน้อยที่สุด โดยใช้เครื่องมือวิธีการทั้งสิ้น 3 ขั้นตอน ได้แก่ ขั้นตอนที่ 1 จัดกลุ่มลูกค้าให้เข้ากับคลังสินค้าแต่ละแห่งโดยขึ้นอยู่กับ

ระยะทางที่สั้นที่สุด ขั้นตอนที่ 2 สร้างเส้นทางการเดินทางจากคลังสินค้าไปอย่างลูกค้าแต่ละรายด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และขั้นตอนที่ 3 พัฒนาแต่ละเส้นทางด้วยวิธี 2-opt ซึ่งผลการทดสอบข้อมูล พบว่าวิธีการที่นำเสนอสามารถจัดเส้นทางการขนส่งและลดระยะทางการขนส่งได้ทุกเส้นทาง และสามารถลดระยะทางการขนส่งรวมจากเดิม 818 หน่วย ลดลงเหลือ 682 หน่วย หรือลดลงร้อยละ 16.66

จตุรงค จิตระบอบ (2560) [15] ได้ศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์เพื่อวิเคราะห์เส้นทางการขนส่งที่เหมาะสมและแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่เกิดขึ้นในบริษัทกรณีศึกษา โดยมีเป้าหมายเพื่อลดค่าใช้จ่ายรวมของการขนส่ง และลดจำนวนเที่ยวรถที่ให้บริการในแต่ละวัน ให้อยู่ในจำนวนที่เหมาะสม ขั้นตอนการดำเนินการเริ่มจากการใช้ข้อมูลพื้นฐานของบริษัทกรณีศึกษาในการหาผลลัพธ์เบื้องต้น จากนั้นนำวิธีเชิงฮิวริสติกส์มาประยุกต์ใช้ในการปรับปรุงผลลัพธ์ให้มีประสิทธิภาพมากขึ้น ผลการดำเนินงานพบว่าค่าใช้จ่ายรวมในการขนส่งและจำนวนเที่ยวในการเดินรถลดลง รวมไปถึงเวลาของการทำงานที่ลดลงเป็นอย่างมากโดยเปรียบเทียบคาใชจายจากผลลัพธ์เบื้องต้นมาเปรียบเทียบกับผลลัพธ์หลังการปรับปรุงด้วยวิธีฮิวริสติกส์

อัจฉรา ชุมพล, นรงค วิชาผา และ ไพฑูรย ทิพยสันเทียะ (2563) [16] ได้นำเสนอวิธีฮิวริสติกส์สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบจำกัดความจุของยานพาหนะ (CVRP) วัตถุประสงค์คือเพื่อหาเสนทางการขนสงที่มีระยะทางการขนสงโดยรวมต่ำสุด ภายใตทรัพยากรที่จำกัด โดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น สำหรับหาผลลัพธ์ของปัญหาการขนส่งสินค้าประเภทขนมของบริษัทกรณีศึกษา โดยในขั้นแรกทำการประยุกต์ใช้วิธีการ K-Means ในการจัดกลุ่มลูกค้าและขั้นที่สองจะทำการจัดลำดับการขนส่งสินค้าของแต่ละกลุ่มโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) เพื่อใหผู้ประกอบการมีต้นทุนการขนส่งลดลงและสามารถตอบสนองความตองการของลูกคาทันเวลาที่กำหนด ผลลัพธ์จากการดำเนินการพบว่าการจัดเสนทางขนสงโดยใชแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาโปรแกรมด้วยชุดคำสั่ง Lingo ได้ผลลัพธ์เป็นระยะทางการขนส่งสินคาที่ดีที่สุด แต่ใชเวลาประมวลผลนานกว่าวิธี K-Means-TSP ถึงแม้วาระยะทางโดยรวมของการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปญหานี้จะใหระยะทางการขนสงที่ต่ำสุด แต่ไม่สามารถนำมาประยุกตใชในทางปฏิบัติได้เนื่องจากการจัดส่งสินคาเป็นแบบรับคำสั่งซื้อแบบสั่งวันนี้ส่งพรุ่งนี้ ดังนั้นการประยุกตใช K-Means-TSP ในทางปฏิบัติจึงมีความเหมาะสมมากกวา ซึ่งผลลัพธ์จากวิธีการ K-Means-TSP สามารถลดระยะทางการขนส่งรวมจากเดิมได้ 20.49%

อมรรัตน์ อุดมเจริญศิลป์ และสราวุธ จันทร์สุวรรณ (2564) [17] ทำการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยมีวัตถุประสงค์เพื่อวางแผนและปรับปรุงเส้นทางการเดินทางของพนักงานขายของบริษัทกรณีศึกษาโดยคำนึงถึงเงื่อนไขและข้อกำหนดที่มีอยู่ของบริษัท ใช้วิธีการจัดเส้นทางปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ร่วมกับการจัดกลุ่มลูกค้าด้วย K-Means Cluster และใช้การจัด

เส้นทางแบบ VRP ในขั้นสุดท้ายเพื่อเลือกเส้นทางที่มีประสิทธิภาพที่สุด จากนั้นเปรียบเทียบค่าใช้จ่าย ระยะทาง และเวลาว่างงานกับการจัดเส้นทางที่บริษัทใช้อยู่ในปัจจุบัน เพื่อลดเวลาว่างงานที่ไม่ก่อให้เกิดประโยชน์ต่อบริษัท ผลการศึกษาพบว่าวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธี VRP สามารถลดระยะทาง ค่าใช้จ่ายและเวลาว่างงาน ตามเงื่อนไขที่บริษัทกำหนดและให้คำตอบที่ดีที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางการเดินทางพนักงานขายที่ใช้อยู่เดิม โดยสามารถลดระยะทางลงได้ 123 กิโลเมตรหรือ 5.23% ค่าใช้จ่ายในการเดินทางลดลง 704 บาทหรือ 5.77% และเวลาว่างงานลดลงประมาณ 4 ชั่วโมงคิดเป็น 55.04% วิธีดังกล่าวสามารถใช้เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางและลดเวลาว่างงานได้

Yubin Duan, Jie Wu and Huanyang Zheng (2018) [16] ศึกษาเกี่ยวกับการนำขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (Greedy Algorithm) มาใช้จัดสมดุลของยานพาหนะสำหรับระบบการจัดส่งจักรยานแบบมีข้อจำกัดด้านความจุของโครงการ Bike Sharing โดยมุ่งเน้นไปที่การปรับสมดุลงานให้กับยานพาหนะที่ทำการขนส่งและมีเป้าหมายเพื่อลดระยะทางในการขนส่ง โดยจะสร้างลำดับเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบในแต่ละสถานีจักรยานที่มีที่ตั้งกระจัดกระจายแบบไม่สมดุลทั้งหมด จากนั้นหากถึงขีดจำกัดความจุของยานพาหนะ จะสิ้นสุดการทำงานของรถขนส่ง และต้องเปลี่ยนเป็นรถขนส่งคันถัดไป ผลการดำเนินงานสรุปได้ว่าเวลาทำงานของขั้นตอนวิธีแบบละโมบจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนสถานีหรือลูกค้าเพียงเล็กน้อยซึ่งเร็วกว่าวิธีการจัดเส้นทางแบบดั้งเดิมที่บริษัทใช้อยู่ และขั้นตอนวิธีแบบละโมบจะสร้างเส้นทางที่สั้นกว่า โดยเฉพาะอย่างยิ่งในสถานการณ์ที่มีกลุ่มปัญหาหรือจำนวนลูกค้าน้อยกว่า และมีประสิทธิภาพดีขึ้นตามจำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้น

Sasmi Hidayatul Y T, Arif Djunaidy and Ahmad Muklason (2019) [18] นำเสนอวิธีการไฮเปอร์ฮิวริสติกในการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะหลายวัตถุประสงค์ (VRP) โดยเพิ่มวัตถุประสงค์ที่แตกต่างจากงานวิจัยอื่น ๆ คือการพิจารณาความสมดุลของระยะทางเส้นทางเพื่อช่วยปรับปรุง VRP แบบหลายวัตถุประสงค์ เมื่อเปรียบเทียบกับการวิจัยอื่นที่เกี่ยวข้องที่มุ่งเน้นเฉพาะการลดระยะทางทั้งหมดให้เหลือน้อยที่สุด ทำการทดลองโดยใช้ชุดข้อมูล Gehring และ Homberger พบว่าขั้นตอนวิธีการปีนเขา ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี The Great Deluge สำหรับการแก้ปัญหา VRP แบบหลายวัตถุประสงค์

Purba Daru Kusuma and Meta Kallista (2021) [19] มีวัตถุประสงค์เพื่อลดระยะทางการเดินทางและลดจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการใน 1 รอบการเดินทาง โดยใช้กระบวนการจัดเส้นทางด้วยการรวมอัลกอลิทึมเข้าด้วยกัน ได้แก่ การจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค + ขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (Kmeans+NN) ขั้นตอนวิธีเชิงวิวัฒนาการแบบผสม (HEA) ขั้นตอนวิธีแบบแบ่งพาร์ติชัน + ขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด (PBA+NN) ขั้นตอนวิธีเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุด + ขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (NN+GA) และขั้นตอนวิธีจำลองการอบเหนียว (SA) จากผลการทดลองพบว่า

แบบจำลอง Kmeans+NN มีประสิทธิภาพปานกลางในด้านของจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับการบริการนั้นลดลง เมื่อจำนวนลูกค้าต่ำจะมีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบจำลอง PBA+NN ถึง 71% ในขณะเดียวกัน เมื่อจำนวนลูกค้าสูง แบบจำลอง Kmeans+NN มีประสิทธิภาพต่ำกว่าแบบจำลอง PBA-NN ถึง 73% ในด้านระยะการเดินทางทั้งหมด เมื่อจำนวนลูกค้าปานกลาง (50 คน) แบบจำลอง Kmeans+NN มีประสิทธิภาพมากกว่าวิธี GA ถึง 63% และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธี SA 48% ในขณะเดียวกัน เมื่อจำนวนลูกค้าสูง (ลูกค้า 100 ราย) แบบจำลอง Kmeans+NN จะมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธี NN ถึง 52% และมีประสิทธิภาพต่ำกว่าวิธี SA 54% จะเห็นว่าจากจำนวนลูกค้า ทำให้ทั้งระยะทางมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงในแต่ละกรณี

Jessi Febria, Christine Dewi and Evangs Mailoa (2021) [20] งานวิจัยนี้กล่าวถึงการจัดส่งยาสำหรับโรงพยาบาลในประเทศอินโดนีเซีย โดยใช้ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะแบบมีข้อจำกัดด้านการบรรทุก (CVRP) โดยนำเสนอวิธีการจัดกลุ่ม K-means และการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ ตามด้วยการเพิ่มประสิทธิภาพอีกครั้งโดยใช้ Google OR-tools ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิผลของแนวทางการจัดการกับความต้องการที่เพิ่มขึ้นในเภสัชกรรม โดยวิธีการที่นำเสนอจะแบ่งปัญหาออกเป็นกลุ่มๆ และลดจำนวนเส้นทาง ส่งผลให้เวลาการวางแผนเส้นทางลดลงอย่างมาก และมีระยะทางรวมดีขึ้น วิธีการดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้กับปัญหาที่ต้องการวิธีแก้ปัญหาอย่างรวดเร็ว เช่น การจัดส่งและจำหน่ายยา

Thi Diem Chau, Duc Duy NGUYEN, Judit OLÁH and Miklós PAKURÁR (2022) [21] ได้ศึกษาและนำเสนอวิธีการแก้ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะโดยมีกรอบเวลา (VRPTW) โดยใช้การผสมผสานระหว่างวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นโดยใช้เทคนิคการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค เพื่อช่วยผู้วางแผนเส้นทางการขนส่งสามารถวางแผนได้อย่างรวดเร็วและมีประสิทธิภาพโดยยึดตามความเหมาะสมทั้งด้านต้นทุน จำนวนยานพาหนะ ระยะเวลาการส่งมอบ และประสิทธิภาพของรถบรรทุก การวิจัยมุ่งเน้นไปที่ระบบการกระจายสินค้าที่เน่าเสียง่ายในประเทศเวียดนาม ซึ่งประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอช่วยลดเวลาในการวางแผนและบริหารทรัพยากรได้อย่างเหมาะสม ช่วยกำหนดจำนวนยานพาหนะที่จำเป็น ดังนั้นจึงสามารถวางแผนการเดินทางได้อย่างมีประสิทธิภาพมากขึ้น สามารถรู้ว่าว่าต้องใช้ยานพาหนะกี่คันเพื่อให้บริการลูกค้าจำนวนเท่าใด และลูกค้าอยู่ที่ไหน โดยใช้เวลาน้อยมาก ซึ่งสามารถสนับสนุนผู้วางแผนเพื่อส่งมอบผลิตภัณฑ์ให้กับลูกค้าได้อย่างรวดเร็วและแม่นยำ สิ่งนี้สามารถช่วยให้บริษัทต่างๆ ปรับปรุงการบริการลูกค้าและเพิ่มความได้เปรียบทางการแข่งขันในตลาดที่ไม่หยุดนิ่งในปัจจุบัน ผู้วางแผนเส้นทางการขนส่งสามารถใช้เพื่อเปรียบเทียบกับทางเลือกอื่นๆ ที่เป็นไปได้ หรือเพื่อเปรียบเทียบทรัพยากรทางการเงินในปัจจุบันเพื่อช่วยสนับสนุนการตัดสินใจได้มากยิ่งขึ้น

Muhammad Khahfi Zuhanda, Saib Suwilo, Opim Salim Sitompul, Mardiningsih (2022) [22] ได้ศึกษาการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยการผสมผสานวิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค, ขั้นตอนวิธีการจัดเส้นทางแบบละโมบ และวิธี 2-opt เข้าด้วยกัน โดยจุดมุ่งหมายคือเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการกระจายสินค้าแบบสองระดับสำหรับการจัดส่งพัสดุภัณฑ์บนแพลตฟอร์มอีคอมเมิร์ซ โดยใช้รถตู้ทำการขนส่งในระดับแรกและรถจักรยานยนต์ทำการขนส่งในระดับที่สองที่สามารถขนส่งได้เพียงเล็กน้อยเท่านั้น ดังนั้นจึงจำเป็นต้องจัดกลุ่มระหว่างศูนย์กระจายสินค้าและลูกค้าเพื่อให้จักรยานยนต์เดินทางไปยังลูกค้าในคลัสเตอร์ของตน ผลลัพธ์ที่ได้คือในการขนส่งระดับแรกด้วยรถตู้จาก DC ไปยังศูนย์กระจายสินค้าและการขนส่งระดับที่สองด้วยรถจักรยานยนต์จากศูนย์กระจายสินค้าไปยังลูกค้า วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคช่วยให้การจัดกลุ่มของลูกค้าในระดับที่สองมีความรวดเร็ว ระยะทางมีทั้งเพิ่มขึ้นและลดลงอย่างสมเหตุสมผล และสามารถกำหนดจำนวนกลุ่มตามจำนวนของคันรถที่เหมาะสมได้ ผลการวิจัยยังแสดงให้เห็นว่ายิ่งมีศูนย์กระจายสินค้ามากเท่าใดค่าขนส่งก็จะยิ่งสูงขึ้นเท่านั้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา	ผลการดำเนินงาน
ธนาภา ควรผดุง ศักดิ์ และสรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย (2560)	เพื่อศึกษาหาเส้นทางในเดินรถขนส่งอาหารและสิ่งของจำเป็นโดยเร็วที่สุด เพื่อลดผลกระทบและความเสียหาย	- Min Travel Time Heuristics - Min Arrival Time Heuristics - Min Cost Heuristics - วิธีกำหนดการเชิงเส้น - VBA on Excel	วิธีฮิวริสติกส์สามารถหาผลลัพธ์ที่ยืดหยุ่นกว่าวิธีกำหนดการเชิงเส้น และใช้เวลาในการหาผลลัพธ์น้อยกว่าเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้น และวิธีฮิวริสติกส์นี้สามารถนำไปพัฒนาโปรแกรมได้ง่ายกว่า
อิทธิพงษ์ จรัสอรรถกร, อนันต์ มุ่งวัฒนา และนราภรณ์ เภาประเสริฐ (2560)	เพื่อพัฒนาวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบหลายคลังสินค้าอย่างมีประสิทธิภาพ และให้ได้ระยะทางรวมที่ใช้ในการขนส่งสินค้าน้อยที่สุด	- วิธีการจัดกลุ่มแบบ Nearest Neighbor Algorithm - การจัดเส้นทางด้วย Saving Algorithm - วิธี 2-opt	วิธีการที่นำเสนอสามารถจัดเส้นทางการขนส่งและลดระยะทางการขนส่งได้ทุกเส้นทาง และระยะทางการขนส่งรวมลดลงจากเดิมคิดเป็นร้อยละ 16.66
จตุรงค จิตระบอบ (2560)	เพื่อศึกษาและพัฒนาโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งให้มีประสิทธิภาพ สามารถจัดเส้นทางการเดินรถได้รวดเร็ว ประหยัดค่าใช้จ่าย	วิธีฮิวริสติกส์	โปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของผลลัพธ์ได้เป็นอย่างดีสามารถลดค่าใช้จ่ายรวมและจำนวนรถที่ให้บริการได้ อีกทั้งวิธีฮิวริสติกส์ยังช่วยลดเวลาในการปฏิบัติงานได้เป็นอย่างมาก

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา	ผลการดำเนินงาน
อัจฉรา ชุมพล, นรงค์ วิชาผา และ ไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ (2563)	เพื่อเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีกำหนดการเชิงเส้นและวิธี K-Means-TSP โดยเป้าหมายคือระยะทางการขนส่งโดยรวมที่ต่ำสุดภายใต้ทรัพยากรที่มีจำกัด	- วิธีกำหนดการเชิงเส้น - วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - วิธีการ TSP	ระยะทางการขนส่งโดยรวมของวิธีกำหนดการเชิงเส้นจะให้ผลลัพธ์ระยะทางการขนส่งที่ต่ำสุดแต่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้ ดังนั้นในทางปฏิบัติการประยุกต์ใช้ K-Means-TSP จึงมีความเหมาะสมในทางปฏิบัติมากกว่า
อมรรัตน์ อุดม เจริญศิลป์ และสราวุธ จันทร์สุวรรณ (2564)	เพื่อวางแผนปรับปรุงเส้นทางการเดินทางของบริษัทกรณีศึกษา	- วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - การจัดเส้นทางแบบ VRP	วิธีการจัดกลุ่มก่อนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า สามารถลดระยะทาง ค่าใช้จ่ายในการเดินทางและเวลาดำเนินการได้
Yubin Duan, Jie Wu and Huanyang Zheng (2018)	เพื่อลดระยะทางให้เหลือน้อยที่สุด โดยที่ยืดหยุ่นระหว่างการใช้เวลาวิ่งและการส่งให้เหมาะสมที่สุด	Greedy Algorithm	เวลาทำงานของอัลกอริทึมจะเพิ่มขึ้นตามจำนวนโหนด และจะสร้างเส้นทางที่สั้นลง โดยประสิทธิภาพจะดีขึ้นตามจำนวนสถานีที่เพิ่มขึ้น

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา	ผลการดำเนินงาน
Sasmi Hidayatul Y T, Arif Djunaidy and Ahmad Muklason (2019)	เพื่อพิจารณาความสมดุลของระยะทางในเส้นทางเพื่อช่วยปรับปรุง VRP แบบหลายวัตถุประสงค์และลดระยะทางรวมให้ได้มากที่สุด	- ขั้นตอนวิธีการปีนเขา - ขั้นตอนวิธี The Great Deluge	ขั้นตอนวิธีการปีนเขา ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับขั้นตอนวิธี The Great Deluge สำหรับการแก้ปัญหา VRP แบบหลายวัตถุประสงค์ เนื่องจากทำให้เกิดความสมดุลในการจัดเส้นทางและให้ระยะทางที่น้อยที่สุด
Purba Daru Kusuma and Meta Kallista (2021)	เพื่อลดระยะทางรวมและจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการ	- วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - Partition Based + Nearest Neighbor - Hybrid Evolutionary - Genetic Algorithm + Nearest Neighbor - Simulated Annealing	แบบจำลอง Partition Based +Nearest Neighbor มีประสิทธิภาพ โดยมีจำนวนลูกค้าที่ไม่ได้รับบริการลดลงอย่างมาก และมีประสิทธิภาพที่แตกต่างกันในแง่ของระยะทางการเดินทางทั้งหมดตามจำนวนลูกค้า ทำให้ทั้งระยะทางมีทั้งมากขึ้นและลดลง

ตารางที่ 3 สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (ต่อ)

ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา	ผลการดำเนินงาน
Jessi Febria, Christine Dewi and Evangs Mailoa (2021)	เพิ่มประสิทธิภาพของ Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) สำหรับการแจกจ่ายวัคซีน	- วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ	การจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคและจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบสามารถลดเวลาดำเนินการในปัญหา CVRP ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะอย่างยิ่งสำหรับปัญหาที่ต้องคำนึงถึงเวลา วิธีการดังกล่าวสามารถนำมาปรับใช้กับปัญหาที่ต้องการวิธีแก้ปัญหาอย่างรวดเร็ว เช่น การจัดส่งและจำหน่ายยา
Thi Diem Chau LE, Duc Duy NGUYEN, Judit OLÁH and Miklós PAKURÁR (2022)	แก้ปัญหา VRPTW เพื่อช่วยผู้วางแผนเส้นทางให้รวดเร็วและมีประสิทธิภาพ	- วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - ขั้นตอนวิธีแบบละโมบ	การประยุกต์ใช้การจัดกลุ่ม k-mean ช่วยลดเวลาในการวางแผนหาเส้นทาง ใช้เวลาประมวลผลต่ำในการคำนวณว่าต้องใช้ยานพาหนะกี่คันเพื่อให้บริการลูกค้าจำนวนเท่าใดและลูกค้าอยู่ที่ไหน มีส่วนช่วยในองค์กรต่างๆ ในการหาวิธีการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับปัญหาการจัดส่งสินค้าได้อย่างรวดเร็ว

ตารางที่ 3 (ต่อ) สรุปงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

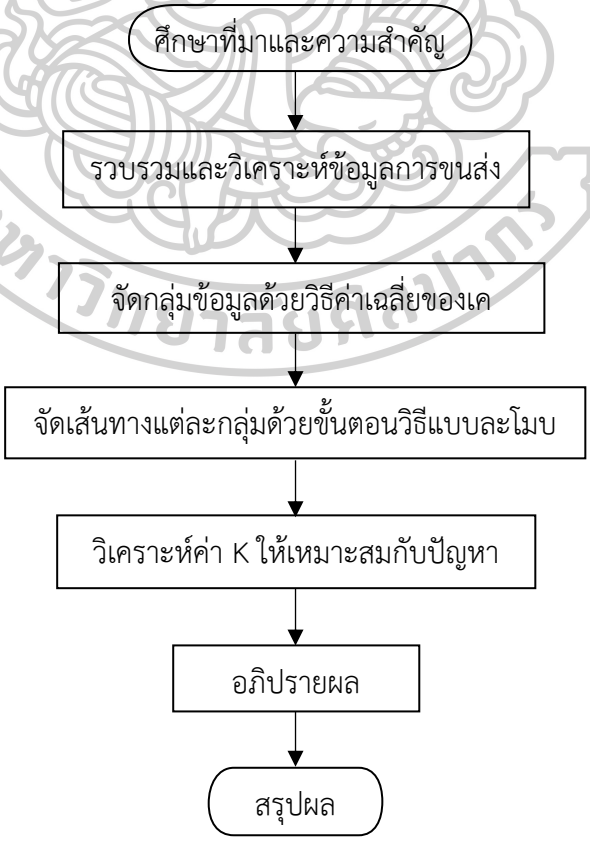
ผู้วิจัย	วัตถุประสงค์	เครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหา	ผลการดำเนินงาน
Muhammad Khahfi Zuhanda, Saib Suwilo, Opim Salim Sitompul and Mardiningsih (2022)	เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการกระจายสินค้าโลจิสติกส์แบบสองระดับสำหรับการจัดส่งพัสดุ	- วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค - Greedy Algorithm - 2-opt Algorithm	การจัดกลุ่มระหว่างศูนย์กระจายสินค้ากับลูกค้ามีความสำคัญมากในการเตรียมกำหนดการส่งมอบในการกระจายสินค้า ข้อดีคือยานพาหนะสามารถแบ่งตามกลุ่มและลูกค้า แต่การแบ่งกลุ่มจะไม่รับประกันว่าจะได้ระยะทางที่เหมาะสม และผลการทดสอบยังแสดงให้เห็นว่ายิ่งมีศูนย์กระจายสินค้ามากขึ้นค่าขนส่งก็จะยิ่งสูงขึ้น

มหาวิทยาลัยศิลปากร

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้มีขั้นตอนและระเบียบวิธีการดำเนินงานวิจัยซึ่งประกอบไปด้วย การกำหนดหัวข้องานวิจัย การรวบรวมข้อมูล การสร้างสมการทางคณิตศาสตร์ที่มีตัวแปรสำหรับการหาคำตอบของการเดินทางที่มีจุดเริ่มต้นเพียงจุดเดียว ทำการจัดเส้นทางการเดินรถโดยประยุกต์ใช้การหาคำตอบแบบค่าประมาณด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นคือ วิธีการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคและการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ จากนั้นมีการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา และนำวิธีการหาคำตอบดังกล่าวมาพัฒนาโปรแกรมบน VB.NET ทางผู้วิจัยได้ทำการศึกษาปัญหาการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา เนื่องจากเป็นปัญหาที่เกี่ยวข้องกับต้นทุน การมีเครื่องมือที่ช่วยจัดเส้นทางการขนส่งที่มีประสิทธิภาพจะสามารถลดเวลาการวางแผน ลดระยะทางรวมของเส้นทางการขนส่งและตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งจะเป็นแนวทางที่ช่วยให้บริษัทกรณีศึกษา สามารถลดต้นทุนการขนส่งลงได้ โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังภาพที่ 5



ภาพที่ 5 แผนผังกระบวนการดำเนินงานวิจัย

3.1 ความสำคัญและความเป็นมาของปัญหา

การจัดเส้นทางเดินรถในการวิจัยครั้งนี้ ผู้วิจัยจะทำการทดสอบปัญหาจากข้อมูลด้านเส้นทางและการขนส่งของบริษัทกรณีศึกษา ซึ่งเป็นบริษัทจัดจำหน่ายเครื่องมือแพทย์รายใหญ่ในภูมิภาคเอเชีย โดยมีกลุ่มลูกค้าเป็นผู้ให้บริการทางการแพทย์และสถาบันการแพทย์ทั้งภาครัฐและเอกชน โดยรายละเอียดของปัญหาประกอบด้วย จำนวนรถทั้งสิ้น 7 คัน ลูกค้ากว่า 1 หมื่นรายกระจายอยู่ 77 จังหวัดทั่วประเทศ ผู้วิจัยได้ทำการรวบรวมข้อมูลพิกัดละติจูดและลองติจูดเพื่อใช้เป็นข้อมูลตัวอย่างในการทดลองด้วยโปรแกรมวางแผนการจัดเส้นทางที่พัฒนาขึ้น โดยสร้างฐานข้อมูลไว้ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล และอาศัยข้อมูลตัวอย่างคำสั่งซื้อของลูกค้าในเดือนกันยายน พ.ศ.2565 ซึ่งมีจำนวนลูกค้าหรือพิกัดสถานที่ที่ต้องจัดส่งสินค้าจำนวนทั้งสิ้น 154 จุด ในช่วงระยะเวลา 1 เดือน ลักษณะของรถ ดังภาพที่ 6 ผู้วางแผนทำการวางแผนจัดเส้นทางเป็นรายเดือน สินค้ามี 2 ประเภทหลักคือ แบบเครื่องขายและแบบเครื่องสาธิต มีจุดสาขาที่ไว้พักสินค้าทั้งหมด 4 จุด 4 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดเชียงใหม่ จังหวัดขอนแก่น จังหวัดอุบลราชธานี และจังหวัดสงขลา เส้นทางการเดินรถทั่วทุกภูมิภาคในประเทศในปัจจุบันมีเส้นทางทั้งสิ้น 97 เส้นทาง โดยแบ่งเขตภูมิภาค ดังตารางที่ 4

การวางแผนการจัดเส้นทางของบริษัทกรณีศึกษา ใช้วิธีดั้งเดิมคือการจัดโดยใช้ความรู้ประสบการณ์ความชำนาญที่มีรวมถึงความเคยชินในเส้นทาง ซึ่งอาจเกิดความล่าช้า ทางผู้วิจัยจึงจะทำการพัฒนาขั้นตอนการวางแผนจัดเส้นทางต่อ โดยมีสมมติฐานของปัญหาดังนี้

1) ในแต่ละเส้นทางต้องมีจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุด ณ ตำแหน่งเดียวกัน
2) ลูกค้าแต่ละรายสามารถรับบริการจากยานพาหนะได้เพียง 1 คัน
3) ปริมาณความต้องการของลูกค้าในแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินปริมาณความจุของยานพาหนะ

ภาพที่ 6 ลักษณะของรถที่ใช้ในการขนส่งจริง

ตารางที่ 4 จำนวนเส้นทาง ณ ปัจจุบัน โดยแบ่งตามภูมิภาค

ภูมิภาค	จำนวนเส้นทาง
กรุงเทพฯ และปริมณฑล	20
ภาคกลาง	18
ภาคเหนือ	9
ภาคตะวันออก	7
ภาคตะวันตก	8
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	20
ภาคใต้	15
รวมเส้นทาง	97

จากการแบ่งเส้นทางตามเขตภูมิภาคได้ข้อมูลเพิ่มเติมจากทางบริษัทกรณีศึกษาว่าจำนวนรถบรรทุกทั้ง 7 คัน ใช้ในการขนส่งทุกภูมิภาค ยกเว้นภาคกลางและกรุงเทพฯ และปริมณฑล เนื่องจากในภาคกลางและกรุงเทพฯ และปริมณฑลมีระยะทางที่ใกล้กับศูนย์กระจายสินค้าจึงใช้บริการเมสเซนเจอร์ในการขนส่ง ดังนั้นแนวทางในการนำข้อมูลการวางแผนมาวิเคราะห์คือการใช้จำนวนรถ 7 คัน ในการขนส่ง 5 ภูมิภาค

3.2 การวิเคราะห์ข้อมูลการขนส่ง

จากการศึกษาข้อมูลเกี่ยวกับหัวข้อที่สนใจด้านการจัดเส้นทางการขนส่ง โดยศึกษาและรวบรวมข้อมูลจากทางบริษัทกรณีศึกษา จัดทำข้อมูลเป็นตาราง ในโปรแกรมไมโครซอฟท์เอกซ์เซล โดยที่แผ่นงาน (Sheet) ที่ 1 ใช้บันทึกข้อมูลแสดงพิกัดจุดเริ่มต้นคือที่ตั้งของบริษัท แผ่นงานที่ 2 ใช้บันทึกข้อมูลพิกัดละติจูดและลองติจูดของลูกค้าที่ต้องจัดส่งสินค้าแบบวันต่อวันโดยกรอกข้อมูลตามข้อมูลคำสั่งซื้อในวันนั้นๆ และแผ่นงานที่สามจัดเก็บข้อมูลของลูกค้าทั้งหมดที่มีจำนวนกว่าหมื่นราย ระยะทางที่ได้มาจากการคำนวณ Euclidean Distance จากสมการที่ (2.10) ในการหาระยะห่างระหว่างจุดลูกค้าแต่ละจุดโดยการพัฒนาโปรแกรมในขั้นตอนถัดไป แสดงตัวอย่างการเก็บข้อมูลพิกัดจุดดังตารางที่ 5 และ 6

ตารางที่ 5 แสดงการเก็บข้อมูลพิกัดจุดของจุดเริ่มต้นในแผ่นงานที่ 1

จำนวน DC	ชื่อ DC	จังหวัด	ละติจูด	ลองติจูด
1	บริษัทกรณีศึกษา	สมุทรปราการ	XXX	XXX
สามารถอัพเดทหรือแก้ไขข้อมูลในตารางได้เสมอ				

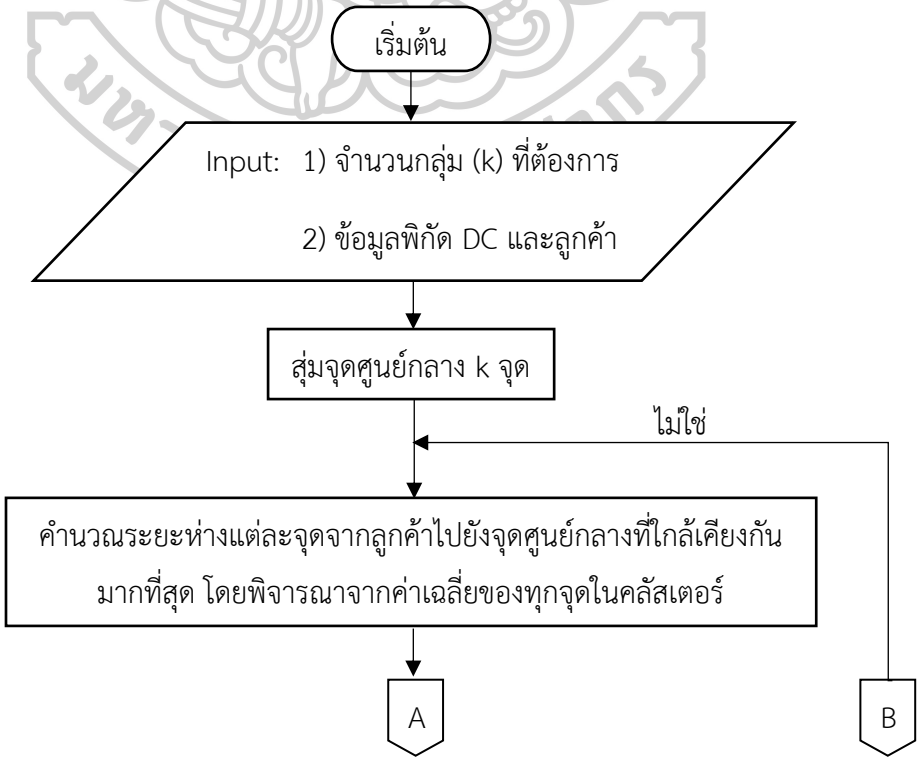
ตารางที่ 6 แสดงการเก็บข้อมูลพิกัดจุดของลูกค้าในแผ่นงานที่ 2

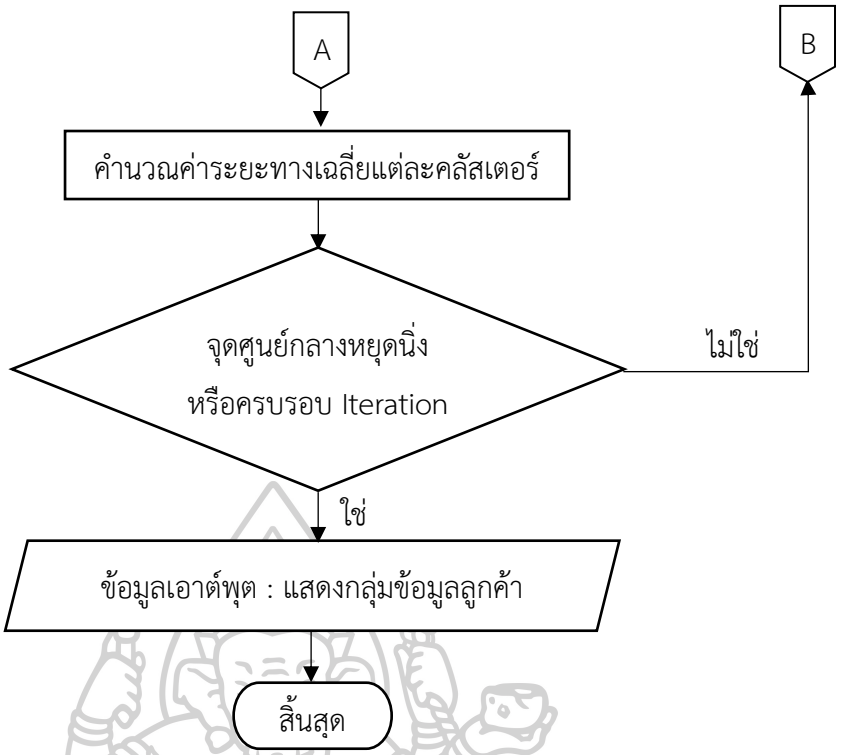
จำนวนลูกค้า	วันที่	ลำดับลูกค้า	ที่อยู่	ละติจูด	ลองติจูด	Demand
XXX	ว/ด/ป	1	XXX	XXX	XXX	100
	...	...	XXX	XXX	XXX	
สามารถอัพเดทหรือแก้ไขข้อมูลในตารางได้เสมอ						

จากตารางที่ 6 การเก็บข้อมูลของลูกค้าจะเป็นข้อมูลของลูกค้าที่ต้องจัดส่งแบบวันต่อวันตามข้อมูลการสั่งซื้อที่มีในวันนั้นๆ โดยเมื่อกรอกข้อมูลในแผ่นงานที่ 2 จะดึงข้อมูลมาจากฐานข้อมูลของลูกค้าทั้งหมดที่มีซึ่งอยู่ในแผ่นงานที่ 3

3.3 การจัดกลุ่มข้อมูลด้วยค่าเฉลี่ยของเค

ในกระบวนการจัดกลุ่ม จะจัดกลุ่มลูกค้าให้กับรถแต่ละคัน โดยจำนวนคันรถขึ้นอยู่กับที่ผู้วางแผนจะพิจารณาตั้งแต่ 2 คัน จนถึง 7 คัน โดยลูกค้าจะถูกจัดกลุ่ม แต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งโดยมีจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเท่า ๆ กัน โดยจุดศูนย์กลางของกลุ่มมาจากการสุ่ม Random ตามจำนวนกลุ่มที่ผู้วางแผนกำหนด ขั้นตอนดังภาพที่ 7 ซึ่งลูกค้าถูกแบ่งกลุ่มโดยใช้จุดศูนย์กลางของกลุ่มด้วยการหาค่าเฉลี่ยของลูกค้าจนกว่าจุดศูนย์กลางจะหยุดนิ่ง

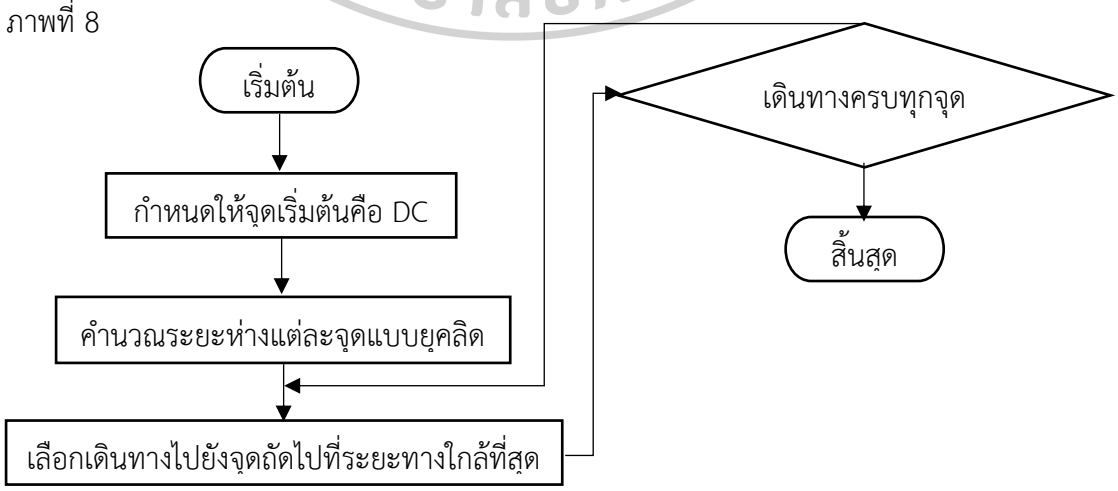




ภาพที่ 7 แผนผังกระบวนการจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเค

3.4 การจัดเส้นทางการขนส่งด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

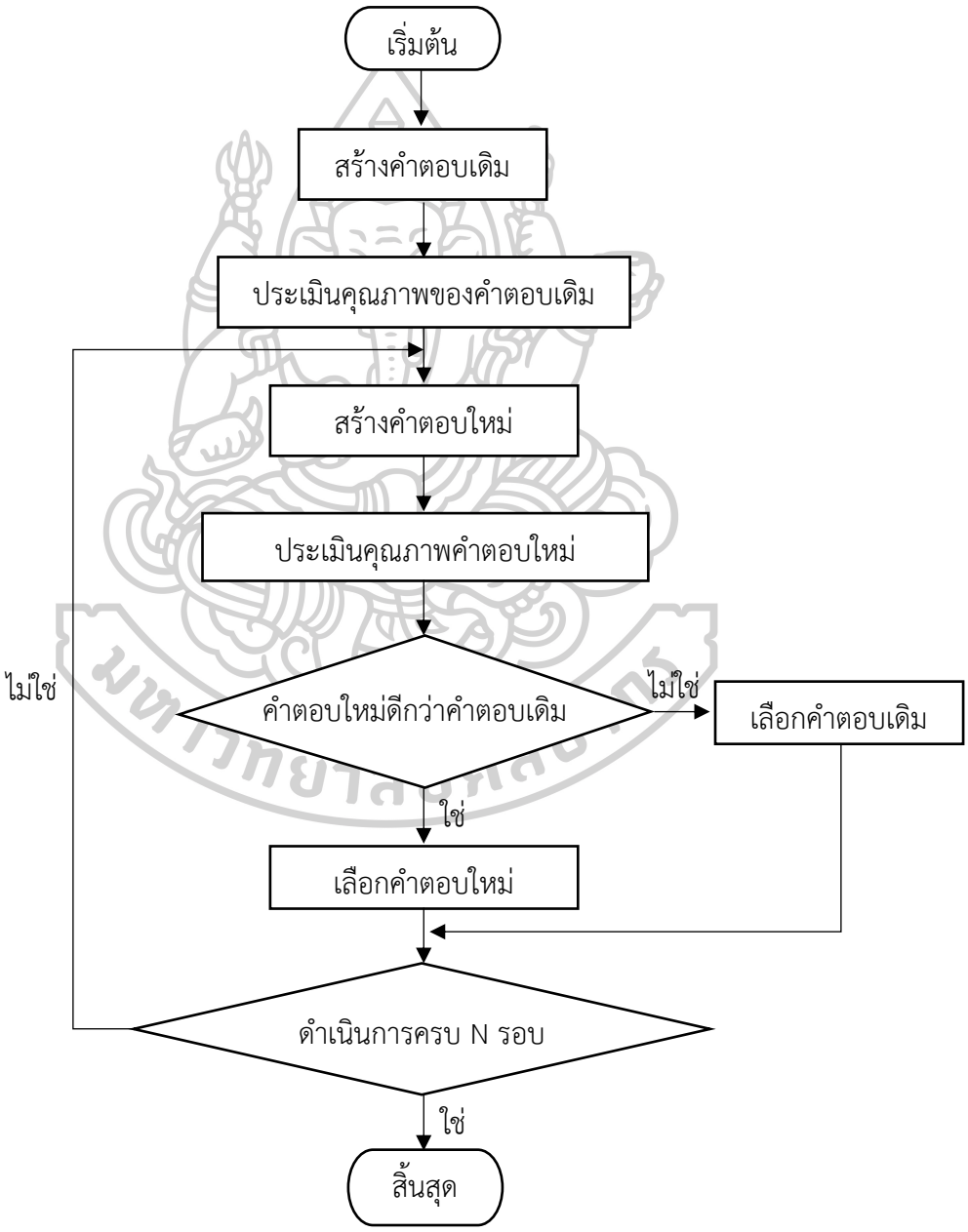
การจัดลำดับเส้นทางการขนส่งจะต้องทราบระยะห่างระหว่างพิกัดจุดโดยการใช้ข้อมูลละติจูดลองติจูดที่ได้จากขั้นตอน 3.2 นำมาหาระยะห่างในแต่ละจุดที่กำหนดโดยใช้วิธี Euclidean Distance ดังสมการที่ (2.10) แล้วจึงลำดับการเดินทางโดยพิจารณาจุดสถานที่ที่ใกล้จุดเริ่มต้นมากที่สุดก่อนและจากนั้นจึงทำการค้นหาจุดที่ใกล้กับจุดถัดไปเรื่อย ๆ จนครบทุกจุด ซึ่งขั้นตอนของวิธีแบบละโมบ ดังภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แผนผังกระบวนการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

3.5 การปรับปรุงคำตอบด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

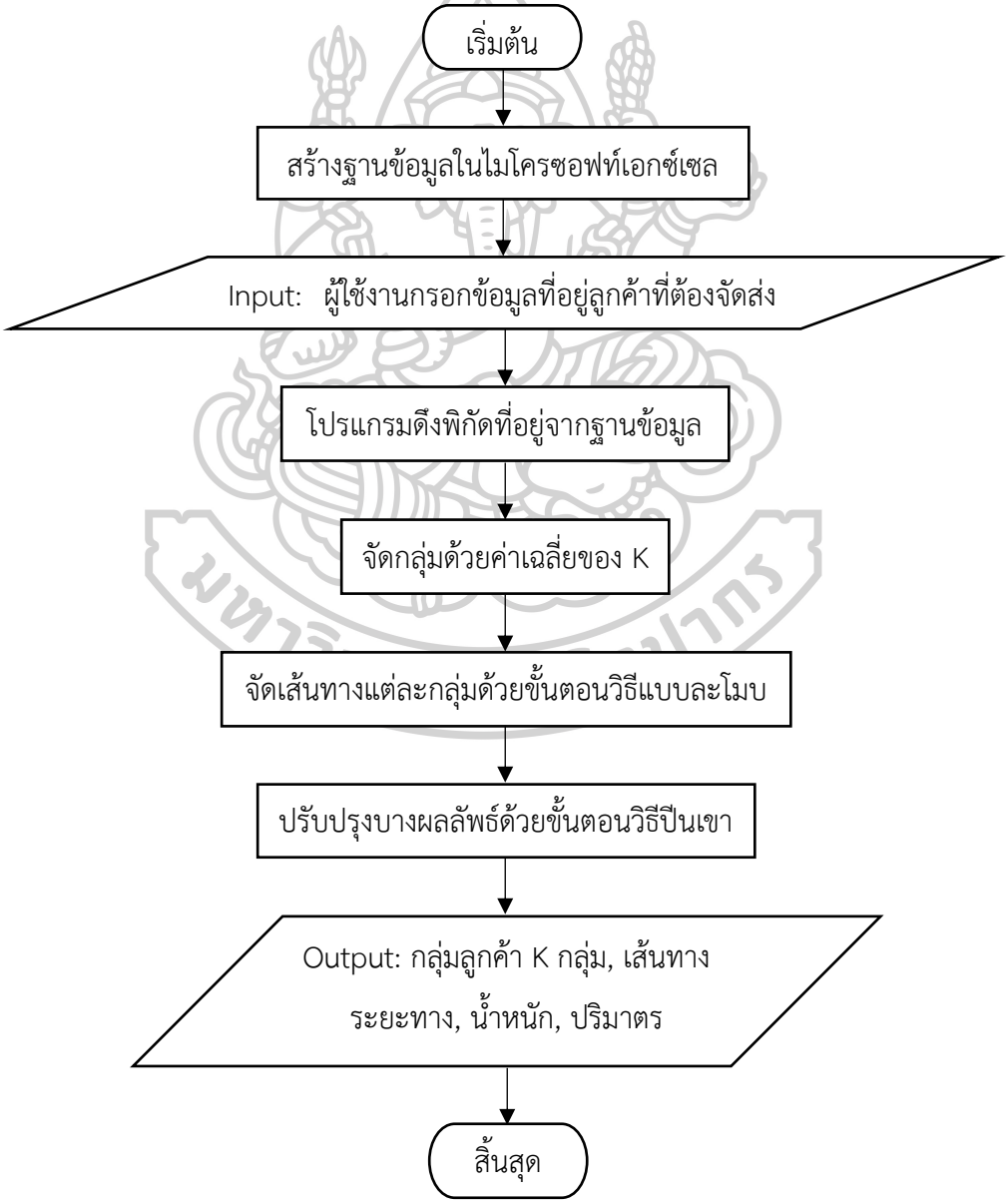
เมื่อทำการจัดกลุ่มลูกค้าและทำการจัดลำดับเส้นทางให้กับลูกค้าในแต่ละกลุ่มแล้วพบว่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบในบางกรณีนั้น สามารถนำมาทำการปรับปรุงผลลัพธ์ให้ดีขึ้นอีกได้ โดยในงานวิจัยนี้เลือกใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขาในการปรับปรุงผลลัพธ์เพื่อให้ผลลัพธ์มีค่าที่ดีที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ โดยการปรับปรุงคำตอบด้วยวิธีการปีนเขามีขั้นตอนดังภาพที่ 9



ภาพที่ 9 แผนผังกระบวนการปรับปรุงคำตอบด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

3.6 การพัฒนาโปรแกรมช่วยวางแผนการจัดเส้นทาง

การออกแบบและพัฒนาโปรแกรมมีขั้นตอนดังภาพที่ 10 ซึ่งในงานวิจัยนี้จะทำการออกแบบคำสั่งด้วย VB.NET เพื่อหาคำตอบในการวางแผนเส้นทางของการขนส่ง สามารถระบุจำนวนกลุ่มเทียบเท่ากับจำนวนยานพาหนะที่ต้องการใช้และความจุของยานพาหนะ โดยออกแบบตามขั้นตอนวิธีการหาคำตอบด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น ได้แก่ การจัดกลุ่มด้วยค่าเฉลี่ยของเคและการจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ จากนั้นปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา โดยการพัฒนาโปรแกรมนี้เลือกใช้วิธีเชิงฮิวริสติกส์ในการประมวลผลเพื่อให้หาคำตอบได้รวดเร็ว ช่วยลดเวลาการวางแผนและความสร้างความสะดวกต่อผู้วางแผนได้



ภาพที่ 10 แผนผังกระบวนการพัฒนาโปรแกรม

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

งานวิจัยนี้นำเสนอการพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้น โดยทำการประยุกต์ใช้หลักการจัดกลุ่มก่อน - จัดเส้นทางทีหลัง ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการดำเนินงานวิจัยที่ได้จากการพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถที่ได้ทำการประมวลผลหาคำตอบโดยการพัฒนาโปรแกรม VB.NET ซึ่งมีเนื้อหาด้านผลลัพธ์ดังต่อไปนี้

4.1 การจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งในรูปแบบเดิม

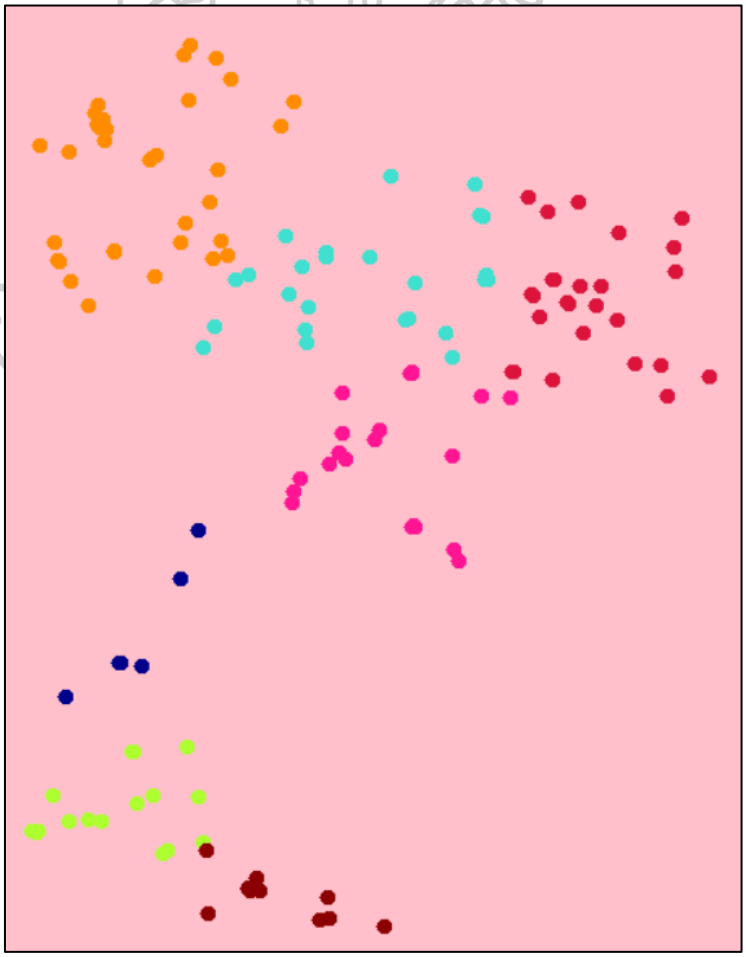
จากความสำคัญและความเป็นมาของปัญหาได้กล่าวไว้ว่า การวางแผนการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้ารูปแบบเดิมของทางบริษัทกรณีศึกษา คือการจัดเส้นทางตามความรู้และชำนาญของผู้วางแผน รวมถึงมอบหมายงานตามความชำนาญในเส้นทางของผู้ขับรถใน 5 ภูมิภาค ยกเว้นกรุงเทพกับปริมณฑลและภาคกลางที่ใช้บริการแมสเซนเจอร์ในการจัดส่งเนื่องจากมีระยะทางใกล้ศูนย์กระจายสินค้า โดยจากข้อมูลตัวอย่างในเดือนกันยายน พ.ศ.2565 พบว่าการจัดเส้นทางแบบเดิมมีระยะทางรวมเท่ากับ 246.18 และมีระยะทางย่อยของรถแต่ละคัน ดังตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ผลลัพธ์ด้านระยะทางของการจัดเส้นทางรูปแบบเดิม

รถคันที่	**ระยะทางที่ใช้ (คำนวณจากละติจูดลองติจูด)**
1	28.93
2	15.22
3	42.39
4	39.39
5	30.12
6	46.82
7	43.30
ระยะทางรวม	246.18

4.2 ผลลัพธ์จากการแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค

กระบวนการฮิวริสติกส์ขั้นที่ 1 คือการจัดกลุ่มลูกค้าให้กับรถแต่ละคัน จำนวนคันรถนั้นขึ้นอยู่กับที่ผู้วางแผนพิจารณา ในกรณีนี้บริษัทกรณีศึกษามีรถ 7 คันจึงกำหนดให้จำนวนกลุ่มลูกค้า (K) มีค่าเท่ากับ 7 แต่ละกลุ่มจะถูกแบ่งโดยมีจำนวนลูกค้าเฉลี่ยเท่า ๆ กัน จุดศูนย์กลางของกลุ่มมาจากการสุ่มตามจำนวนกลุ่มหรือค่า K ที่ผู้วางแผนกำหนด จากนั้นคำนวณระยะห่างระหว่างลูกค้ากับจุดศูนย์กลางโดยวิธี Euclidian ดังสมการที่ 2.10 หากพบว่าลูกค้าอยู่ใกล้จุดศูนย์กลางใดมากที่สุดจะถูกจัดให้เป็นสมาชิกของกลุ่มนั้น โดยจุดศูนย์กลางของกลุ่มมาจากการหาค่าเฉลี่ยของลูกค้าจนกว่าจุดศูนย์กลางหยุดนิ่งจึงหยุดกระบวนการ ซึ่งผลลัพธ์ของโปรแกรมได้แบ่งกลุ่มของลูกค้าโดยแสดงผลตามสี จุดพิกัดที่มีสีเดียวกัน หมายความว่าเป็นกลุ่มเดียวกัน เมื่อทดลองแบ่งลูกค้าออกเป็น 7 กลุ่ม สามารถแสดงผลลัพธ์ของการแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค ดังภาพที่ 11



ภาพที่ 11 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมแบ่งกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค

4.3 ผลลัพธ์จากการจัดเส้นทาง

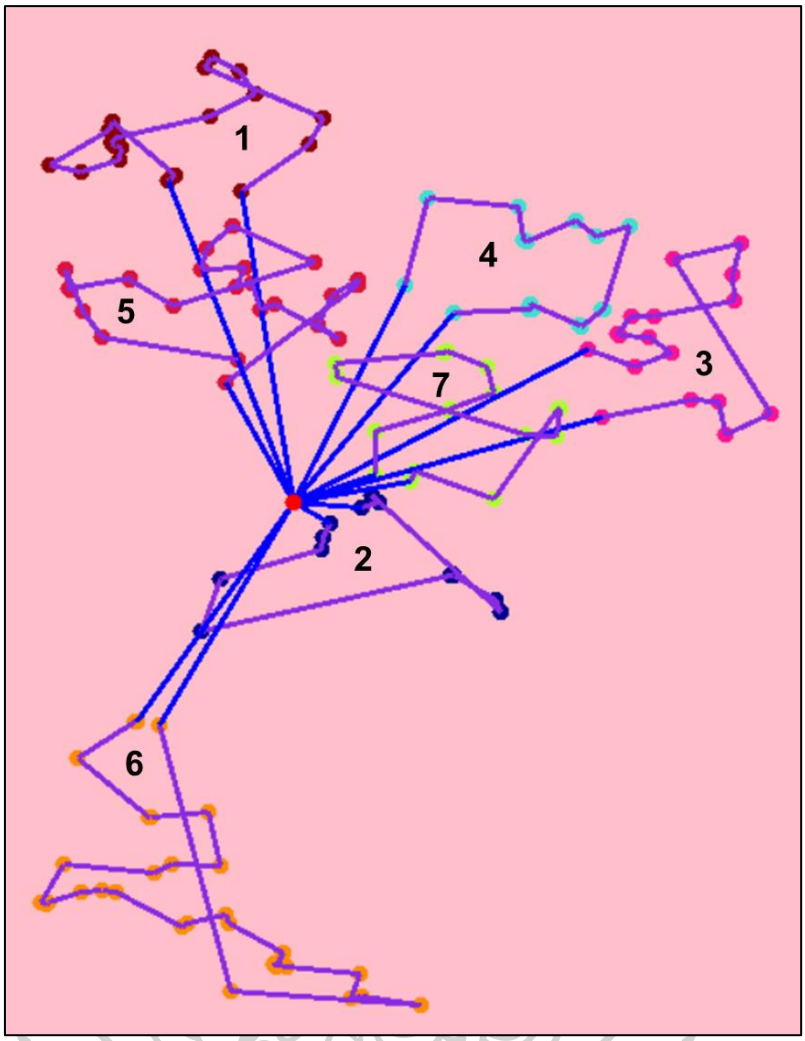
เมื่อได้ผลลัพธ์ของฮิวริสติกส์ขั้นที่ 1 คือการแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค จึงสามารถเข้าสู่กระบวนการฮิวริสติกส์ขั้นที่ 2 คือการจัดเส้นทางในแต่ละกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ โดยใช้โปรแกรมที่ผู้วิจัยได้พัฒนาขึ้นในการวางแผน เนื่องจากการประมวลผลด้วยโปรแกรมในแต่ละรอบนั้นให้ผลลัพธ์ที่แตกต่างกัน จึงทำการทดลองจำนวน 10 รอบ และเลือกผลลัพธ์จากรอบที่ดีที่สุดมาวิเคราะห์ แสดงผลลัพธ์คือระยะทางรวมและระยะทางย่อยของรถแต่ละคันจากการประมวลผลของโปรแกรมได้ดังตารางที่ 8 ซึ่งพบว่าผลลัพธ์ในรอบที่ 8 สามารถให้ผลลัพธ์ด้านระยะทางที่น้อยที่สุดโดยมีระยะทางรวมเท่ากับ 104.23 จากนั้นแสดงรูปภาพผลลัพธ์ของการประมวลผลในรอบที่ 8 ดังภาพที่ 11 ซึ่งพบว่าวิธีฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้น สามารถแบ่งกลุ่มลูกค้าได้เป็น 7 กลุ่มหรือ 7 เส้นทาง ให้กับจำนวนรถ 7 คัน โดยรถทุกคันออกเดินทางจากจุดเริ่มต้นคือศูนย์กระจายสินค้า

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางของแต่ละกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม	ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม
1	11.34		6	20.67	
	16.30			11.32	
	18.74			17.13	
	17.30			12.22	
	13.25			10.68	
	18.01			17.65	
	18.55	113.50		17.30	106.98
2	20.68		7	8.36	
	15.33			17.30	
	16.30			17.64	
	17.30			20.68	
	12.40			8.65	
	19.65			25.44	
	15.14	116.80		16.12	114.18

ตารางที่ 8 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางของแต่ละกลุ่มด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม	ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม
3	17.30		8	17.30	
	25.44			8.81	
	16.12			15.39	
	20.68			13.10	
	8.65			15.99	
	8.36			22.71	
	17.64	114.18		10.93	104.23
4	19.65		9	10.82	
	20.68			13.61	
	15.02			17.30	
	10.68			22.62	
	11.32			11.65	
	17.64			15.18	
	17.30	112.30		16.85	108.04
5	17.30		10	20.68	
	18.74			16.30	
	18.08			18.01	
	16.44			19.44	
	18.01			5.20	
	11.34			10.44	
	16.30	116.22		17.30	107.37



ภาพที่ 12 ผลลัพธ์จากการใช้โปรแกรมจัดเส้นทางด้วยขั้นตอนวิธีแบบละโมบ

4.4 ผลลัพธ์จากการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

จากผลลัพธ์ของวิธีฮิวริสติกส์แบบ 2 ขั้นที่ได้กล่าวมาข้างต้น พบว่าผลลัพธ์เส้นทางดังกล่าวสามารถปรับปรุงเพื่อให้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้นอีกได้ จึงนำผลการทดลองทั้ง 10 ครั้ง มาทำการปรับปรุงระยะทางย่อยของรถแต่ละคันเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ในที่ดีขึ้นโดยใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขาที่มีจำนวนการวนรอบซ้ำ (iteration) เท่ากับ 27,000 ซึ่งจากผลลัพธ์เห็นว่าการทดลองในทุกครั้งมีเส้นทางย่อยที่ถูกปรับปรุงจนได้ผลลัพธ์ของระยะทางที่ดีขึ้น แสดงดังตารางที่ 9 จะเห็นว่าการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยการสลับลำดับในการเดินทางเพียงไม่กี่จุดด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา ทำให้ระยะทางรวมลดลง กล่าวได้ว่าประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีการปีนเขาสามารถทำให้ผลลัพธ์ด้านระยะทางโดยรวมดีขึ้นได้

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

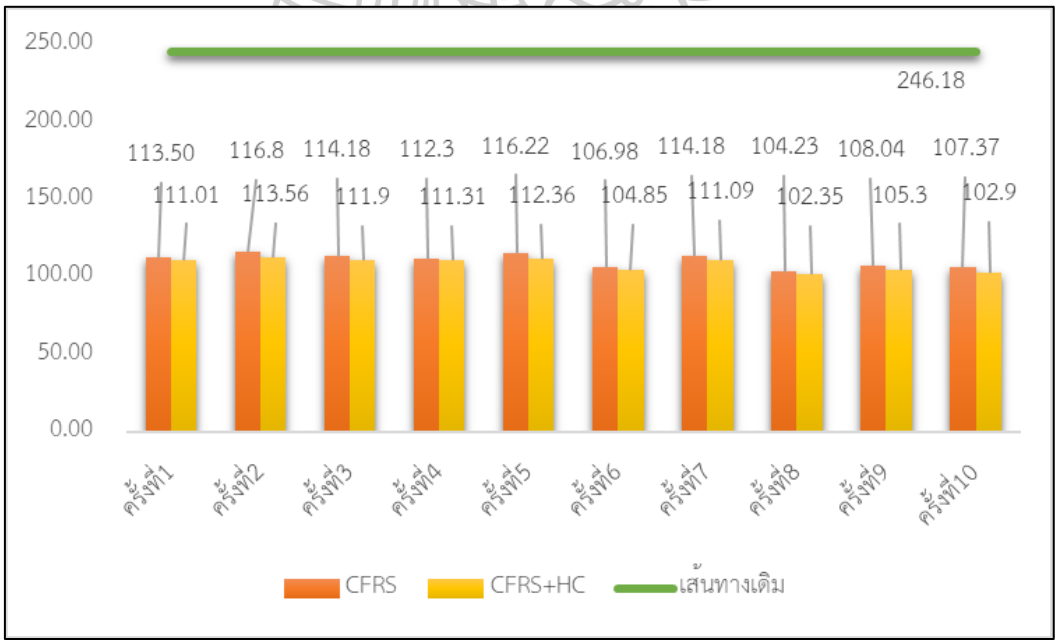
ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม	ปรับ HC	ผลต่างย่อย	ระยะทางรวม	ผลต่างรวม
1	11.34		11.34	0.00		
	16.30		15.79	0.51		
	18.74		17.51	1.23		
	17.30		17.18	0.12		
	13.25		12.91	0.33		
	18.01		17.73	0.28		
	18.55	113.50	18.54	0.01	111.01	2.49
2	20.68		19.44	1.23		
	15.33		15.33	0.00		
	16.30		14.47	1.83		
	17.30		17.18	0.12		
	12.40		12.40	0.00		
	19.65		19.64	0.02		
	15.14	116.80	15.10	0.04	113.56	3.24
3	17.30		17.30	0.00		
	25.44		24.97	0.47		
	16.12		16.12	0.00		
	20.68		19.44	1.23		
	8.65		8.60	0.04		
	8.36		8.36	0.00		
	17.64	114.18	17.11	0.53	111.90	2.28
4	19.65		19.65	0.00		
	20.68		20.68	0.00		
	15.02		15.02	0.00		
	10.68		10.64	0.04		
	11.32		11.32	0.00		
	17.64		17.11	0.53		
	17.30	112.30	16.89	0.42	111.31	0.98

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา (ต่อ)

ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม	ปรับ HC	ผลต่างย่อย	ระยะทางรวม	ผลต่างรวม
5	17.30		17.30	0.00		
	18.74		17.51	1.23		
	18.08		17.84	0.25		
	16.44		16.02	0.42		
	18.01		17.88	0.13		
	11.34		11.34	0.00		
	16.30	116.22	14.47	1.83	112.36	3.86
6	20.67		20.67	0.00		
	11.32		11.32	0.00		
	17.13		15.89	1.23		
	12.22		11.81	0.41		
	10.68		10.64	0.04		
	17.65		17.62	0.03		
	17.30	106.98	16.89	0.42	104.85	2.13
7	8.36		8.36	0.00		
	17.30		17.30	0.00		
	17.64		17.11	0.53		
	20.68		19.44	1.23		
	8.65		8.60	0.04		
	25.44		24.79	0.65		
	16.12	114.18	15.48	0.63	111.09	3.09
8	17.30		17.30	0.00		
	8.81		8.81	0.00		
	15.39		15.39	0.00		
	13.10		13.06	0.04		
	15.99		14.99	1.00		
	22.71		22.41	0.30		
	10.93	104.23	10.39	0.55	102.35	1.88

ตารางที่ 9 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ก่อนและหลังการปรับปรุงด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา (ต่อ)

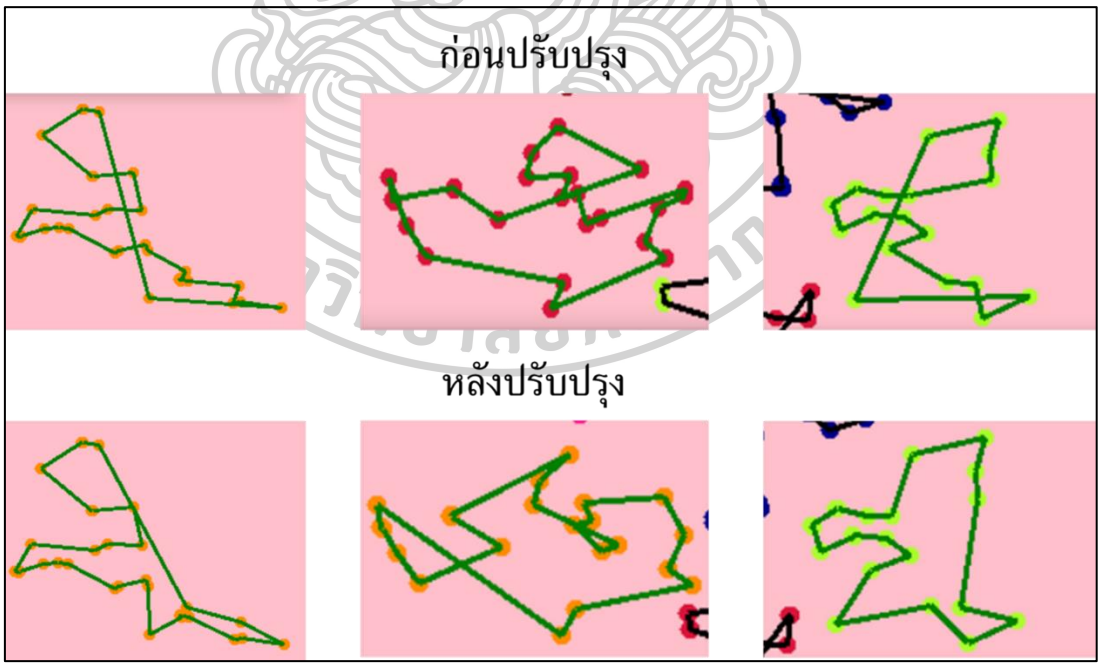
ครั้งที่	ระยะทางย่อย	ระยะทางรวม	ปรับ HC	ผลต่างย่อย	ระยะทางรวม	ผลต่างรวม
9	10.82		10.71	0.11		
	13.61		13.61	0.00		
	17.30		17.30	0.00		
	22.62		21.64	0.99		
	11.65		11.30	0.34		
	15.18		15.08	0.10		
	16.85	108.04	15.65	1.20	105.30	2.74
10	20.68		19.44	1.23		
	16.30		14.47	1.83		
	18.01		18.01	0.00		
	19.44		19.43	0.02		
	5.20		4.87	0.32		
	10.44		9.80	0.64		
	17.30	107.37	16.89	0.42	102.90	4.46



ภาพที่ 13 แผนภูมิเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างเส้นทางเดิมและเส้นทางจากโปรแกรม

จากการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าโปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเป็นอย่างมาก ยกตัวอย่างเช่น ผลลัพธ์จากการประมวลผลครั้งที่ 8 ที่ให้ระยะทางที่ดีที่สุดจากขั้นตอนวิธีแบบละโมบคือระยะทาง 104.23 เมื่อนำมาปรับปรุงผลลัพธ์เพิ่มเติมด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขาทำให้มีระยะทางลดลงเหลือ 102.35 คิดเป็นร้อยละ 1.8 นำเสนอประสิทธิภาพของโปรแกรมในรูปแบบของแผนภูมิเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างระยะทางในเส้นทางเดิมของบริษัทกรณีศึกษา และเส้นทางใหม่ที่ประมวลผลจากโปรแกรมดังภาพที่ 13

ยกตัวอย่างการปรับปรุงผลลัพธ์ให้เห็นภาพอย่างชัดเจนมากยิ่งขึ้นโดยแสดงตัวอย่างการปรับปรุงผลลัพธ์จากการประมวลผลในครั้งที่ 8 ซึ่งเป็นผลลัพธ์ที่ดีที่สุดจากการประมวลผลทั้ง 10 ครั้ง เมื่อนำมาปรับปรุงผลลัพธ์ก็ยังคงให้ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด แสดงตัวอย่างการปรับปรุงเส้นทางในบางกลุ่มของการประมวลผลครั้งที่ 8 โดยสามารถทำให้ระยะทางย่อยและระยะทางรวมดีขึ้นได้ดังภาพที่ 14 จะเห็นว่ากลไกการปรับปรุงผลลัพธ์นั้นคือการสลับลำดับในการเดินทางเพียงไม่กี่จุด โดยเมื่อสลับลำดับแล้วจะต้องมีระยะทางหรือลำดับเส้นทางที่ดีขึ้นจากเดิม



ภาพที่ 14 ตัวอย่างการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา

4.5 ผลลัพธ์จากการทดลองวิเคราะห์ค่า K

จากการทดลองข้างต้นพบว่าโปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ได้ดังที่ต้องการ แต่ยังมีจุดที่น่าสนใจในการนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมคือการค้นหาค่า K หรือจำนวนกลุ่ม ที่เหมาะสมกับปัญหาเพื่อให้เป็นประโยชน์ในการแบ่งกลุ่มของลูกค้าได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยการวิเคราะห์เหล่านี้จะไม่พิจารณาถึงความจุของยานพาหนะและกรอบเวลา ลักษณะนี้จึงเป็นปัญหา MTSP ดังทฤษฎีที่ 2.1.2

4.5.1 การวิเคราะห์ค่า K กรณีที่มีศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่ง

ผู้วิจัยจึงทำการทดสอบปัญหาเดิมโดยกำหนดค่า K ตั้งแต่ 1 ถึง 9 โดยมีสมมติฐานคือศูนย์กระจายสินค้ามีเพียงแห่งเดียวตามข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษา ทั้งนี้ พบว่าจากการทดลองค่า K ที่เพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ในแต่ละรอบนั้นมักได้คำตอบที่ไม่เท่ากันหรือแปรปรวนเพิ่มขึ้นตามจำนวนของ K ดังนั้นที่ K ตั้งแต่ 3 ถึง 9 ผู้วิจัยจะทำการทดลองเป็นจำนวน 10 รอบ และแสดงผลลัพธ์ที่เป็นค่าเฉลี่ยของระยะทางรวมที่ผ่านการปรับปรุงผลลัพธ์ โดยคาดว่าหากการทดลองนี้ให้ผลลัพธ์ที่สมเหตุสมผลจะเป็นแนวทางในการแบ่งกลุ่มที่เหมาะสมและเป็นแนวทางให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถตัดสินใจลดหรือเพิ่มจำนวนยานพาหนะได้ โดยแสดงผลลัพธ์จากการทดลองได้ดังตารางที่ 10 และภาพที่ 15

จากผลการทดลองพบว่า เมื่อมีสมมติฐานว่าศูนย์กระจายสินค้ามี 1 แห่ง ผลลัพธ์ด้านระยะทางนั้นเพิ่มขึ้นตามค่า K เนื่องจากรถต้องเดินทางออกจากศูนย์กระจายสินค้าหลายคันมากขึ้น ระยะทางจึงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย แสดงเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 16 ซึ่งในสถานการณ์จริงหากมองค่า K เป็นจำนวนยานพาหนะ การจะปรับเพิ่มหรือลดจำนวนยานพาหนะตามค่า K อาจจะต้องวิเคราะห์ปัจจัยต่างๆร่วมกับปัญหา VRP ที่มีการพิจารณา เช่น ถ้าลดจำนวนยานพาหนะ ทำให้มีระยะทางที่ดีขึ้นจริง แต่คนขับรถและยานพาหนะต้องทำงานหนักขึ้น จะคุ้มทุนหรือไม่ จึงจะต้องคำนึงถึงความจุที่ยานพาหนะรองรับได้ ค่าเชื้อเพลิง ค่าแรงงาน และค่าเสื่อมสภาพเข้ามาเกี่ยวข้อง ดังนั้น การวิเคราะห์ค่า K จึงถือเป็นเพียงเครื่องมือช่วยในการตัดสินใจอย่างหนึ่งเพื่อให้ผู้วางแผนนำไปปรับใช้กับปัญหาการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่ง

4.5.2 การวิเคราะห์ค่า K กรณีที่ไม่ทราบจำนวนศูนย์กระจายสินค้า

เมื่อทดสอบวิเคราะห์ค่า K กับสมมติฐานที่มีศูนย์กระจายสินค้า 1 จุดมาเกี่ยวข้องพบว่ายังไม่สามารถเห็นประสิทธิภาพของการหาค่า K ที่เหมาะสมได้ จึงทดลองวิเคราะห์ค่า K แบบไม่มีศูนย์

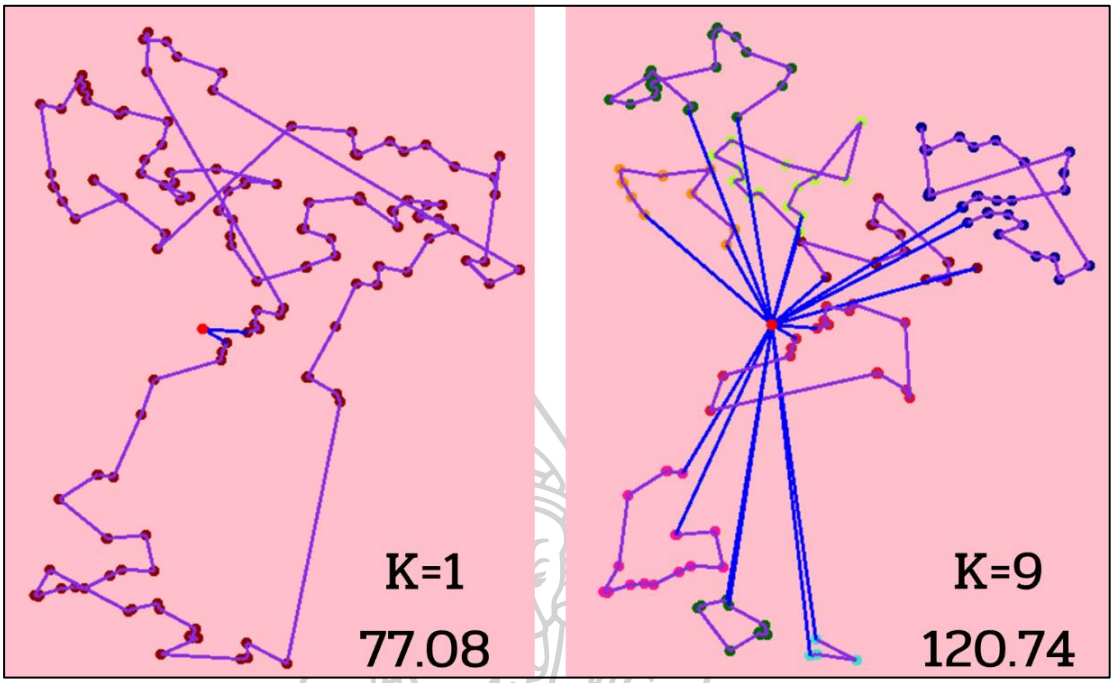
กระจายสินค้าเข้ามาเกี่ยวข้อง แสดงผลลัพธ์จากการทดลองได้ดังตารางที่ 11 จากผลการทดลองพบว่าเมื่อมีสมมติฐานว่าวิเคราะห์ค่า K โดยไม่นำศูนย์กระจายสินค้ามาเกี่ยวข้อง พบว่าผลลัพธ์ด้านระยะทางที่ดีที่สุดอยู่ที่ K เท่ากับ 9 โดยมีระยะทางเท่ากับ 69.11 แสดงภาพผลลัพธ์ดังภาพที่ 17 และแสดงเป็นแผนภูมิดังภาพที่ 18 ซึ่งจากภาพที่ 17 สามารถเป็นแนวทางในการจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าได้ เนื่องจากมองเห็นภาพรวมของตำแหน่งลูกค้าจากการแบ่งกลุ่มและจัดเส้นทางอย่างชัดเจน

ตารางที่ 10 การทดลองค่า K กับตัวแบบปัญหา กรณีมี DC 1 แห่ง

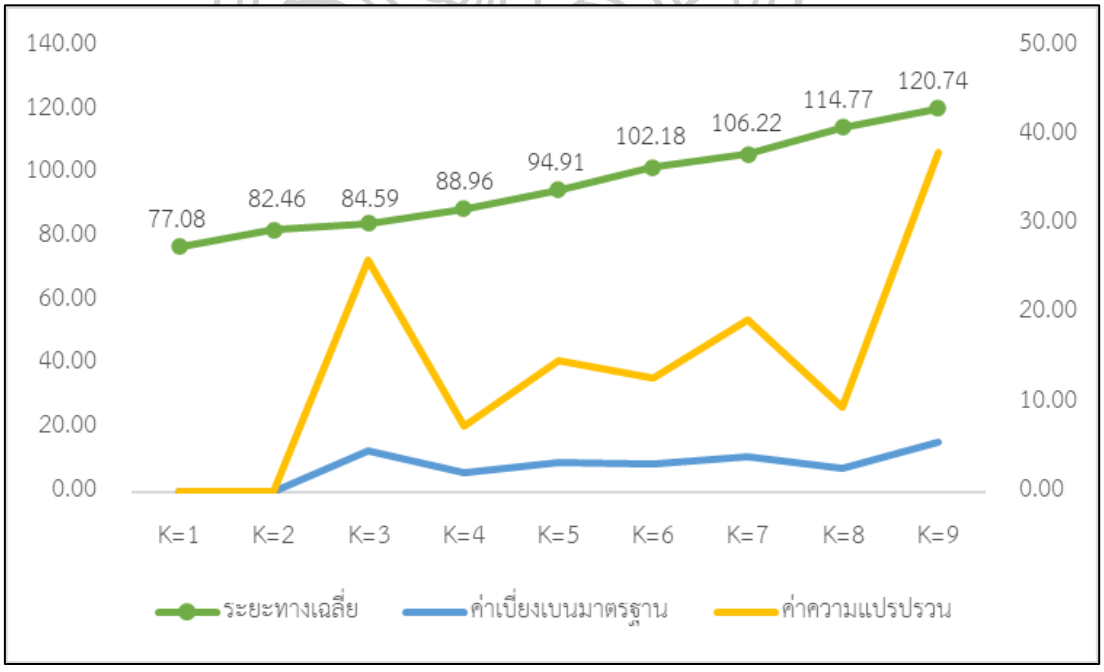
ค่า	ระยะทางเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความแปรปรวน
K=1	77.08	0.00	0.00
K=2	82.46	0.00	0.00
K=3	84.59	4.63	21.46
K=4	88.96	2.26	5.12
K=5	94.91	3.38	11.40
K=6	102.18	3.11	9.66
K=7	106.22	3.93	15.45
K=8	114.77	2.62	6.85
K=9	120.74	5.69	32.42

ตารางที่ 11 การทดลองค่า K กับตัวแบบปัญหา กรณีไม่มี DC

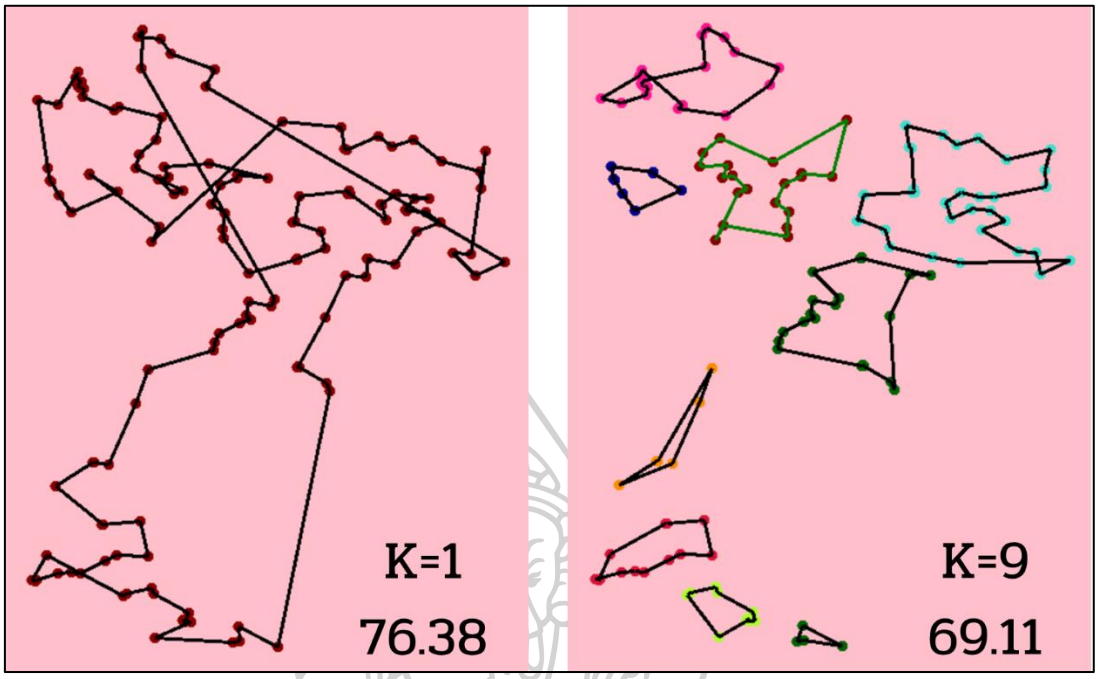
ค่า	ระยะทางเฉลี่ย	ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน	ค่าความแปรปรวน
K=1	76.38	0.00	0.00
K=2	77.78	0.00	0.00
K=3	76.56	3.20	10.26
K=4	72.08	1.45	2.10
K=5	70.93	1.95	3.80
K=6	69.97	1.49	2.21
K=7	70.50	1.42	2.00
K=8	69.99	1.07	1.15
K=9	69.11	1.21	1.46



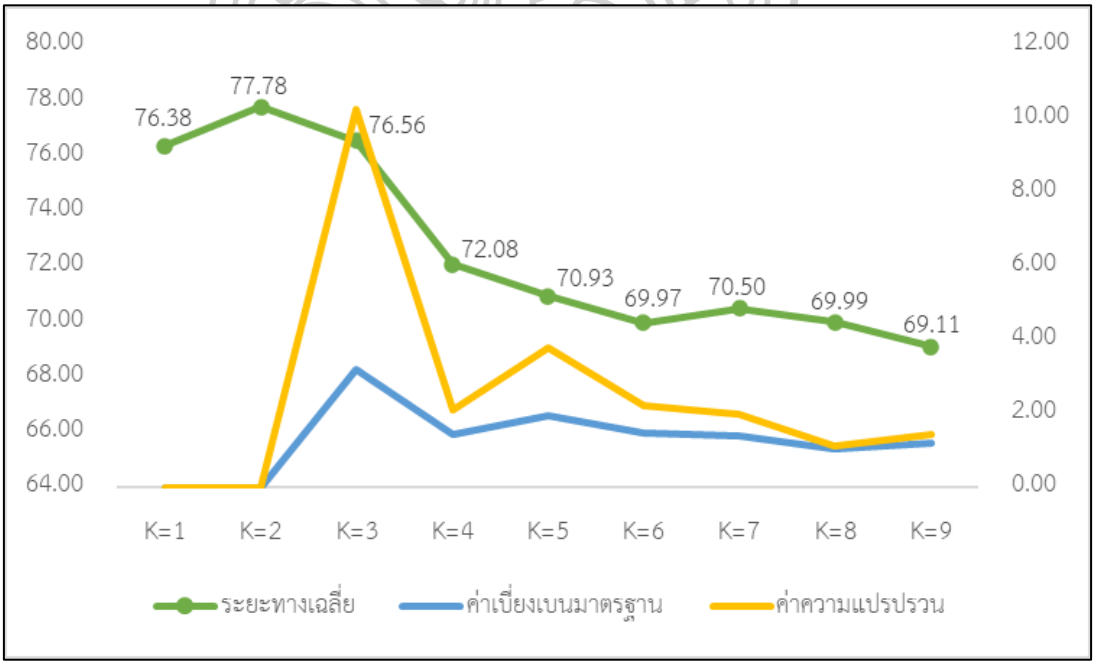
ภาพที่ 15 เส้นทางจากการวิเคราะห์ค่า K = 1 และ 9 กรณีมี DC 1 แห่ง



ภาพที่ 16 แผนภูมิวิเคราะห์ค่า K กรณีมี DC 1 แห่ง



ภาพที่ 17 เส้นทางจากการวิเคราะห์ค่า K = 1 และ 9 กรณีไม่มี DC



ภาพที่ 18 แผนภูมิวิเคราะห์ค่า K กรณีไม่มี DC

บทที่ 5

สรุปผล

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาและวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าด้วยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นร่วมกับการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขา โดยทดลองปัญหาการจัดเส้นทางของข้อมูลแผนการขนส่งบริษัทกรณีศึกษา มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาโปรแกรม VB.NET เพื่อช่วยในการวางแผนการจัดเส้นทางการขนส่งโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นร่วมกับการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขาและเพื่อหาเส้นทางการขนส่งที่มีระยะทางต่ำที่สุดภายใต้จำนวนคันรถที่กำหนด โดยในที่นี้วิเคราะห์ข้อมูลตัวอย่างคือตารางการขนส่งใน 1 เดือน ซึ่งมีจำนวนลูกค้า 154 ราย ทำการหาผลลัพธ์ด้วยโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น พบว่าโปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้นเป็นอย่างมาก นำเสนอประสิทธิภาพของโปรแกรมในรูปแบบของการเปรียบเทียบผลลัพธ์ระหว่างระยะทางในเส้นทางเดิมของบริษัทกรณีศึกษา และเส้นทางใหม่ที่ประมวลผลจากโปรแกรมดังต่อไปนี้

5.1 การเปรียบเทียบผลลัพธ์ด้านเส้นทาง

จากการวางแผนแบบดั้งเดิมของบริษัทกรณีศึกษาด้วยความชำนาญของผู้วางแผนและความชำนาญของคนขับรถ พบว่าใน 1 เดือนมีระยะทางรวมเท่ากับ 246.18 เมื่อใช้โปรแกรมในการแบ่งกลุ่ม จัดลำดับเส้นทาง และปรับปรุงผลลัพธ์ พบว่าสามารถให้ผลลัพธ์ที่ดีขึ้น โดยทำการทดลองจำนวน 10 ครั้ง ในทุกครั้งมีระยะทางที่ดีกว่าเส้นทางเดิม ทั้งนี้ ในการทดลองทั้ง 10 ครั้งมีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดอยู่ในครั้งที่ 8 โดยมีระยะทางรวมเท่ากับ 102.35 ซึ่งถือว่ามีระยะทางลดลงจากเดิมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 143.83

จากการทดสอบโจทย์ปัญหาของบริษัทกรณีศึกษาเพื่อเปรียบเทียบผลัพธ์ด้านระยะทาง สรุปได้ว่าการจัดกลุ่มลูกค้าเป็น 7 กลุ่มตามจำนวนคันรถด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเค และการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยวิธีละโมบสามารถจัดระเบียบเส้นทางและลดระยะทางการเดินรถ รวมถึงเมื่อนำวิธีการปีนเขา มาใช้ปรับปรุงในกรณีที่ผลลัพธ์จากวิธีแบบละโมบนั้นยังให้คำตอบไม่ดีเท่าที่ควร เช่น มีเส้นทางที่ซ้อนทับกัน เมื่อปรับปรุงด้วยการสลับเส้นทางบางจุดนั้นทำให้มีผลลัพธ์ที่ดีขึ้น โดยสามารถลดระยะทางจากเส้นทางเดิมได้ถึงร้อยละ 58.43 การจัดกลุ่มด้วย K-Means สามารถจัดกลุ่มลูกค้าที่อยู่

ใกล้เคียงกันให้เป็นกลุ่มเดียวกันด้วยระยะห่างของข้อมูลได้อย่างเหมาะสม การจัดเส้นทางด้วย Greedy สามารถให้ผลลัพธ์ด้านเส้นทางที่ดีพอใช้ อีกทั้งเมื่อนำมาประยุกต์ใช้ร่วมกับขั้นตอนวิธีการปีนเขา ทำให้มีการปรับปรุงผลลัพธ์ที่ดีขึ้นได้ หากทางบริษัทกรณีศึกษานำโปรแกรมในการวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้แทนการวางแผนจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าแบบเดิมที่จัดโดยประสบการณ์และความชำนาญของบุคคล จะสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าได้ แสดงให้เห็นว่าการพัฒนาโปรแกรมโดยประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นและการปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขาสามารถทำให้เส้นทางการขนส่งสินค้ามีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้น มีระยะทางโดยรวมลดลงและสามารถประยุกต์ใช้ในการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าได้จริง ซึ่งสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ในการวิจัยครั้งนี้

5.2 การเปรียบเทียบผลลัพธ์จากการทดลองค่า K

จากการทดลองโปรแกรมวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นและขั้นตอนวิธีการปีนเขาพบว่าโปรแกรมสามารถให้ผลลัพธ์ได้ดังที่ต้องการ แต่ยังมีจุดปัญหาย่อยที่น่าสนใจและควรนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติมคือการค้นหาค่า K หรือจำนวนกลุ่ม ที่เหมาะสมกับปัญหาเพื่อให้เป็นประโยชน์ในการแบ่งกลุ่มของลูกค้าได้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการทดสอบปัญหาเดิมโดยกำหนดสมมติฐาน 2 กรณีดังนี้

สมมติฐานที่ 1 เมื่อมีศูนย์กระจายสินค้า 1 แห่งและต้องเดินทางเข้า - ออก จากศูนย์กระจายสินค้าเสมอ ทดสอบปัญหากับค่า K ตั้งแต่ 1 ถึง 9 พบว่าเมื่อค่า K เพิ่มขึ้นทำให้ผลลัพธ์ในแต่ละรอบนั้นมีระยะทางและความแปรปรวนเพิ่มขึ้นตามจำนวนของค่า K เนื่องจากปัญหาในการศึกษานี้เป็นการออกเดินทางจากจุด DC ซึ่งมีเพียงจุดเดียว เมื่อมีจำนวนกลุ่มหรือค่า K ที่น้อย ระยะทางจึงน้อยลงด้วย เนื่องจากการเดินทางเข้า - ออก จาก DC มีจำนวนครั้งที่น้อย แต่ในทางปฏิบัติจริงไม่สามารถทำได้เนื่องจากยานพาหนะแต่ละคันมีข้อจำกัดในการเดินทางอื่น ๆ ที่ต้องนำมาวิเคราะห์เพิ่มเติม เช่น ความจุยานพาหนะ เวลาทำงานของคนขับรถ หรือค่าใช้จ่ายที่เกี่ยวข้อง

สมมติฐานที่ 2 เมื่อพิจารณาแบบไม่มีศูนย์กระจายสินค้าทดสอบปัญหากับค่า K ตั้งแต่ 1 ถึง 9 พบว่า มีผลลัพธ์ที่ดีที่สุดโดยมีระยะทางที่น้อยที่สุดอยู่ที่ K เท่ากับ 9 โดยมีระยะทางเท่ากับ 69.11 ทั้งนี้การพิจารณาค่า K จากการวิจัยครั้งนี้เป็นข้อสมมติฐานที่น่าสนใจซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้โดยวิเคราะห์ร่วมกับปัญหาการจัดเส้นทางอื่น ๆ ได้ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการวิเคราะห์ค่า K หรือ

จำนวนกลุ่มและจำนวนคันรถให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งสามารถนำไปใช้เป็นเครื่องมือการตัดสินใจในการตั้งศูนย์กระจายสินค้าได้

ดังนั้น การวิเคราะห์ค่า K ในงานวิจัยครั้งนี้อาจเป็นแนวทางในการแบ่งกลุ่มให้เหมาะสมในปัญหาการจัดเส้นทาง และเป็นแนวทางให้บริษัทกรณีศึกษาสามารถตัดสินใจลดหรือเพิ่มจำนวนยานพาหนะ โดยต้องพิจารณาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องร่วมด้วย และสามารถนำโปรแกรมนี้ไปใช้วิเคราะห์ค่า K ในปัญหาการจัดเส้นทางอื่นๆ ได้ โดยที่บางโจทย์ปัญหาอาจจะให้ผลลัพธ์ที่ดี เนื่องจากแต่ละปัญหามักจะมีจำนวนและขนาดของกลุ่มที่แตกต่างกัน ซึ่งโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นโดยวิธีฮิวริสติกส์แบบสองขั้นจะสามารถช่วยสนับสนุนการตัดสินใจของผู้วางแผนได้

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 การศึกษาวิจัยครั้งนี้ยังมีปัจจัยด้านข้อจำกัดในการขนส่งไม่มากพอเนื่องจากข้อจำกัดของข้อมูลที่มาจากบริษัทกรณีศึกษา อาจจะสะท้อนให้ผู้อ่านเห็นสภาพการขนส่งที่แท้จริงได้ไม่เต็มที่ ดังนั้นควรเพิ่มข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับการขนส่งเข้ามา เช่น น้ำหนักบรรทุกจริง ปริมาตรสินค้า ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าแรงพนักงานขับรถ และค่าเสื่อมสภาพของยานพาหนะ เป็นต้น

5.3.2 การปรับปรุงผลลัพธ์ด้วยขั้นตอนวิธีการปีนเขาในโปรแกรมที่พัฒนาขึ้นนั้นยังไม่สามารถจัดการกับปัญหาในบางเส้นทางที่มีความซับซ้อนมาก เนื่องจากอาศัยหลักการเลือกจุดเพียงไม่กี่จุดและสลับกันไปจนกว่าจะเจอผลลัพธ์ที่ดีขึ้น ดังนั้น เมื่อเจอเส้นทางที่ซับซ้อนในบางครั้งจะไม่สามารถค้นหาผลลัพธ์ที่ดีที่สุดได้ จึงเป็นแนวทางสำหรับงานวิจัยในอนาคตที่ควรมีการเพิ่มจำนวนของ iteration หรือปรับปรุงขั้นตอนวิธีการปีนเขาให้มีประสิทธิภาพในการประมวลผลร่วมกับโปรแกรมมากยิ่งขึ้น

5.3.3 ควรปรับปรุงวิธีการจัดกลุ่มด้วยวิธีค่าเฉลี่ยของเคให้สามารถทำการแบ่งกลุ่มโดยมีความสมดุลของจำนวนสมาชิกในแต่ละกลุ่มมากขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ในการจัดสรรจำนวนคันรถและสร้างความเหมาะสมในการตัดสินใจจัดตั้งศูนย์กระจายสินค้าสำหรับงานวิจัยในอนาคต

รายการอ้างอิง

1. เกศินี สือนิ, การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีเซฟวิ่งอัลกอลิทึม และเพื่อนบ้านที่ใกล้ที่สุดอัลกอริทึม. วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ, 2563. 12(2): หน้าที่. 1-14.
2. ชวันลักษณ์ สุวรรณรัศมี, การจัดเส้นทางสำหรับการให้บริการลูกค้าของตัวแทนจำหน่ายอุปกรณ์ทางวิศวกรรมในภาคใต้ของประเทศไทย. 2560, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
3. ณกร อินทร์พยุง, การแก้ปัญหาการตัดสินใจในอุตสาหกรรมการขนส่งและลอจิสติกส์. 2548, กรุงเทพฯ : ซีเอ็ดยูเคชั่น.
4. Paolo Toth and Daniele Vigo, *The Vehicle Routing Problem*. Discrete Mathematics and Applications. 2002, SIAM.
5. รัฐกร แตงแสงจันทร์, การจัดเส้นทางเดินรถเพื่อส่งสินค้าหลายจุดที่มีเงื่อนไขกรอบเวลาและข้อจำกัดเวลาการทำงาน. 2558, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.
6. พลอยไพลิน ภูมิโคกรักษ์, การพัฒนาระบบการจัดเส้นทางการเดินรถขนส่งสินค้าผลิตภัณฑ์อาหารแช่แข็ง. 2560, วิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมระบบอุตสาหกรรมและสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.
7. Mohammad Sedighpoura, Majid Yousefikhoshbakhtb andNarges Mahmoodi Darani, *An Effective Genetic Algorithm for Solving the Multiple Traveling Salesman Problem.* Journal of Optimization in Industrial Engineering 2011. 8: p. 73-79.
8. เพชรายุทธ แซ่หลี, วชิระ วิจิตรพงษา และหทัยธนก พวงแย้ม, การจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มโดยการใช้โปรแกรมเชิงเส้น กรณีศึกษา ห้างหุ้นส่วนจำกัด รัศมี 2015. วารสารวิชาการคณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏลำปาง, 2560. 10(2): หน้าที่. 48-59.
9. น้ำฝน พาพันธ์ และภัทรานิษฐ์ แก้วประดิษฐ์, การจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าโดยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด กรณีศึกษา: โรงงานเม็ดพลาสติก. 2563, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิตสาขาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์, วิทยาลัยนวัตกรรมด้านเทคโนโลยีและวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
10. Kongruksiam Studio. *Summary of Machine Learning(EP.8)- Grouping with K-Means(K-Means Clustering)*. 2020 [cited 2566 10 November]; Available from: https://kongruksiam.medium.com/%E0%B8%AA%E0%B8%A3%E0%B8%B8%E0%B8%9B-machine-learning-ep-7-

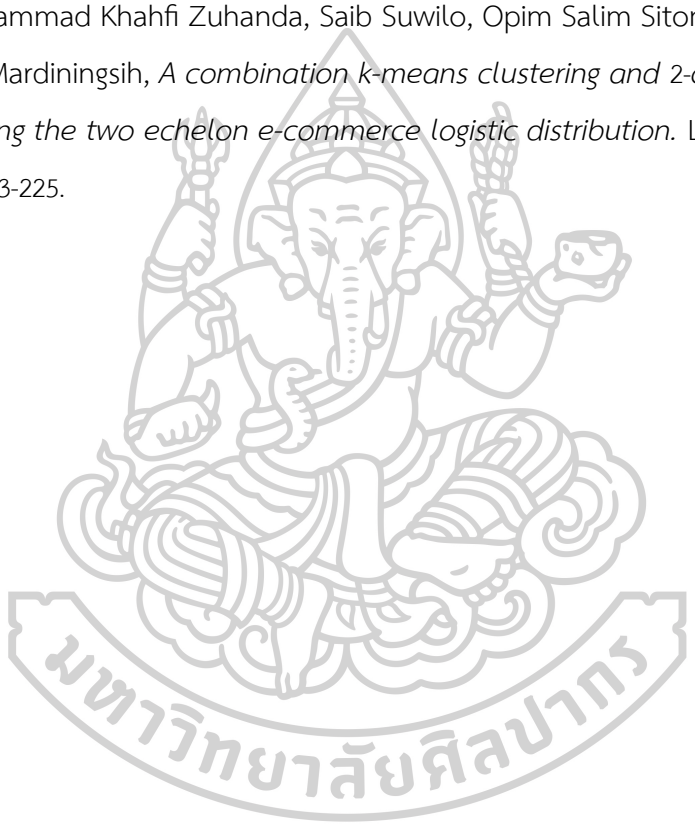
%E0%B8%81%E0%B8%B2%E0%B8%A3%E0%B8%88%E0%B8%B1%E0%B8%94%E0%B8%81%E0%B8%A5%E0%B8%B8%E0%B9%88%E0%B8%A1%E0%B8%94%E0%B9%89%E0%B8%A7%E0%B8%A2-k-means-k-means-clustering-2423389f6c10.

11. อนันต์ มุ่งวัฒนา, ปุณยนุช ชัยเจริญธาดา และชัชพันธ์ ขำญาติ. ปัญหาการเดินทางของพนักงานขายเมื่อมีข้อจำกัดด้านการเติมเชื้อเพลิง. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 2555. ชะอำ เพชรบุรี.
12. สถิตย์พงษ์ วงศ์สง่า, อัศนัย ทาเภา, เรืองรุชดิ์ ชีระโรจน์ และอลงกรณ์ ละม่อม, การประยุกต์ใช้ฮิลไคลมิงอัลกอริทึมเพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของเถ้าก้นเตาบดละเอียดในงานคอนกรีต. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ., 2555. 35(2): หน้าที่. 173-185.
13. ธนาภา ควรผดุงศักดิ์ และสรวิชญ์ เยาวสุวรรณไชย, การพัฒนาฮิวริสติกส์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถขนส่งสำหรับช่วยเหลือผู้ประสบภัยพิบัติ ณ เวลาที่ข้อมูลมีการเปลี่ยนแปลงไป. วิศวกรรมสาร มก., 2560. 30(99): หน้าที่. 1-16.
14. อิทธิพงษ์ จรัสอรรถกร, อนันต์ มุ่งวัฒนา และนราภรณ์ เภาประเสริฐ. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบหลายคลังสินค้าโดยวิธีฮิวริสติกส์. การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ. 2560. มหาวิทยาลัยเชียงใหม่.
15. จตุรงค์ จิตระบอบ, การพัฒนาตัวแบบปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้เทคนิคฮิวริสติกส์. 2560, วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิตสาขาวิชาการจัดการวิศวกรรม, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
16. อัจฉรา ชุมพล, นรงค์ วิชาผา และไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ, การประยุกต์ใช้วิธีการ *K-Means-TSP* สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง : กรณีศึกษา บริษัท แสงชัยรุ่งเรือง จำกัด. วารสารวิจัยวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยราชภัฏสุรินทร์, 2563. 4(2): หน้าที่. 15-26.
17. อมรรัตน์ อุดมเจริญศิลป์ และสราวุธ จันทร์สุวรรณ. การวางแผนและปรับปรุงการเดินทางของพนักงานขายแบบหลายเส้นทาง ภายใต้เวลาทำงานที่จำกัด กรณีศึกษาบริษัทแห่งหนึ่งในจังหวัดกาญจนบุรี. in การประชุมวิชาการข่ายงานวิศวกรรมอุตสาหการ ครั้งที่ 39. 2564. คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา.
18. Sasmi Hidayatul Y T, Arif Djunaidy andAhmad Muklason. *Solving Multi-objective Vehicle Routing Problem Using Hyper-heuristic Method By Considering Balance of Route Distances*. in 2019 *International Conference on Information and Communications Technology (ICOIACT)*. 2019. Yogyakarta, Indonesia: IEEE.
19. Purba Daru Kusuma and Meta Kallista, *Multi-Depot Capacitated Vehicle Routing Problem by Using Stable Marriage and K-Means Clustering to Minimize Number of Unserved Customers and Total Travel Distance.* International Journal of Intelligent Engineering and Systems, 2021. 6(14): p. 605-615.
20. Jessi Febria, Christine Dewi andVangs Mailoa. *Comparison of Capacitated*

Vehicle Routing Problem Using Initial Route and Without Initial Route for Pharmaceuticals Distribution. in 2021 2*nd International Conference on Innovative and Creative Information Technology (ICITech)*. 2021. Salatiga, Indonesia.

21. Thi Diem Chau, Duc Duy Nguyen, Judit OlÁh andMiklós PakurÁr, *Clustering Algorithm for a Vehicle Routing Problem with Time Windows.* Transport, 2022. 37(2): p. 17-27.

22. Muhammad Khahfi Zuhanda, Saib Suwilo, Opim Salim Sitompul andMardiningsih, *A combination k-means clustering and 2-opt algorithm for solving the two echelon e-commerce logistic distribution.* Logforum, 2022. 18(2): p. 213-225.



มหาวิทยาลัยศิลปากร

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล นางสาวแพรวผกา หลงแป้น

วุฒิการศึกษา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมการจัดการและโลจิสติกส์