

การเปรียบเทียบวิธีการหาคำตอบสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ Comparison of Methods for Optimal Solutions to Vehicle Routing Problems

จักรินทร์ กลั่นเงิน¹, เทียนจู์ เด่นเวสสะเพชร์², นิภาพรณ กลั่นเงิน³, ประภาพรณ เกษราพงศ์^{4*}
Jakkarin Klunngien¹, Thianju Denwessaphet², Nipapan Klunngien³, Prapapan Ketsarapong^{4*}

^{1,4}หน่วยปฏิบัติการวิจัยการจัดการการผลิตและอุตสาหกรรม, ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

²ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ, คณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

³สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ

^{1,4}Industrial and Production Management Research Unit, Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

²Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering at Sriracha, Kasetsart University

³National Science and Technology Development Agency

* Corresponding author. Email: Prapapan@eng.src.ku.ac.th

Received: 13-02-2025 Revised: 2-12-2024 Accepted: 30-06-2025

บทคัดย่อ

ต้นทุนหลักของระบบการขนส่งโลจิสติกส์คือต้นทุนในการขนส่ง บริษัทที่มีการบริหารจัดการขนส่งที่ไม่ดีจะส่งผลให้ต้นทุนการขนส่งสูงขึ้น ปัจจัยหลักของต้นทุนการขนส่งที่สูงเกิดจากการเดินทางของพนักงานที่เลือกเส้นทางในการเดินทางที่ไม่มีประสิทธิภาพทำให้เกิดระยะทางรวมมาก ซึ่งในบางครั้งอาจทำให้การส่งสินค้าเกิดความล่าช้า ดังนั้น งานวิจัยนี้จึงศึกษาการจัดการเส้นทางขนส่งยานพาหนะในกรณีที่ทราบความต้องการของลูกค้าแน่นอน สำหรับบริษัทจำหน่ายและจัดส่งสินค้าเกษตรชนิดหนึ่งซึ่งมียานพาหนะ 1 คัน กำหนดความสามารถในการบรรทุกสูงสุดไม่เกิน 5,000 กิโลกรัม วัตถุประสงค์ของงานวิจัยเพื่อเปรียบเทียบวิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสม 3 วิธีคือ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA) และวิธีอัลกอริทึมปีนเขา (Hill-climbing Algorithm) ผลที่ได้พบว่า เมื่อลูกค้ามีจำนวน 400 รายวิธี SA สามารถแก้ปัญหาได้ ในขณะที่วิธี HCA และวิธี GA สามารถแก้ปัญหาเมื่อมีจำนวนลูกค้าสูงสุดเพียง 350 และ 200 รายตามลำดับ ดังนั้นจึงสรุปได้ว่า วิธี SA สามารถแก้ปัญหาในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ที่สุดได้ ในขณะที่วิธี HCA และ วิธี GA เป็นวิธีที่รองลงมาตามลำดับ แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบคำตอบในการจัดเส้นทางพบว่า วิธี GA เป็นวิธีที่ให้ระยะทางและเวลาในการเดินทางที่น้อยที่สุดจากทั้ง 3 วิธีเมื่อมีจำนวนลูกค้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 200 ราย

คำสำคัญ : วิธีเชิงพันธุกรรม วิธีการอบอ่อนจำลอง วิธีอัลกอริทึมปีนเขา ปัญหาการขนส่งยานพาหนะ

ABSTRACT

The primary cost of logistics systems is transportation cost. Companies with poor transportation management result in higher transportation costs. The main factor of high transportation costs is employees choosing inefficient routes that result in a high total distance. In addition, as a result, delivery is also too late. Therefore, this research studies vehicle transportation routing in cases of certainty demand. A case study of distributor and delivery agriculture products that have one vehicle, and maximum loading capacity not exceeding 5,000 kg. The purpose of this research is to compare methods for finding the optimal solution with three methods; Genetic Algorithm (GA), Simulated Annealing (SA), and Hill-climbing Algorithm (HCA). The result shows that SA can solve the problem when the number of customers is 400, while HCA and GA can solve the problem when the number of customers is 350 and 200, respectively. Consequently, SA is the most effective method. Next are HCA and GA, respectively. GA is the method that gets the least distance and transportation time of the three methods when the number of customers is less than or equal to 200.

Keyword: Genetic Algorithm Simulated Annealing Hill Climbing Vehicle Routing Problem

1. บทนำ

ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง เป็นปัญหาด้านโลจิสติกส์รูปแบบหนึ่งที่ได้มีการศึกษาค้นคว้าอย่างแพร่หลาย โดยมีการปรับเปลี่ยนเงื่อนไข และข้อจำกัดต่างๆ ตามรูปแบบปัญหาที่สนใจ ซึ่งมีทั้งแบบสนใจเพียงระยะทางอย่างเดียว หรือที่เรียกว่า ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travel Salesman Problem; TSP) แบบสนใจระยะทางและน้ำหนักในการบรรทุก หรือที่เรียกว่า ปัญหาการกำหนดเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem; VRP) อย่างไรก็ตามปัญหาทั้ง 2 เป็น NP-hard ซึ่งแก้ไขได้ยาก และมีความซับซ้อนของเวลาเมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นก็จะทำให้เวลาในการแก้ปัญหาเพิ่มขึ้น ในขณะที่ปัญหาการขนส่งมีความสำคัญกับธุรกิจหลายๆ ธุรกิจในปัจจุบันเป็นอย่างมาก เนื่องจากเกี่ยวข้องกับต้นทุนการขนส่งโดยตรง [1] ซึ่งเป็นต้นทุนที่สูงสุดในต้นทุนโลจิสติกส์ รองลงมาคือต้นทุนในการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง และต้นทุนการบริหารจัดการ ตามลำดับ หากสามารถลดต้นทุนส่วนนี้ลงได้ก็จะส่งผลให้ผลประกอบการของบริษัทดีขึ้นได้ สำหรับงานวิจัยที่ศึกษาผู้วิจัยได้แบ่งงานวิจัยออกเป็น 2 ส่วน ในงานวิจัยนี้เป็นส่วนแรกของงานวิจัยหลักซึ่งในงานวิจัยนี้ผู้วิจัยมีวัตถุประสงค์เพื่อเปรียบเทียบวิธีการในการหาคำตอบที่เหมาะสม 3 วิธีคือ วิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm: GA) วิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing: SA) และวิธีอัลกอริทึมปีนเขา (Hill-climbing Algorithm: HCA) เพื่อนำวิธีที่ได้คำตอบที่ดีที่สุดไปใช้ในส่วนของ 2 ทำให้บริษัทสามารถลดระยะทางในการขนส่ง ส่งผลให้ต้นทุนที่ลดลง เหตุผลที่ผู้วิจัยเลือกอัลกอริทึมทั้ง 3 เนื่องจากเป็นวิธีที่ได้รับความนิยมและได้รับการพัฒนาปรับปรุงวิธีการให้ดีขึ้นอย่างต่อเนื่อง บริษัทกรณีศึกษาเป็นบริษัทจำหน่ายและจัดส่งสินค้าการเกษตรชนิดหนึ่ง ซึ่งจะจัดส่งสินค้าตามความต้องการของลูกค้าในแต่ละวัน โดยร้านกรณีศึกษามียานพาหนะ 1 คัน มีความสามารถในการบรรทุกไม่เกิน 5,000 กิโลกรัม ปัญหาดังกล่าวจึงเป็นปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบทราบค่าความต้องการของลูกค้าแน่นอน (Deterministic Demand) ซึ่ง [2] ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งขึ้นส่วนรถยนต์ กรณีศึกษาบริษัทขนส่งขึ้นส่วนรถยนต์เปรียบเทียบต้นทุนรวมในการขนส่งก่อนและหลังปรับปรุง พบว่าต้นทุนรวมลดลงร้อยละ 23.33 และระยะทางขนส่งลดลงร้อยละ 17.37 [3] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางยานพาหนะสำหรับกระจายสินค้าแบบรวมสินค้า (Vehicle Routing Problem with Shipment Consolidation; VRPC) และแบบแยกส่วน (Vehicle Routing Problem with Split Deliveries; VRPSD) ผลที่ได้พบว่าการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบ VRPC ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่าถึงร้อยละ 10 [4] ศึกษาการขนส่งแบบหลายคลังสินค้าของเพลตฟอรั่มอเมริกาเพื่อลดต้นทุนในการจัดส่งโดยใช้แบบจำลองกำหนดการเชิงเส้นจำนวนเต็มแบบผสม (Mixed-Integer

Programming Model) และได้เสนออัลกอริทึมทางพันธุกรรมสองชั้นเพื่อแก้ปัญหา ซึ่งได้จำกัดไว้ 100 รุ่น ผลที่ได้พบว่าวิธีการนี้สามารถลดเวลาในการคำนวณได้ดี เพียงแต่อัลกอริทึมไม่เสถียร [5] พัฒนาวิธีการจัดส่งสินค้าเพื่อลดต้นทุนในการส่งสินค้าโดยใช้แบบจำลองการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งแยกสินค้า (Vehicle Routing Problem with Time Windows and Split Demand Delivery) โดยใช้รถสำหรับบรรทุกสินค้า 4 ชนิดแตกต่างกัน และใช้วิธีการทางฮิวริสติกส์วิธีแบบแทรกไปข้างหน้าแบบแทรกใกล้สุด และทำการปรับปรุงคำตอบด้วยการค้นหาเฉพาะที่ (Local Search) และการย้ายลำดับลูกค้า 1 ราย [6] นำเสนอรูปแบบการให้บริการขนส่งสำหรับผู้สูงอายุในอำเภอหาดใหญ่จากบ้านไปโรงพยาบาล (Home to Hospital Transport Planning; HHTP) แบบมีกรอบเวลา และใช้โปรแกรม ArcGIS 10.2 พบว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งลงร้อยละ 65.64 [7] นำเสนอการแก้ไขปัญหการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาด้วยขั้นตอนวิธีเชิงพันธุกรรม (Genetic Algorithm; GA) เปรียบเทียบกับการค้นหาแบบทาบ (Tabu Search) พบว่าวิธี GA ให้ประสิทธิภาพที่ดีกว่า [8] แก้ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะแบบพลวัตที่สามารถเปลี่ยนแปลงรายละเอียดต่างๆ ของลูกค้าได้เมื่อเวลาเปลี่ยนไปโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลองเพื่อให้ต้นทุนรวมน้อย [9] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งและระยะเวลาในการขนส่งด้วยวิธีการอบอ่อนจำลอง (Simulated Annealing : SA) วิธีปีนเขา (Hill Climbing Algorithm: HCA) โดยแบ่งกลุ่มลูกค้าแบบค่าเฉลี่ยของเค (K-Means Clustering) และวิธีเดิมก่อนการจัดเส้นทาง พบว่าวิธีการอบอ่อนจำลองให้ระยะทางลดลง 216 กิโลเมตร และต้นทุนในการขนส่งลดลงร้อยละ 5.10 ต่อปี [10] ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า 3 กลุ่มโดยแบ่งตามช่วงเวลาในการจัดส่งที่แตกต่างกัน และใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง ด้วยอัลกอริทึมภาษา ไพธอน พบว่า เมื่อนำระยะทาง น้ำหนัก และจำนวนรถมาหาจุดคุ้มทุน จะสามารถคุ้มทุนได้ภายใน 4.02 ปีและให้ผลกำไร 1,379.10 บาทต่อวัน [11] ทำการเปรียบเทียบขั้นตอนวิธีการอบอ่อนจำลองกับขั้นตอนการปีนเขาในการจัดเส้นทางขนส่งในคลังสินค้า ผลที่ได้พบว่า ขั้นตอนวิธีการอบอ่อนจำลองได้ผลลัพธ์ที่ดีกว่า และควรใช้ค่าอัตราการลดลงของ $T(\alpha)$ สูงหรือใกล้เคียง 1 [12] ศึกษาวิธีออกแบบเส้นทางขนส่งที่สามารถขยายพื้นที่ครอบคลุมเครือข่ายมากที่สุด ในขณะที่ยังสามารถรักษาข้อจำกัดของงบประมาณไว้ โดยใช้วิธี HCA ผลลัพธ์ที่ได้จากเครือข่ายกริดขนาด 6×10 สำหรับ งบประมาณ 3 ระดับคือ ต่ำ ปานกลาง และสูง พบว่า เวลาที่ใช้ในการคำนวณจะน้อยกว่าการใช้วิธีหาคำตอบที่ดีที่สุด และคำตอบที่ได้จะแตกต่างจากคำตอบที่ดีที่สุดร้อยละ 0.12, ร้อยละ 4.16 และร้อยละ 2.22 ตามลำดับของงบประมาณ

2. วัสดุ อุปกรณ์ และวิธีการทดลอง

2.1 วัสดุ อุปกรณ์

บทความนี้ใช้ตัวอย่างปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจและเป็นที่รู้จักกันดี เพื่อวิเคราะห์ประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธี GA SA และ HCA โดยผู้วิจัย จะทำการขยายขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้นจนวิธีการทั้ง 3 ไม่สามารถหาคำตอบได้ภายใต้ระยะเวลาที่กำหนดไว้ 1 ชั่วโมง ฮาร์ดแวร์ที่ใช้ในการทดลองนี้คือ AMD Ryzen7 7735HS หน่วยความจำขนาด 16 GB.DDR5 (4800MHz)(8x2) Max 32GB. ส่วนระบบปฏิบัติการและซอฟต์แวร์ที่ใช้คือ Windows 11 Home และ Excel VBA ตามลำดับ

2.2 วิธีการทดลอง

2.2.1 วิธี GA [13,14] เป็นกระบวนการที่เลียนแบบ การคัดเลือกทางธรรมชาติในการหาคำตอบที่ดีที่สุด ขั้นตอนวิธี GA มีดังนี้

- 1) การสร้างประชากรของคำตอบเริ่มต้น (Initialization) โดย กำหนดเส้นทางการขนส่งสำหรับ VRP เริ่มจากจุดกระจายสินค้า ไปยังจุดต่างๆ แล้วกลับมายังจุดเริ่มต้น
- 2) การคำนวณค่าฟิตเนส (Fitness Evaluation) ซึ่งจะคำนวณจากระยะทางรวมทั้งหมดที่ยานพาหนะเดินทาง และจะถูกนำมาใช้ในการคัดเลือกผู้ที่ได้รับการผสมพันธุ์และคัดเลือกในรอบถัดไป
- 3) การเลือก (Selection) เป็นการเลือกตัวแทนจากประชากรที่จะนำมาใช้ในการผสมพันธุ์ (Crossover) เพื่อสร้างประชากรลูกหลาน
- 4) การผสมพันธุ์ (Crossover) คือการผสมพันธุ์ระหว่าง 2 ตัวแทนเพื่อสร้างประชากรลูกหลาน ซึ่งก็คือคำตอบใหม่ ในที่นี้เลือกใช้วิธีการแลกเปลี่ยนอยู่ที่จุดเดียวในโครโมโซม (One-Point Crossover)
- 5) การกลายพันธุ์ (Mutation) เป็นการเปลี่ยนแปลงบางส่วน ของตัวแทนในประชากรลูกหลาน เพื่อเพิ่มความหลากหลาย และช่วยเลี่ยงเหตุการณ์ที่คำตอบติดอยู่ที่ค่าต่ำสุดเฉพาะที่ (Local Optima) สามารถทำได้โดยการสลับตำแหน่งของเส้นทางการขนส่งในโครโมโซมเพื่อสร้างความแตกต่างในแต่ละรุ่น
- 6) การทดแทน (Replacement) จะดำเนินการหลังจากได้ทำการผสมพันธุ์และกลายพันธุ์ของประชากรลูกหลานแล้วจะเพิ่มเข้าไปในประชากรและทำการแทนที่ตัวแทนบางตัวจากประชากรเดิม
- 7) การหยุด (Termination) จะดำเนินการทำซ้ำจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสม หรือจำนวนรอบการทำซ้ำ 1,000 รอบ

2.2.2 วิธี SA [15,16] เป็นเทคนิคที่เลียนแบบพฤติกรรม การอบอ่อนหรือการทำให้เย็นลงช้าๆ การนำมาใช้หาคำต่ำสุดหรือ

สูงสุดสามารถทำได้โดยการปรับค่าพารามิเตอร์เพื่อหาค่าต่ำสุดในพื้นที่ของพารามิเตอร์ โดยไม่จำกัดพื้นที่คำตอบเฉพาะจุดที่ใกล้เคียงสุด แต่จะมีการกระโดดไปยังจุดอื่น เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาความผิดปกติของฟังก์ชัน (Local Minima) มีขั้นตอนดังนี้

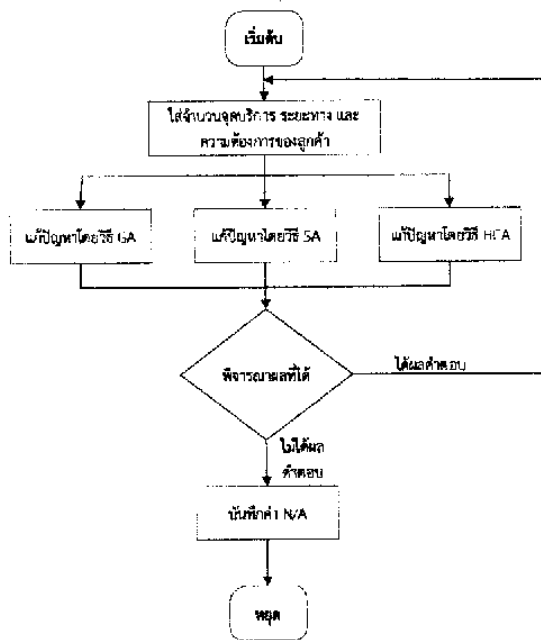
- 1) กำหนดค่าพารามิเตอร์เริ่มต้น (Initial Parameters) เป็นการสร้างคำตอบแรกจากการสุ่มพื้นที่คำตอบที่เป็นไปได้ เพื่อนำมาใช้ในการเปรียบเทียบคำตอบ
- 2) สร้างการเปลี่ยนแปลง (Generate New Solution) เป็นการสร้างคำตอบใหม่ จากการเลือกตำแหน่งโดยการกระโดดหรือการเบี่ยงเบน (Perturbation) ของสถานะปัจจุบันไปยังสถานะใหม่ ในที่นี้เลือกวิธีการสลับตำแหน่ง
- 3) คำนวณค่าฟังก์ชันระยะทางของตำแหน่งใหม่ที่ได้จากการกระโดด ซึ่งจะคำนวณค่าต่ำสุดที่ต้องการหาจากการเปลี่ยนแปลง
- 4) ยอมรับหรือไม่ยอมรับตำแหน่งใหม่ (Acceptance Criteria) จะตรวจสอบจากตำแหน่งใหม่ที่ได้เปรียบเทียบกับตำแหน่งเดิม หากตำแหน่งใหม่ดีกว่าจะยอมรับตำแหน่งใหม่
- 5) ปรับลดอุณหภูมิ (Cooling the Temperature) อุณหภูมิจะลดลงตามที่กำหนดเพื่อให้กระบวนการเข้าสู่ภาวะเสถียร มีการกำหนดอุณหภูมิเท่ากับ 1 เอกสารอ้างอิงจาก [8]
- 6) ตรวจสอบเงื่อนไขการหยุด (Stopping Criteria) เมื่อจำนวนขั้นตอนถึงขีดจำกัดที่กำหนด การทำงานของ SA จะหยุดลง ซึ่งได้ตั้งจำนวนรอบทำซ้ำเท่ากับ 1,000 รอบ และเวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 1 ชั่วโมง
- 7) ผลลัพธ์สุดท้าย (Final Solution) จะเป็นตำแหน่งที่ให้ฟังก์ชันต่ำสุด

2.2.3 วิธี HCA เป็นวิธีการค้นหาคำตอบที่เหมาะสมแบบฮิวริสติก การแก้ปัญหาจะมองผ่านมุมมองระดับท้องถิ่น (Local) [17] ขั้นตอนมีดังนี้

- 1) กำหนดสถานะเริ่มต้น (Initial Solution) เป็นการสร้างคำตอบเริ่มต้นโดยเรียงตามลำดับของลูกค้าที่ใช้บริการ
- 2) การสร้างสถานะใหม่ เป็นการสร้างคำตอบใหม่จากฟังก์ชันวัตถุประสงค์
- 3) การตรวจสอบสถานะ เป็นการเปรียบเทียบการเปลี่ยนแปลงเส้นทางแบบเดิมและใหม่ หากเส้นทางใหม่ดีกว่าก็นำมาแทนที่เป็นเส้นทางปัจจุบัน
- 4) ตรวจสอบสถานะเป้าหมาย ตามเงื่อนไขของคำตอบที่เป็นไปได้
- 5) ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2-4 จนได้คำตอบตรงตามวัตถุประสงค์หรือเงื่อนไขของการหยุดคำตอบ ซึ่งได้

ตั้งจำนวนรอบทำซ้ำเท่ากับ 1,000 รอบ และเวลาในการหาคำตอบไม่เกิน 1 ชั่วโมง

วิธีการทดลองสามารถสรุปดังภาพที่ 1



ภาพที่ 1 วิธีทำการทดลอง

จากภาพที่ 1 แสดงขั้นตอนและวิธีการสำหรับการทดลองในงานวิจัยนี้ โดยเริ่มต้นจะใส่ค่าต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับปัญหา VRP หลังจากนั้นจะแก้ปัญหาเปรียบเทียบการหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี คือ วิธี GA วิธี SA และวิธี HCA และทำการบันทึกผลที่ได้เป็นระยะทางและเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของแต่ละวิธี หากมีวิธีใดที่ไม่สามารถหาคำตอบได้ภายในเวลาที่กำหนดเช่น จำนวนรอบทำซ้ำ 1,000 รอบ หรือเวลาในการแก้ปัญหา 1 ชั่วโมง ก็จะทำให้การหยุดการหาคำตอบของวิธีนั้นๆ และบันทึกค่า “ไม่ปรากฏ” หรือ “N/A” (Not Available) ลงไป แต่หากสามารถหาคำตอบได้ก็จะขยายปัญหาให้ใหญ่ขึ้นโดยเพิ่มขนาดของจุดบริการ และข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับปัญหา VRP

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

3.1 ตัวอย่างผลการทดลอง

ตัวอย่างการทดลองในกรณีที่มีลูกค้า 9 ราย ซึ่งมีข้อมูลระยะทางและเวลาในการจัดส่ง ดังตารางที่ 1 และตารางที่ 2 ตามลำดับ รวมถึงปริมาณความต้องการของลูกค้าในแต่ละจุด ดังตารางที่ 3 ดังนี้

ตารางที่ 1 ระยะทางในการขนส่งจากบริษัทจัดจำหน่ายไปยังลูกค้า (หน่วย: กิโลเมตร)

เริ่มต้น	สิ้นสุด									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	17	9	17	6	9	12	12	16	11
2	17	0	19	9	9	11	9	19	13	12
3	5	9	0	10	8	9	13	15	6	7
4	15	6	8	0	15	8	8	17	5	5
5	8	17	10	17	0	8	5	5	14	6
6	17	5	8	18	8	0	14	10	5	5
7	12	16	20	7	9	17	0	14	16	20
8	16	6	19	8	18	11	7	0	12	5
9	12	7	16	15	12	9	11	17	0	19
10	7	12	5	8	17	19	11	19	20	0

ตารางที่ 2 ระยะเวลาในการขนส่งจากบริษัทจัดจำหน่ายไปยังลูกค้า (หน่วย: ชั่วโมง)

เริ่มต้น	สิ้นสุด									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
		34	18	34	12	18	24	24	32	22
2	0.	0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	34		38	18	18	22	18	38	26	24
3	0.	0.	0	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	1	18		2	16	18	26	3	12	14
4	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0.	0.	0.
	3	12	16		3	16	16	34	1	1
5	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0.	0.
	16	34	2	34		16	1	1	28	12
6	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.	0.
	34	1	16	36	16		28	2	1	1
7	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.	0.
	24	32	4	14	18	34		28	32	4
8	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.	0.
	32	12	38	16	36	22	14		24	1
9	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0	0.
	24	14	32	3	24	18	22	34		38
10	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0.	0
	14	24	1	16	34	38	22	38	4	

จากตารางที่ 1 กำหนดระยะทางไปกลับในแต่ละร้านไม่เท่ากัน ในตารางที่ 2 คำนวณเวลาในการเดินทางจากความเร็วของรถที่ 50 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และในตารางที่ 3 มีปริมาณความต้องการของลูกค้ารวมทั้ง 9 รายเท่ากับ 150 กิโลกรัม

ทำการเปรียบเทียบผลจากการจัดเส้นทางตามตัวอย่างโดยใช้วิธี GA, SA และ HCA ได้ผลดังตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาณความต้องการลูกค้าแต่ละจุด (หน่วย: กิโลกรัม)

ลูกค้า	ปริมาณความต้องการ		ลูกค้า	ปริมาณความต้องการ
1	บริษัท		6	10
2	15		7	30
3	25		8	10
4	15		9	10
5	20		10	15

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบระยะทางและเวลาการขนส่งแต่ละวิธี

วิธีการ	เส้นทาง	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)
GA	1-5-7-4-9-2-6-8-10-3-1	66	1.32
SA	1-3-2-4-9-6-8-7-5-10-1	80	1.6
HCA	1-3-4-9-2-7-5-8-6-10-1	77	1.54

จากผลการทดลองพบว่าวิธี GA ให้ระยะทางในการจัดส่งที่น้อยกว่าอีก 2 วิธี คือ HCA และ SA และค่าที่ได้จากวิธี GA ให้ค่าใกล้เคียงกับวิธีแม่นยำคือใช้ระยะทาง 62 กิโลเมตรภายใต้เส้นทาง 1-5-8-2-7-4-9-6-10-3-1 อย่างไรก็ตามผู้วิจัยได้เพิ่มขนาดของปัญหาให้ใหญ่ขึ้นเพื่อเปรียบเทียบความสามารถและขอบเขตในการหาคำตอบของแต่ละวิธี ซึ่งจะแสดงในหัวข้อ 3.2

3.2 เปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี

การเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของทั้ง 3 วิธี ในด้านระยะทางและเวลาที่ใช้ในการจัดส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละราย รวมถึงเวลาที่ใช้ในการหาคำตอบของแต่ละวิธี สามารถแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 5 ระยะทางรวมในการส่งสินค้าแต่ละจุด (หน่วย: กิโลเมตร)

วิธีการ	จำนวนลูกค้า							
	50	100	150	200	250	300	350	400
GA	312	674	1037	1398	N/A	N/A	N/A	N/A
SA	350	734	1199	1616	2020	2525	2966	3498
HCA	352	734	1154	2270	2504	2560	2970	N/A

ตารางที่ 6 เวลาในการส่งสินค้าแต่ละจุด (หน่วย: ชั่วโมง)

วิธีการ	จำนวนลูกค้า							
	50	100	150	200	250	300	350	400
GA	6.24	13.48	20.74	27.96	NA	NA	NA	NA
SA	7	14.68	23.98	32.32	40.4	50.5	59.32	69.96
HCA	7.04	14.68	23.08	45.4	50.08	51.2	59.4	NA

ตารางที่ 7 เวลาที่ใช้ในการหาคำตอบ (หน่วย: นาที)

วิธีการ	จำนวนลูกค้า							
	50	100	150	200	250	300	350	400
GA	10.14	20.25	30.14	59.25	NA	NA	NA	NA
SA	5	5.3	5.5	5.8	7.46	10.24	12.44	14.52
HCA	4.7	4.8	5.2	20.52	25.32	30.14	40.41	NA

3.3 อภิปรายผล

จากผลการทดลองเมื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพในการหาคำตอบของวิธีการทั้ง 3 วิธี พบว่า เมื่อขนาดของปัญหาใหญ่ขึ้นจนถึง 400 จุด วิธี SA ยังคงสามารถแก้ปัญหาได้ ในขณะที่วิธี HCA และวิธี GA ไม่สามารถแก้ปัญหาได้ โดยวิธี HCA แก้ปัญหาได้ที่ 350 จุด และวิธี GA แก้ปัญหาได้ที่ 200 จุด ซึ่งผลที่ได้จะสอดคล้อง [18] ที่วิธีการ SA มีประสิทธิภาพในการหาคำตอบได้ดี

4. สรุปผลการทดลอง

เมื่อพิจารณาจากขนาดของปัญหา พบว่าวิธี SA สามารถหาคำตอบในกรณีที่ปัญหามีขนาดใหญ่ได้ดีที่สุด รองลงมาคือวิธี HCA และ วิธี GA แต่อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบที่ระยะทางและเวลาที่ได้ในการขนส่งพบว่า วิธี GA ให้ระยะทางและเวลาในการขนส่งต่ำกว่าวิธี SA และวิธี HCA ในกรณีที่จำนวนลูกค้าน้อยกว่าหรือเท่ากับ 200 ราย ซึ่งมีความสอดคล้องกับเงื่อนไขของบริษัทกรณีศึกษาที่มีจำนวนลูกค้าน้อยกว่า 200 ราย ดังนั้น นักวิจัยจึงได้เลือกวิธี GA ไปใช้ในการพัฒนาโปรแกรมในขั้นถัดไป

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้เป็นโครงการวิจัยของคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศรีราชา รหัสโครงการวิจัย KUSRCPF68-001

6. เอกสารอ้างอิง

- [1] กองโลจิสติกส์, การคำนวณต้นทุนโลจิสติกส์ในภาคอุตสาหกรรม. 2021. เข้าถึงเมื่อ 4 มิถุนายน 2024. เข้าถึงจาก<https://dol.dip.go.th/th/category/2019-02-08-08-57-30/2021-08-26-17-33-32>
- [2] รวีโรจน์ ห่องทรัพย์, การจัดเส้นทางขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์กรณีศึกษาบริษัทขนส่งชิ้นส่วนรถยนต์ [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. ชลบุรี: บุรพา; 2564.
- [3] Juan David Cortes and Yoshinori Suzuki. Vehicle Routing with Shipment Consolidation. *International Journal of Production Economics* 227. 2020; 107622.
- [4] Chien-Ming Chen, Shi Lv, Jirsan Ning and Jimmy Ming-Tai Wu. A Genetic Algorithm for the Waitable Time-Varying Multi-Depot Green Vehicle Routing Problem. *Symmetry*. 2023. 15(1).
- [5] โรสนานี แวหะยี่. ขั้นตอนวิธีสำหรับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งแบบมีกรอบเวลาและการแบ่งสินค้า กรณีศึกษา: โรงงานผลิตเครื่องดื่มน้ำผลไม้ [วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต]. สงขลา: สงขลานครินทร์; 2557.
- [6] อาลาวี ลาเต๊ะ, เสกสรร สุธรรมานนท์, นิกร ศิริ วงศ์ไพศาล และ มุhammad เต๊ะยอ. ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีกรอบเวลาสำหรับใช้ในการวางแผนการให้บริการขนส่งสำหรับผู้สูงอายุ:กรณีศึกษาอำเภอหาดใหญ่ จังหวัดสงขลา. *วารสารมหาวิทยาลัยนราธิวาสราชนครินทร์*. 2562 ; 11(2):117-131.
- [7] Yaw Chang and Lin Chen. Solve the Vehicle Routing Problem with Time Windows via a Genetic Algorithm. *Discrete and Continuous Dynamical Systems Supplement*. 2007. 240-249.
- [8] จันทิมา ทิมเถื่อน และเบญญา เหลือศรีจันทร์. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งแบบพลวัตโดยใช้วิธีฮิวริสติก [ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. พิษณุโลก: นเรศวร; 2557.
- [9] ชลรยา ทายศ, กัลยรัตน์ เมื่อบศรี ,คณศ พันธุ์สวัสดิ์ และ กวินธร สัยเจริญ. การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมิน และการจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีปีนเขาบนไม่โครซอฟต์เอ็กเซลด้วยภาษาวีบีเอ. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*. 2023. 11(2): 32-40.
- [10] รูปนกุล หูเต็ม, กันตพงศ์ สมตน, วิชชา เหลืองสุวรรณ และ ประภัสสร ดันติพันธุ์วดี. การใช้อัลกอริทึมวิธีการเลียนแบบการอบอ่อนสำหรับออกแบบเส้นทางเดินรถขนส่งสินค้าเกษตร. *วารสารข่าวงานวิศวกรรมอุตสาหการไทย*. 2564. 7(1): 93-106.
- [11] จิราพร สกุลวรารักษ์. การประยุกต์ใช้ขั้นตอนวิธีการปีนเขาและขั้นตอนวิธีการจำลองการอบเหนียวสำหรับปัญหาพนักงานขาย ในคลังสินค้าบนโปรแกรมไมโครซอฟต์เอ็กเซล [วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. นครปฐม: ศิลปการ. 2562.
- [12] Amirali Zarrinmehr and Hanie Moloukzede. Application of a Hill-Climbing Algorithm to Public Transportation Routes Design in Grid Networks. *International Journal of Transportation Engineering*. 2021. 9(2): 597- 612.
- [13] คมกฤต เล็กสกุล. การหาค่าที่เหมาะสมและการประยุกต์. เชียงใหม่: ศูนย์บริหารงานวิจัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่; 2560.
- [14] Paolo Toth and Daniele Vigo. *The Vehicle Routing Problem*. Italy: University degli Studi di Bologna; 2002.
- [15] Van Laarhoven, P. J. M., & Aarts, E. H. L.. *Simulated Annealing: Theory and Applications*. Kluwer Academic Publishers. 1987.
- [16] Press, W. H., Teukolsky, S. A., Vetterling, W. T., & Flannery, B. P. *Numerical Recipes: The Art of Scientific Computing*. Cambridge University Press. 2007.
- [17] ชลรยา ทายศ, กัลยรัตน์ เมื่อบศรี, คณศ พันธุ์สวัสดิ์ และ กวินธร สัยเจริญ. การแบ่งกลุ่มลูกค้าด้วยค่าเฉลี่ยเคมิน การจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธีปีนเขาบนไม่โครซอฟต์เอ็กเซลด้วยภาษาวีบีเอ. *Thai Journal of Operations Research: TJOR*. 2023. 11(2): 32-40.
- [18] สุกัญญา โทนทอง และสุปราณี อุดมสุข. การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีการอบอ่อนจำลอง[วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต]. พิษณุโลก: นเรศวร. 2555.