บทความวิจัย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

ฮิวริสติกสองเฟสสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของรถบรรทุกสินค้าที่มีข้อจำกัดความจุ

กนกพร บุญจูบุตร จิรวัฒน์ โลพันดุง และ ปรัชญ์ บุญแซม*

สาขาวิชาการจัดการงานวิศวกรรม, คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม, มหาวิทยาลัยราชภัฏนครราชสีมา
* ผู้ประสานงานเผยแพร่ (Corresponding Author), E-mail: prat.b@nrru.ac.th

วันที่รับบทความ: 4 เมษายน 2024; วันที่ทบทวนบทความ: 4 พฤศจิกายน 2567; วันที่ตอบรับบทความ: 26 พฤศจิกายน 2567
วันที่เผยแพร่ออนไลน์: 21 ธันวาคม 2567

บทคัดย่อ: การขนส่งสินค้ามีบทบาทสำคัญต่อการดำเนินธุรกิจอย่างมาก ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (VRP) ถือเป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจเพื่อนำมาแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งที่ทำให้ได้ระยะทางสั้นที่สุด งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีฮิวริสติก (Heuristic) สำหรับแก้ปัญหาการจัดการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ (CVRP) โดยประยุกต์ใช้การจัดเส้นทางด้วยวิธีจัดกลุ่มก่อนและจัดเส้นทางทีหลัง (CFRS) จากโจทย์ปัญหา (Instance) โดยมีขั้นตอนการหาผลลัพธ์ 2 เฟส โดยเฟสแรกคือ การจัดกลุ่ม (Clustering) จำนวน n กลุ่มย่อย เท่ากับจำนวนรถขนส่งที่ต้องใช้ขนส่ง ซึ่งแบ่งเป็น 3 วิธีได้แก่ 1) การจัดกลุ่มย่อยโดยใช้จุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่มย่อย (Seed Point) จากระยะทางที่ไกลสุดจากจุดกระจายสินค้า 2) การจัดกลุ่มย่อยโดยใช้จุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่มย่อยจากระยะทางที่ใกล้สุดจากจุดกระจายสินค้า และ 3) การจัดกลุ่มย่อยโดยใช้จุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่มย่อยจากจุดที่มีความต้องการสินค้ามากที่สุด ส่วนเฟสสองคือการหาลำดับการเดินรถโดยใช้วิธีในการหาผลลัพธ์ด้วยปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) งานวิจัยนี้ทำการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีจัดกลุ่มก่อนและจัดเส้นทางทีหลังที่มีการดำเนินการเฟสแรกที่แตกต่างกันทั้งหมด 3 วิธี พบว่าการจัดเส้นทางการขนส่งที่มีข้อจำกัดความจุด้วยวิธีจัดกลุ่มก่อนและจัดเส้นทางทีหลัง โดยการใช้วิธีจัดกลุ่มจากจุดที่มีความต้องการสินค้ามากที่สุดในการจัดกลุ่มย่อยแต่ละกลุ่มย่อยแล้วจัดลำดับเส้นทางในการวิ่งรถทุกสินค้าด้วยวิธี TSP ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าวิธีการจัดกลุ่มแบบอื่น คิดเป็นร้อยละ 60 จากโจทย์ที่ทดสอบทั้งหมด

คำสำคัญ: การจัดเส้นทางการขนส่ง; ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย; ฮิวริสติก; จัดกลุ่มก่อนจัดเส้นทางทีหลัง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

บทความวิจัย

Two-Phase Heuristic Approach for Solving Capacitated Vehicle Routing Problem

Kanokporn Boonjubut, Jirawat Lopandung and Prat Boonsam*

Department of Engineering Management, Faculty of Industrial Technology,
Nakhon Ratchasima Rajabhat University

* Corresponding author, E-mail: prat.b@nrru.ac.th

Received: 4 April 2024; Revised: 4 November 2024; Accepted: 26 November 2024
Online Published: 21 December 2024

Abstract: The transportation of goods is essential to the operation of a business. The problem of planning transportation routes that accomplish the shortest distance is receiving attention, and the vehicle routing problem (VRP) is one of these subjects. This research presents a heuristic approach to using routing techniques to solve the capacitated vehicle routing problem (CVRP). Through applying routing techniques, two phases are involved in solving the instance, namely the cluster-first route-second (CFRS). The initial phase involves clustering n sub-groups according to the number of transport vehicles required. There are three methods for conducting this: 1) clustering based on the distance farthest from the depot to the center (seed point) of each sub-group, 2) seed point from the point of distribution nearest to the depot, and 3) seed point from the maximum demand. The second phase involves applying the travelling salesman problem (TSP) approach to find the route sequence. The results of the CVRP using the CFRS with the three different methods for the initial phase and the second phase, the routing for all goods using the TSP, are presented. Clustering using the seed point with the highest demand for each sub-group yielded better results than the other clustering methods, accounting for 60% of all benchmark instances.

Keywords: Vehicle routing problem; Travelling salesman problem; Heuristic; Cluster-first route-second

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

1. บทนำ

การจัดเส้นทางการขนส่งถือเป็นตัวแปรสำคัญในธุรกิจอย่างหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับต้นทุนการขนส่งขององค์กร จากความผันผวนของราคาค่าเชื้อเพลิงหรือน้ำมันที่มีอัตราสูงขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งหากระยะทางในการขนส่งมากจะส่งผลให้ต้นทุนค่าเชื้อเพลิงเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ถ้าหากสามารถลดระยะทางในการขนส่งลงได้ ทำให้สามารถลดต้นทุนค่าขนส่งได้ด้วย หากองค์กรมีการวางแผนและการจัดการอย่างมีประสิทธิภาพจะส่งผลทำให้สามารถลดต้นทุนการดำเนินงานที่เกิดขึ้นในส่วนของต้นทุนค่าขนส่งได้ ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า หรือปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ถูกอธิบายว่าคือปัญหาการกำหนดเส้นทางการเดินรถที่เหมาะสมในด้านค่าใช้จ่าย หรือในด้านระยะทางรวมสั้นสุด หรือเวลารวมในการเดินทางน้อยสุด โดยในปัจจุบันปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ยังคงได้รับการสนใจในการทำวิจัยวิจัยเป็นอย่างมากและบทความที่เกี่ยวข้องกับปัญหาดังกล่าวยังถูกตีพิมพ์เผยแพร่อย่างต่อเนื่อง

ปัญหา VRP [1] ถูกพัฒนามาจากปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) คือ การหาเส้นทางที่มีระยะทางรวมในการเดินทางสั้นที่สุดให้บริการลูกค้าได้ทั้งหมด ตามที่ได้กำหนดไว้ และกลับมายังจุดเริ่มต้น โดยปัญหานี้ไม่มีข้อจำกัดประเด็นของความสามารถความจุของพาหนะ VRP คือปัญหาที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ ซึ่งเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นแล้วเดินทางไปยังจุดหมายปลายทางหรือลูกค้าวันละครั้ง แต่ความเป็นจริงในทางปฏิบัติอาจต้องเข้าพบลูกค้ามากกว่าหนึ่งครั้งโดยลูกค้าอาจได้รับสินค้าชนิดอื่นในเวลาถัดไป เนื่องจากข้อจำกัด ด้านปริมาณในการขนส่ง ปัญหาการกำหนดเส้นทางหรือ VRP สามารถทำการแก้ไขปัญหาดังกล่าวได้ หลายวิธี [2] เช่น วิธีแบบแม่นตรง (Exact Algorithm) หรือแบบฮิวริสติก (Heuristic) หรือ เมตะฮิว-ริสติก (Metaheuristic) ในการแก้ปัญหา VRP วิธีแบบแม่นตรง จะให้ได้ผลลัพธ์ดีสุด (Optimal Solution) แต่มีข้อเสียด้านเวลาในการประมวลผลนาน เมื่อปัญหามีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถหาผลลัพธ์ได้ ด้วยเหตุนี้ส่วนใหญ่จึงนิยมหาผลลัพธ์ด้วยการใช้วิธีฮิวริสติกหรือเมตะฮิวริสติก [3]

Russell and Gribbin [4] เสนอวิธีแก้ปัญหา VRP แบบฮิวริสติกสามแบบ วิธีแรกคืออัลกอริทึมการจัดกลุ่ม อัลกอริทึมที่สองในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่พัฒนาจากอัลกอริทึมแรกและปรับปรุงตามลำดับของการสลับเส้นทาง อัลกอริทึมที่สามสำหรับการแก้ปัญหาคืออัลกอริทึมการประหยัด Clarke and Wright [5] ซึ่งลูกค้าจะได้รับการจัดสรรตามข้อจำกัด ของระยะห่างในการจัดส่ง และเส้นทางถูกสร้างขึ้นโดยใช้อัลกอริทึมการประหยัด (Saving Algorithm) Bowerman *et. al.* [6] ได้แบ่งวิธีการแก้ปัญหา VRP ด้วยฮิวริสติก ทั้งหมด 5 วิธี ประกอบด้วย 1) วิธีจัดกลุ่มก่อนและจัดเส้นทางทีหลัง (Cluster-First and Route-Second: CFRS) 2) วิธีจัดเส้นทางก่อนจัดกลุ่มทีหลัง (Route-First Cluster-Second: RFCS) 3) ฮิวริสติกแบบประหยัด (Savings/insertion) 4) ฮิวริสติกแบบพัฒนา (Improvement/exchange) และ 5) ฮิวริสติกแบบอย่างง่าย (Mathematical Programming) โดย

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

CFRS เป็นแนวทางฮิวริสติกที่มีประสิทธิภาพและใช้กันมากที่สุด [7] ในการแก้ปัญหาการจัดการขนส่งที่มีข้อจำกัดด้านความจุของยานพาหนะ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) ซึ่งมีการศึกษา CFRS โดย Gillett and Miller [8] และ Fisher and Jaikumar [9] กล่าวไว้ว่า CFRS ยังคงใช้อย่างต่อเนื่อง เพราะวิธีนี้เป็นวิธีที่ง่าย และไม่ซับซ้อน โดยวิธี CFRS คือวิธีการดำเนินการแบ่งกลุ่มลูกค้าเป็นกลุ่มย่อยก่อน แล้วหาเส้นทางด้วยระยะทางรวมสั้นที่สุดแต่ละกลุ่ม ซึ่งจะช่วยให้ลดความซับซ้อนของการหาผลลัพธ์โดยการแก้ปัญหาแต่ละกลุ่มที่มีขนาดเล็ก ตัวอย่างเช่น ในงานวิจัยของ Garside and Laili [10], Dondo and Cerdá [11], Shin and Han [12] พบว่า CFRS ให้ผลลัพธ์ (Solution) ที่มีคุณภาพดีกว่าการจัดเส้นทางก่อนและจัดกลุ่มทีหลัง (RFCS) แม้ใช้การคำนวณที่ซับซ้อนกว่า อีกทั้งยังพบงานของ Comert *et al.* [13] นำ CFRS ไปใช้ในการแก้ปัญหากรณีศึกษาในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยเปรียบเทียบการจัดกลุ่มแบบต่าง ๆ ด้วยการนำฮิวริสติกมาประยุกต์ใช้ ที่ให้ผลลัพธ์ที่มีประสิทธิภาพ โดยมีข้อดีในด้านการประมวลผลเร็ว และยังพบว่าขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งของศูนย์กลางการจัดกลุ่ม (Seed) ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการหาผลลัพธ์ [14]

จากปัญหาและการศึกษางานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งเพื่อลดต้นทุนในกระบวนการขนส่ง ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการประยุกต์ใช้วิธีฮิวริสติกที่ถือว่าเป็นวิธีหาผลลัพธ์ในการแก้ปัญหาจริงที่ได้รับการยอมรับอย่างกว้างขวาง เนื่องจากมีข้อดีคือเวลาการประมวลผลเร็ว อีกทั้งยังสามารถให้ผลลัพธ์ที่ใกล้เคียงกับค่าที่ดีที่สุดจากวิธีแม่นตรง โดยจากการวิจัยพบว่าวิธี CFRS เป็นวิธีที่มีคุณภาพอีกหนึ่งวิธี แต่ในส่วนของขั้นตอนการกำหนดตำแหน่งของศูนย์กลางการจัดกลุ่มนั้น ส่งผลต่อประสิทธิภาพของการหาผลลัพธ์ แม้นว่ามีนักวิจัยหลายท่านได้นำเสนอวิธีการต่าง ๆ ในการหาผลลัพธ์ดังกล่าว ซึ่งแต่ละวิธีให้คำตอบที่เหมาะสม รวมทั้งใช้งานได้ดี แต่เนื่องจากเป็นวิธีที่ยากและซับซ้อน ดังนั้นผู้วิจัยจึงทำการนำเสนอวิธี CFRS ด้วยวิธีที่ง่าย โดยนำเสนอวิธีในการจัดกลุ่มรูปแบบต่าง ๆ ที่ประกอบด้วย 1) ระยะทางที่ไกลสุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Farthest from Depot) 2) ระยะทางที่ใกล้สุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Nearest to Depot) และ 3) จุดที่มีความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดศูนย์กลางในการกำหนดการแบ่งกลุ่ม (Clustering) เพื่อเปรียบเทียบประสิทธิภาพการจัดเส้นทางด้วยระยะทางรวมสั้นที่สุด เพื่อสามารถเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้านขนส่งสินค้าที่ไม่เกินปริมาณความจุของรถบรรทุกสินค้า และการกระจายสินค้าไปยังลูกค้าโดยลดต้นทุนค่าใช้จ่ายในการขนส่งได้

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 การจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ หรือ VRP คือ ปัญหาที่ผู้ขนส่งทำการออกแบบการขนส่งให้แก่ลูกค้าในด้านการใช้ยานพาหนะหรือรถบรรทุกในการขนส่งและลำดับการขนส่ง เพื่อให้เกิดต้นทุนในการขนส่งที่ต่ำที่สุดภายใต้ข้อจำกัดบางประการ มีการ

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

นำมาใช้แก้ปัญหาที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางสำหรับการขนส่งในหลาย ๆ รูปแบบ เช่น ปัญหา VRP ที่มีการพิจารณาความจุของรถบรรทุก (CVRP) ซึ่งในกรณีนี้รถบรรทุกไม่สามารถบรรทุกสินค้าไปส่งลูกค้าทุกจุดในคราวเดียว ในการขนส่งแต่ละรอบ จึงจำเป็นต้องพิจารณาความสามารถของความจุของรถบรรทุก หากเกินความจุให้เพิ่มรอบหรือเพิ่มจำนวนรถบรรทุก แสดงดังรูปที่ 1

VRP สามารถแสดงได้โดยกราฟ $G=(V,A)$ ซึ่ง v แทนเซตของลูกค้าทั้งหมด $V=\{1,2,...,N\}$ โดยที่ A แทนเซตของเส้นเชื่อมระหว่างจุดลูกค้าทั้งหมด ซึ่งเป็นกลุ่มลูกค้าเท่ากับ $\{1,2,...,N\}$ และ $A=\{(V_i,V_j);1\le i,j\le N\}$ ที่ถูกกำหนดให้ v_0 คือ คลังสินค้า และ ลูกค้า $v_i=V$ โดยมักจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของปัญหาการจัดเส้นทางการเดินรถ ดังสมการและอสมการที่ (1)-(8) ต่อไปนี้

ค่าพารามิเตอร์:

d_{ij} = ระยะทางจากจุด i ไป j

c_k = ความสามารถของความจุของรถบรรทุกแต่ละคัน k

q_i = ความต้องการสินค้าของลูกค้าลำดับที่ i

Q = ความต้องการสินค้าของลูกค้าทั้งหมด

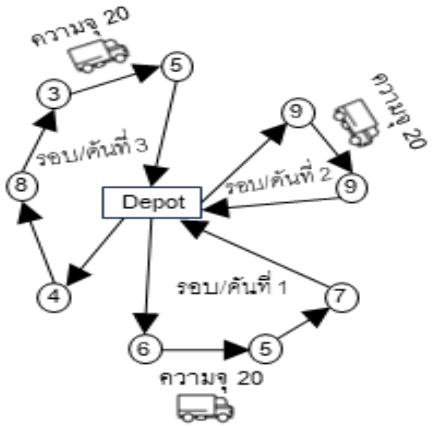
C_{ij} = ระยะทางระหว่างลูกค้าหรือคลังสินค้าจุด i ไป j

ดัชนีและเซต:

i , j = ใช้แทนลำดับของลูกค้าที่ i , j =1,2,...,n โดยที่ i,j = 0 แทนจุดคลังสินค้า

k = รถบรรทุกในการขนส่งสินค้าที่ k

n = จำนวนลูกค้าทั้งหมด



รูปที่ 1 ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีการพิจารณาความจุของรถบรรทุก (CVRP)

N = เซตของลูกค้าทั้งหมด

K = เซตของรถบรรทุกทั้งหมด

ตัวแปร:

x_{ijk} = 1 ถ้ารถบรรทุกเดินทางจากจุด i ไป j ,
0 คือ กรณีอื่นๆ (Binary)

สมการวัตถุประสงค์:

$$Min\,Z=\sum_{k=1}^{k}\sum_{i=1}^{n}\sum_{j=1}^{n}d_{ij}x_{ijk} \quad (1)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{k=1}^{k}\sum_{n=0}^{n}x_{ijk}=1 \qquad \forall j\in N \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^{k}\sum_{j=0}^{n}x_{ijk}=1 \qquad \forall i\in N \quad (3)$$

$$\sum_{i=0}^{n}x_{ijk}-\sum_{j=0}^{n}x_{jik}=0 \quad \forall k\in K \quad (4)$$

$$\sum_{i=0}^{n}\sum_{j=0}^{n}q_i x_{ijk}\le Q \qquad \forall k\in K \quad (5)$$

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

$$\sum_{j=0}^{n} x_{0jk} \leq 1 \qquad \forall k \in K \qquad (6)$$

$$\sum_{i=1}^{n} x_{i0k} \leq 1 \qquad \forall k \in K \qquad (7)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in N, \forall k \in K \qquad (8)$$

สมการที่ (1) คือ สมการวัตถุประสงค์เพื่อหาระยะทางรวมในการขนส่งสั้นที่สุด สมการที่ (2) ถึง (8) เป็นข้อจำกัด โดยสมการที่ (2) และ (3) กำหนดให้ลูกค้าแต่ละจุดสามารถรับการบริการจากรถบรรทุกได้เพียงหนึ่งคันหรือหนึ่งเส้นทางเท่านั้น สมการที่ (4) แสดงความต่อเนื่องของตำแหน่งที่เชื่อมกันอยู่ในแต่ละเส้นทางเมื่อรถบรรทุกเข้ามายังจุดใด ๆ และออกจากจุดนั้น ๆ อสมการที่ (5) แสดงข้อจำกัดทางด้านความจุของรถบรรทุก อสมการที่ (6) และ (7) ยืนยันว่ามีจำนวนรถบรรทุกใช้ได้เท่าที่กำหนด และอสมการที่ (8) เป็นการกำหนดตัวแปรการตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) ที่มีค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

2.2 ฮิวริสติกแบบสองเฟส (Two-Phase heuristic)

ฮิวริสติกแบบสองเฟสในงานวิจัยนี้คือ วิธีแบ่งกลุ่มก่อนจัดเส้นทางทีหลัง (Cluster-First Route-Second Method) เป็นวิธีที่ทำการสร้างกลุ่มลูกค้าก่อน แล้วจึงทำการกำหนดเส้นทางเดินรถโดยให้ส่งสินค้าครบทุกจุดของกลุ่มที่ได้จากการสร้างกลุ่มในขั้นตอนแรก การหาผลลัพธ์แบ่งออกเป็น 2 เฟส โดยเฟสแรกจะทำการแบ่งกลุ่มลูกค้าในการส่งสินค้าก่อน หลังจากนั้นเฟสที่สองทำการค้นหาผลลัพธ์เส้นทางการเดินรถเพื่อส่งสินค้าทั้งหมดภายในกลุ่มเพื่อให้ได้ระยะทางรวมสั้นที่สุด มีรายละเอียดดังนี้

2.2.1 เฟสที่ 1: การแบ่งกลุ่มลูกค้า (Clustering) เริ่มจากการเตรียมข้อมูลโดยการสร้างตารางระยะทางระหว่างจุด (Origin-Destination Matrix) ของทุกจุดมาจากพิกัด x,y ด้วยระยะทางแบบยูคลิเดียน (Euclidean) ดังสมการที่ (9) จากโจทย์แต่ละโจทย์ จากเว็บไซต์ของ CVRPLIB [15] มาทำการแบ่งกลุ่ม k กลุ่ม มากำหนดในการแบ่งกลุ่มตามข้อกำหนดข้อจำกัดจำนวนรถบรรทุกในโจทย์ดังกล่าวเป็นจำนวนกลุ่ม และทำการแบ่งกลุ่มดังรูปที่ 2 โดยทำการควบคุมจำนวนสมาชิกในกลุ่มด้วยความสามารถของความจุของรถบรรทุก โดยนำหลักการแก้ปัญหา CVRP ดังสมการและอสมการที่ (1) - (8) ด้วยวัตถุประสงค์ระยะทางรวมสั้นที่สุด

$$d_{Euclidean}(x,y) = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2} \qquad (9)$$

ขั้นตอนแรก ทำการแบ่งกลุ่ม (Clustering) โดยกำหนดจุดตั้งต้น หรือที่เรียกอีกอย่างว่าจุดศูนย์กลางแต่ละกลุ่มย่อย (Seed Point) ซึ่งมีเกณฑ์ในการเลือกจุด Seed Point จากการเลือกด้วยวิธีการที่แตกต่างกัน 3 วิธี ดังนี้

1) ระยะทางที่ไกลสุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Farthest from Depot)

2) ระยะทางที่ใกล้สุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Nearest to Depot)

3) จุดที่มีความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดศูนย์กลาง

ขั้นตอนที่สอง เมื่อได้จุดตั้งต้นรับส่งสินค้า จากนั้นเลือกจุดรับส่งสินค้าจุดถัดไป โดยเลือกจุดที่มีระยะห่าง

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

กันสั้นที่สุด และตรวจสอบความสามารถของความจุรถบรรทุกว่าเป็นไปตามเงื่อนไขหรือไม่

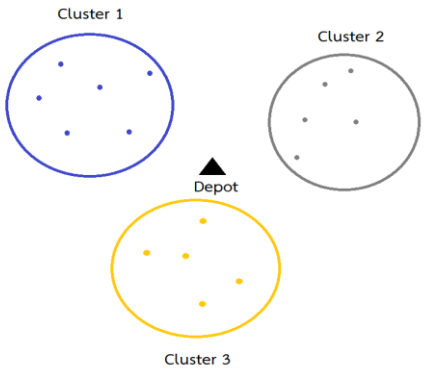
ขั้นตอนที่สาม รวมจุดรับส่งสินค้าจากขั้นตอนที่สองเข้าเป็นเส้นทางเดียวกัน และลบจุดที่ไปรับส่งสินค้าแล้วออก

ขั้นตอนที่สี่ ทำซ้ำขั้นตอนที่สอง โดยเลือกจุดรวบรวมสินค้าที่มีระยะทางสั้นที่สุดและตรวจสอบความสามารถของความจุรถบรรทุก ถ้าเกิดความสามารถให้เพิ่มรถบรรทุกแล้วทำซ้ำในขั้นตอนที่หนึ่ง

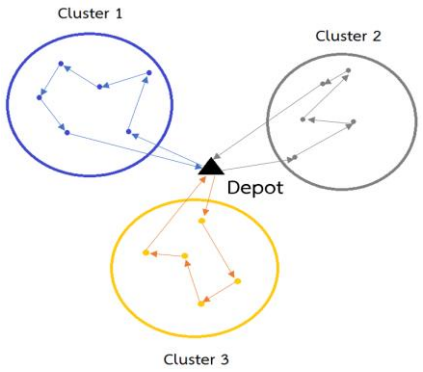
ขั้นตอนที่ 5 หยุดการคำนวณหากลุ่มเมื่อพบว่าทุกจุดที่ต้องรับส่งสินค้าถูกพิจารณาครบแล้ว

2.2.2 เฟสที่ 2: การจัดเส้นทางเดินรถรับส่งสินค้า (Routing)

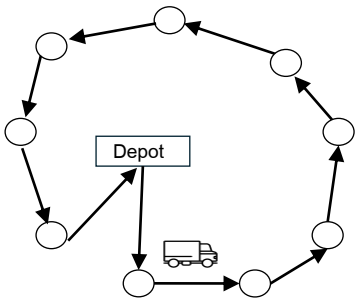
จากขั้นตอนการแบ่งกลุ่ม เมื่อได้กลุ่มจุดรับส่งสินค้าให้กับยานพาหนะหรือรถขนส่งแล้ว จากนั้นทำการค้นหาลำดับการเดินทางของแต่ละเส้นทางเพื่อจัดเส้นทางการเดินรถ (ดังรูปที่ 3) จากผลลัพธ์ที่ได้จากขั้นตอนแรกด้วยการแก้ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) ซึ่งปัญหา TSP คือตัวแบบที่ใช้กำหนดการเดินทางของพนักงานขาย เพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุดที่สามารถบริการลูกค้าทั้งหมด เริ่มต้นเดินทางจากจุดเริ่มต้นผ่านทุก ๆ จุดที่กำหนดไว้ และกลับมายังจุดเริ่มต้น มีเงื่อนไขในการเดินทางไปยังลูกค้าแต่ละจุดนั้น สามารถเดินทางผ่านได้เพียงครั้งเดียว และไม่สามารถย้อนกลับไปยังจุดนั้นได้อีก โดยปัญหานี้ไม่มีข้อจำกัดความจุของรถเข้ามาเกี่ยวข้อง (แสดงดังรูปที่ 4) ตัวแบบคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา TSP แสดงดังสมการและอสมการที่ (10) - (14)



รูปที่ 2 การแบ่งกลุ่ม (Clustering)



รูปที่ 3 การจัดเส้นทางการเดินรถรับส่งสินค้า



รูปที่ 4 ปัญหาการกำหนดการเดินทางของพนักงานขาย (TSP)

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

ค่าพารามิเตอร์ (Parameter):

C_{ij} = ระยะทางในการเดินทางจากลูกค้า i ไปลูกค้า j

ค่าดัชนีและเซต (Indices):

m = จำนวนลูกค้า

T = จำนวนลูกค้าที่อยู่ในเส้นทาง

W = จำนวนลูกค้าทั้งหมด

M = เซตของลูกค้าทั้งหมด

i, j = ลูกค้ารายที่ i หรือ j โดยที่ $i, j = 0,1,2,...,m$

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables):

$Xij = 1$, (ถ้ามีการเดินทางจาก i ไป j)

0, (กรณีอื่นๆ)

สมการวัตถุประสงค์

$$Min Z = \sum_{i}^{m}\sum_{j}^{m} C_{ij} X_{ij} \quad (10)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{j}^{m} X_{ij} = 1 \qquad \forall i \in M \quad (11)$$

$$\sum_{i}^{m} X_{ij} = 1 \qquad \forall j \in M \quad (12)$$

$$\sum_{i,j\in T}^{m} X_{ij} \le |T| - 1 \qquad T \subset W \quad (13)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \qquad \forall i, j \in M \quad (14)$$

สมการที่ (10) คือ สมการวัตถุประสงค์ที่ต้องการหาเส้นทางรวมสั้นที่สุดจากการเดินทาง สมการที่ (11) และ (12) กำหนดให้ลูกค้าจะต้องถูกผ่านเข้าหนึ่งเส้นทางเข้าและเส้นทางออกหนึ่งเส้น อสมการที่ (13) คือ สมการป้องกันการเกิดเส้นทางรถบรรทุกขนส่งย่อย (Subtour Elimination) และอสมการที่ (14) เป็นการกำหนดตัวแปรการตัดสินใจแบบไบนารี (Binary) ให้เป็นค่าเท่ากับ 0 หรือ 1 เท่านั้น

ในงานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการหาระยะทางรวมในการขนส่งสั้นที่สุด เนื่องจากการลดระยะทางในการเดินทางจะทำให้ต้นทุนลดลงตามไปด้วยเพราะระยะทางเป็นต้นทุนแปรผัน (Variable Cost) ที่เกิดขึ้นในการขนส่ง ได้แก่ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าบำรุงรักษารถบรรทุกตามระยะ เป็นต้น โดยกรณีศึกษาในงานวิจัยนี้คือโจทย์ปัญหามาตรฐานปัญหา VRP จากเว็บไซต์ CVRPLIB ที่มีการใช้อย่างแพร่หลาย รวมถึงมีผลเฉลยที่เป็น Best Known Solution (BKS) สำหรับการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของการหาผลลัพธ์

3. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ทำการทดสอบกับโจทย์ปัญหามาตรฐานจากเว็บไซต์ CVRPLIB และนำผลลัพธ์ที่ได้ไปเปรียบเทียบกับผล BKS ซึ่งสามารถคำนวณได้ดังสมการที่ 15 โดยความหมายของค่าผลลัพธ์ที่เป็นบวกหมายถึงผล BKS มีค่าต่ำกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ และค่าผลลัพธ์ที่เป็นลบจะหมายถึง ผล BKS มีค่าผลลัพธ์สูงกว่าวิธีที่นำมาเปรียบเทียบ

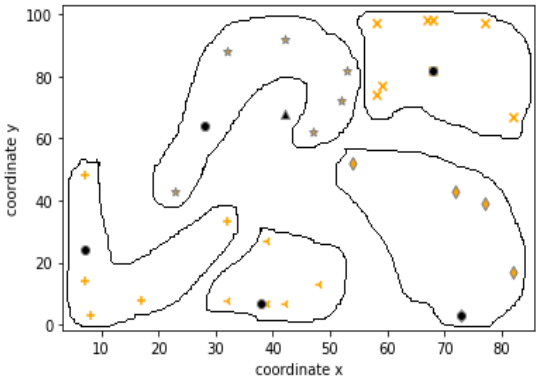
$$\%Gap_{BKS} = \frac{The\ considered\ solution - The\ best\ known\ solution}{The\ best\ known\ solution} x100 \quad (15)$$

โดยทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางจากโจทย์มาตรฐานจากเวบไซต์ CVRPLIB แบ่งออกเป็นเซต A, B และ P เซต E เซต F ด้วยวิธี CFRS ที่มีการแบ่งกลุ่ม (Clustering) แตกต่างกันทั้งหมด 3 วิธี ประกอบด้วย การกำหนดด้วยจุดที่มีความต้องการ

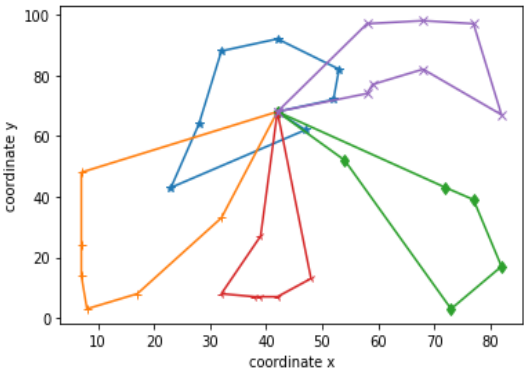
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

มากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดตั้งต้นหรือจุดศูนย์กลาง เปรียบเทียบกับการกำหนดจุดตั้งต้นหรือจุดศูนย์กลาง จากระยะทางที่ไกลสุดจากจุดกระจายสินค้าที่สุด (Farthest from Depot) และการกำหนดจุดตั้งต้นหรือจุดศูนย์กลางจากระยะทางที่ใกล้สุดจากจุดกระจายสินค้าที่สุด (Nearest to Depot)

ในตารางที่ 1 และรูปที่ 11 จากผลลัพธ์การเปรียบเทียบวิธีที่นำเสนอทั้งหมด 3 วิธี พบว่า วิธีการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีการจัดกลุ่มด้วยจุดศูนย์กลางจากความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นวิธีที่ให้ผลลัพธ์ในการจัดเส้นทางที่มีระยะทางรวมสั้นที่สุด 15 โจทย์ จากโจทย์ทั้งหมด 25 หรือคิดเป็นร้อยละ 60 ของโจทย์ที่ทดสอบทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า $\%Gap_{BKS}$ เท่ากับร้อยละ 15.64 ค่า S.D. เท่ากับ 7.26 ลำดับถัดมาวิธีการจัดกลุ่มด้วยจุดศูนย์กลางจากระยะทางใกล้กับศูนย์กระจายสินค้าที่สุด (Nearest to Depot) โดยมีผลลัพธ์ระยะทางรวมสั้นสุด 9 โจทย์ จากโจทย์ทั้งหมด 25 โจทย์ หรือคิดเป็นร้อยละ 36 ของโจทย์ที่ทดสอบทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า $\%Gap_{BKS}$ เท่ากับร้อยละ 20.35 ค่า S.D. เท่ากับ 12.50 และลำดับสุดท้ายคือ วิธีการจัดกลุ่มด้วยจุดศูนย์กลางจากระยะทางไกลจากศูนย์กระจายสินค้าที่สุด (Farthest from Depot) โดยมีผลลัพธ์ระยะทางรวมสั้นสุด 1 โจทย์ จากโจทย์ทั้งหมด 25 โจทย์ หรือคิดเป็นร้อยละ 4 ของโจทย์ที่ทดสอบทั้งหมด โดยมีค่าเฉลี่ยของค่า $\%Gap_{BKS}$ เท่ากับร้อยละ 35.37 ค่า S.D. เท่ากับ 20.84 โดยแสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มและจัดเส้นทางของโจทย์ A-n33-k5 ดังรูปที่ 5-10 (เมื่อ ▲คือศูนย์กระจายสินค้า ● คือ Seed point และ +, ★, ♦, x และ ≺ คือจุดลูกค้าแต่ละกลุ่ม จากการ Cluster) ซึ่งผลลัพธ์วิธีการจัดกลุ่มด้วยจุดศูนย์กลางจากความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) ให้ผลลัพธ์ของโจทย์ A-n33-k5 ที่มีระยะทางรวมสั้นสุด โดยแสดงผลลัพธ์การจัดกลุ่มแสดงดังรูปที่ 5 และผลลัพธ์การจัดเส้นทางแสดงดังรูปที่ 6 โดยผลลัพธ์มีระยะทางรวมเท่ากับ 718.18 หน่วย

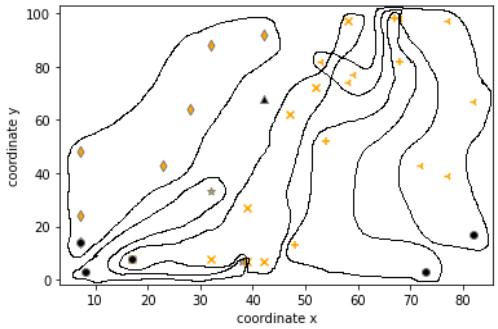


รูปที่ 5 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มด้วย Maximum Demand โจทย์ A-n33-k5

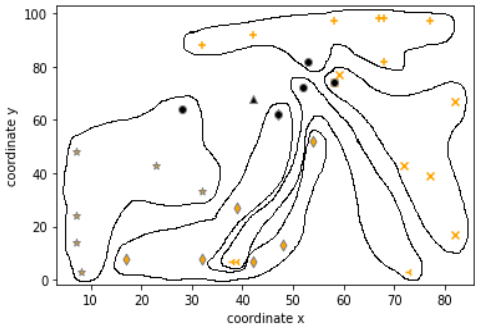


รูปที่ 6 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางจาก Maximum Demand โจทย์ A-n33-k5

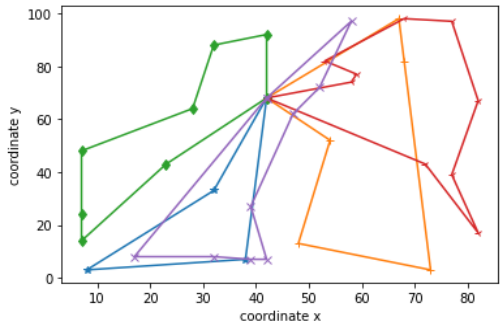
วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013



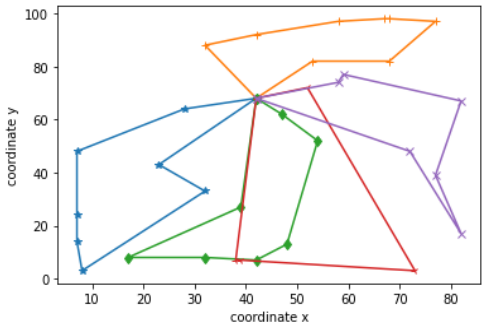
รูปที่ 7 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มด้วย Farthest from Depot โจทย์ A-n33-k5



รูปที่ 9 ผลลัพธ์การจัดกลุ่มด้วย Nearest from Depot โจทย์ A-n33-k5



รูปที่ 8 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางจาก Farthest from Depot โจทย์ A-n33-k5



รูปที่ 10 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางจาก Nearest from Depot โจทย์ A-n33-k5

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของวิธี CFRS แต่ละวิธีกับโจทย์ปัญหามาตรฐานจากเว็บไซต์ CVRPLIB

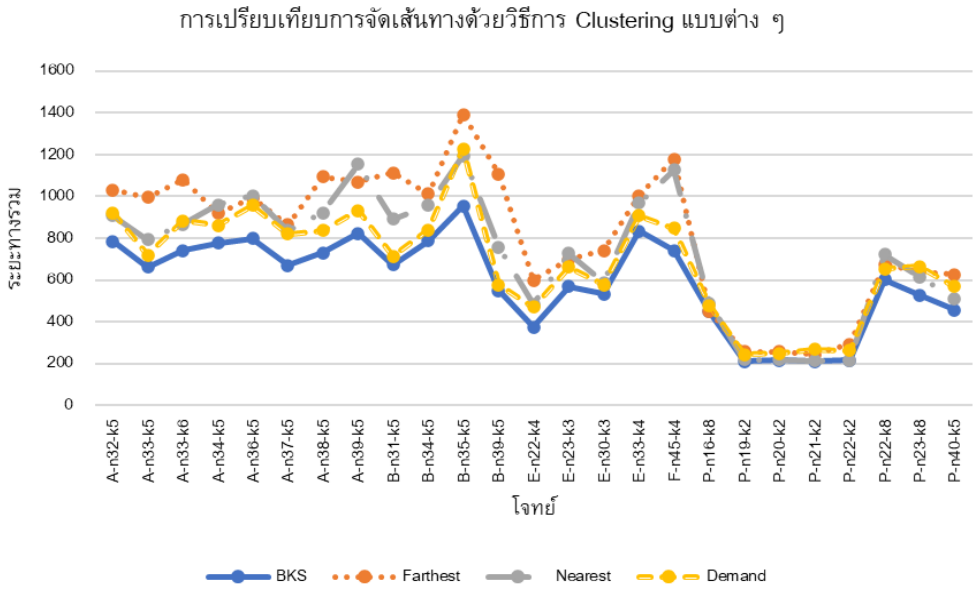
ชุดข้อมูล	BKS	Farthest	Nearest	Demand	$\%Gap_{BKS}$			ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
					Farthest	Nearest	Demand	
A-n32-k5	784	1030.99	908.0183	921.36	31.50	**15.82**	17.52	Nearest
A-n33-k5	661	994.45	794.27	718.18	50.45	20.16	**8.65**	Demand
A-n33-k6	742	1079.99	867.64	883.24	45.55	**16.93**	19.04	Nearest
A-n34-k5	778	918.58	960.40	860.38	18.07	23.44	**10.59**	Demand

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

ตารางที่ 1 ประสิทธิภาพของวิธี CFRS แต่ละวิธีกับโจทย์ปัญหามาตรฐานจากเว็บไซต์ CVRPLIB (ต่อ)

ชุดข้อมูล	BKS	Farthest	Nearest	Demand	$\%Gap_{BKS}$			ผลลัพธ์ที่ดีที่สุด
					Farthest	Nearest	Demand	
A-n36-k5	799	993.63	1003.64	958.12	24.36	25.61	**19.91**	Demand
A-n37-k5	669	864.126	836.95	821.56	29.17	25.10	**22.80**	Demand
A-n38-k5	730	1093.46	921.83	836.58	49.79	26.28	**14.60**	Demand
A-n39-k5	822	1070.31	1153.37	933.34	30.21	40.31	**13.55**	Demand
B-n31-k5	672	1112.90	890.61	714.21	65.61	32.53	**6.28**	Demand
B-n34-k5	788	1012.40	958.19	838.64	28.48	21.60	**6.43**	Demand
B-n35-k5	955	1392.84	1194.91	1228.22	45.85	**25.12**	28.61	Nearest
B-n39-k5	549	1108.38	757.41	577.12	101.89	37.96	**5.12**	Demand
E-n22-k4	375	598.95	484.81	471.06	59.72	29.28	**25.62**	Demand
E-n23-k3	569	696.95	728.12	662.89	22.49	27.96	**16.50**	Demand
E-n30-k3	534	741.21	587.70	576.66	38.80	10.06	**7.99**	Demand
E-n33-k4	835	1003.04	969.27	909.01	20.12	16.08	**8.86**	Demand
F-n45-k4	742	1178.24	1126.78	847.37	58.79	51.86	**14.20**	Demand
P-n16-k8	450	451.95	489.68	478.33	**0.43**	8.82	6.30	Farthest
P-n19-k2	212	258.67	219.75	245.17	22.01	**3.66**	15.65	Nearest
P-n20-k2	216	258.63	218.31	248.27	19.74	**1.07**	14.94	Nearest
P-n21-k2	211	245.09	212.71	268.58	16.16	**0.81**	27.29	Nearest
P-n22-k2	216	292.65	217.85	262.72	35.49	**0.86**	21.63	Nearest
P-n22-k8	603	674.42	721.72	653.69	11.84	19.69	**8.41**	Demand
P-n23-k8	529	640.55	615.09	665.99	21.09	**16.27**	25.90	Nearest
P-n40-k5	458	625.44	510.49	570.30	36.56	**11.46**	24.52	Nearest
ค่าเฉลี่ย (Average)					35.37	20.35	15.64	
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.)					20.84	12.50	7.26	

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013



รูปที่ 11 ผลการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของวิธี CFRS แต่ละวิธีกับโจทย์ปัญหา

4. บทสรุป

งานวิจัยนี้นำเสนอวิธีในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าเพื่อวางแผนในการขนส่งที่มีระยะทางรวมน้อยสุด เนื่องจากปัญหา VRP เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องเป็นอย่างมากในปัจจุบัน โดยปัญหานี้วัตถุประสงค์ในการหาวิธีในการแก้ไขปัญหาเพื่อให้ได้ค่าผลลัพธ์ที่ดีที่สุด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอการเปรียบเทียบวิธีฮิวริสติกที่เป็นวิธีที่ใช้หาผลลัพธ์ที่ดีในเวลาที่เหมาะสม ในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธี CFRS โดยมีขั้นตอนการหาผลลัพธ์ 2 เฟส โดยเฟสแรกคือ การจัดกลุ่ม (Clustering) ทั้งหมด 3 วิธี ประกอบด้วย ระยะทางที่ไกลสุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Farthest from Depot) ระยะทางที่ใกล้สุดจากจุดกระจายสินค้าเป็นจุดศูนย์กลาง (Nearest from Depot) และจุดที่มีความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดศูนย์กลาง หลังจากนั้นดำเนินการเฟสสองคือ การหาลำดับการเดินรถโดยใช้วิธีในการหาผลลัพธ์ด้วย TSP จากผลการทดลองพบว่าวิธีการจัดกลุ่มด้วยจุดที่มีความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดศูนย์กลาง สามารถให้ผลลัพธ์ใกล้เคียงกับค่า BKS จำนวน 15 โจทย์มากสุด (คิดเป็นร้อยละ 60จากโจทย์ทั้งหมด 25 โจทย์)

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้ในการแก้ปัญหาจริง เนื่องจากผลการวิจัยทำให้เห็นว่า วิธีการการหาผลลัพธ์ 2 เฟส โดยเฟสแรกคือ การจัดกลุ่ม (Clustering) ด้วยจุดที่มีความต้องการมากที่สุด (Maximum Demand) เป็นจุดศูนย์กลาง หลังจากนั้นดำเนินการเฟสสอง คือ การหาลำดับการเดินรถโดยใช้

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

วิธีในการหาผลลัพธ์ด้วย TSP เป็นวิธีที่เหมาะสมในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้าที่เป็นการจัดกลุ่มก่อนแล้วจึงจัดเส้นทางทีหลัง ที่สามารถประยุกต์ใช้กับลักษณะของปัญหาที่ต้องการทำการจัดกลุ่มย่อยก่อนแล้วจัดลำดับเส้นทางในการวิ่งรถทุกสินค้า เช่น ปัญหาการจัดเส้นการเดินรถบรรทุกสินค้า การกำหนดทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า (Distribution Center) ปัญหาโครงข่ายแบบ Hub เพื่อสามารถเป็นแนวทางในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถด้านขนส่งสินค้าที่ไม่เกินปริมาณความจุของรถในการขนส่งได้ และวิธีนี้ยังเป็นวิธีที่ง่ายไม่ซับซ้อนในการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้า ที่สามารถนำไปใช้จริงโดยผู้จัดเส้นทางไม่จำเป็นต้องมีความเชี่ยวชาญด้านการแก้ปัญหา VRP

เนื่องจากงานวิจัยนี้ได้ทดลองใช้กับกลุ่มลูกค้าขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 50 จุด ข้อเสนอแนะ สำหรับงานวิจัยในอนาคตควรนำไปทดลองแก้ไขกับกลุ่มลูกค้าที่มีขนาดใหญ่ เพื่อศึกษาประสิทธิภาพการหาผลลัพธ์ เนื่องจากวิธีการนี้เป็นการแก้ปัญหา VRP แบบฮิวริสติกที่มีข้อดีในด้านเวลาในการประมวลเร็ว อีกทั้งควรพิจารณาข้อจำกัดอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องกับการจัดเส้นทางการเดินรถในปัญหาจริง เช่น กรอบเวลาในการจัดส่ง ความหลากหลายของความจุของรถบรรทุก เป็นต้น

5. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Zhang, H. Ge, J. Yang and Y. Tong, Review of vehicle routing problems: Models, classification and solving algorithms, Archives of Computational Methods in Engineering, 2022, 195-221.

[2] S.Y. Tan and W.C. Yeh, The vehicle routing problem: state-of-the-art classification and review, Applied Sciences, 2021, 11(21).

[3] N. Wichaya and T.Sudsuansee, Solving the vehicle routing problems with time windows using hybrid genetic algorithm with push forward insertion heuristic and local search procedure, The Journal of King Mongkut's University of Technology North Bangkok, 2019, 29(1), 4-13. (in Thai)

[4] R.A. Russell and D. Gribbin, A multiphase approach to the period routing problem, Networks, 1991, 21(7), 747-765.

[5] G, Clarke and J.W. Wright, Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points, Operations Research, 1964, 12(4), 568-581.

[6] R.L. Bowerman, P.H. Calamai and G.B. Hall, The spacefilling curve with optimal partitioning heuristic for the vehicle routing problem, European Journal of Operational Research, 1994, 76(1), 128-142.

[7] L. Lian and E. Castelain, A decomposition-based heuristic approach to solve general delivery problem, The World Congress on Engineering and Computer Science 2009 Vol II (WCECS 2009), Proceeding, 2009. 1-5.

วารสารวิชาการเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (The Journal of Industrial Technology)
ISSN (online): 2697-5548
DOI: 10.14416/j.ind.tech.2024.12.013

[8] B.E. Gillett and L.R. Miller, A heuristic algorithm for the vehicle-dispatch problem, Operations Research, 1974, 22, 340-349.

[9] M.L. Fisher and R. Jaikumar, A generalized assignment heuristic for vehicle routing, Networks, 1981, 11, 109-124.

[10] A.K. Garside and N.R. Laili, A cluster-first route-second heuristic approach to solve the multi-trip periodic vehicle routing problem, Jurnal Teknik Industri, 2019, 20(2), 68-77.

[11] R. Dondo and J. Cerdá, A cluster-based optimization approach for the multi-depot heterogeneous fleet vehicle routing problem with time windows, European Journal of Operational Research, 2007, 176, 1478-1507.

[12] K. Shin and S. Han, A centroid-based heuristic algorithm for the capacitated vehicle routing problem, Computing and Informatics, 2011, 30, 721-732.

[13] S.E. Comert and H.R. Yazgan, Effective cluster-first route-second approaches using metaheuristic algorithms for the capacitated vehicle routing problem, International Journal of Industrial Engineering: Theory, Applications and Practice, 2021, 28(1), 14–38.

[14] A. Sriburum, T. Sudsuansee, W. Waworot and A. Lawong, A Two-phase heuristic for solving vehicle routing problem: A case study of snack wholesale in Kalasin province, Thai Journal of Operations Research, 2022, 10(1), 15-28. (in Thai)

[15] http://vrp.galgos.inf.puc-rio.br/index.php/en/. (Accessed on 16 October 2022)