

การประยุกต์ใช้วิธีการ K-Means-TSP สำหรับแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง :

กรณีศึกษา บริษัท แสงชัยรุ่งเรือง จำกัด

Using K-Means-TSP for Solving the Capacitated Vehicle Routing Problem : a Case Study of Sangchai Rungruang Company Limited

อัฉรา ชุมพล^{1*} นรงค์ วิชาพา² และ ไพฑูรย์ ทิพย์สันเทียะ³

Atchara Choompol^{1*}, Narong Wichapa² and Paitoon Thipsanthia³

*Corresponding author, e-mail: atchara.ch@ksu.ac.th

Received: August 8th, 2020; Revised: August 28th, 2020; Accepted: September 15th, 2020

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธีฮิวริสติกสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง (Capacitated Vehicle routing problem, CVRP) โดยประยุกต์ใช้วิธีการ K-Means-TSP สำหรับการหาผลเฉลยของปัญหาการขนส่งสินค้าประเภทขนมของบริษัทกรณีศึกษาในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยวิธีการที่นำเสนอประกอบด้วย 2 เฟส เฟสแรกเป็นการประยุกต์ใช้วิธีการ K-Means ในการจัดกลุ่มลูกค้า และเฟสที่สอง แต่ละกลุ่มของลูกค้าจะถูกจัดลำดับการขนส่งสินค้าโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Travelling Salesman Problem: TSP) ผลการทดลองพบว่า วิธีการที่นำเสนอให้ผลลัพธ์อยู่ในระดับที่ดี โดยวิธีการที่นำเสนอเมื่อเทียบกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP และเทียบกับประสิทธิภาพของพนักงานขับรถ พบว่า มีความคลาดเคลื่อน +19.00% และ -20.49% ตามลำดับ

คำสำคัญ: ฮิวริสติกแบบสองเฟส การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง เคมี ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

¹ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์และระบบอัตโนมัติ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Lecturer in Bachelor of Engineering Program in Computer and Automation Engineering,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

² อาจารย์ประจำหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ

คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Lecturer in Bachelor of Engineering Program in Industrial Engineering,

Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

³ อาจารย์ประจำหลักสูตรวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาเทคโนโลยีสารสนเทศและดิจิทัล

คณะวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีสุขภาพ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

Lecturer in Bachelor of Science Program in Information Technology and Digital,

Faculty of Science and Health Technology, Kalasin University

Abstract

This paper was to present a heuristic for solving the capacitated vehicle routing problem using K-Means-TSP to tackle in a case study of snack wholesale in Kalasin Province. The proposed consists of two phase. The first phase was to cluster a group of customers using K-Means algorithm. For second phase, each group of customers was generated transport routes using Travelling Salesman Problem model (TSP model). The computational results showed that the proposed heuristic provides good efficiency. The comparisons with VRP model and driver's experience shown that deviation of proposed method are +19.00% and -20.49% respectively.

Keywords: Two-Phase Heuristic, Vehicle Routing Problem, K-Means, Travelling Salesman Problem

บทนำ

ปัจจุบันธุรกิจต่าง ๆ ทั้งภาคอุตสาหกรรมและบริการมีการแข่งขันสูงขึ้นมาก การลดต้นทุนด้านโลจิสติกส์และการสร้างความพึงพอใจให้ลูกค้าจึงเป็นอีกหนึ่งแนวทางสำคัญที่จะช่วยให้ธุรกิจอยู่รอด จากรายงานโครงสร้างต้นทุนด้านโลจิสติกส์ของประเทศไทยในปี พ.ศ. 2561 ของสำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ (สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ, 2561) พบว่า ต้นทุนค่าขนส่งสินค้ามีสัดส่วนมากที่สุด (ร้อยละ 54.10) รองลงมาคือ ต้นทุนการเก็บรักษาสินค้าคงคลัง (ร้อยละ 36.80) และต้นทุนการบริหารจัดการ (ร้อยละ 9.10) แสดงให้เห็นว่าต้นทุนค่าขนส่งสินค้าเป็นต้นทุนที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง การลดต้นทุนค่าขนส่งสินค้าจะช่วยให้ต้นทุนสินค้าลดลงและส่งผลกระทบต่อธุรกิจมีกำไรเพิ่มมากขึ้น

วิธีการ K-Means เป็นวิธีการที่ใช้ในการจัดกลุ่มแบบไม่เป็นขั้นตอน (non-hierarchical cluster analysis) และจัดเป็นเทคนิคการเรียนรู้แบบไม่มีผู้สอนที่ง่ายที่สุด ใช้หลักการจัดกลุ่มโดยจะมีการเลือก case ที่มีค่าระยะทาง (distance) จากค่าระยะกลางของกลุ่มน้อยที่สุดเข้าไว้ด้วยกัน จากนั้นจึงคำนวณค่ากลางของกลุ่มใหม่ จนกระทั่งค่ากลางของกลุ่มไม่มีการเปลี่ยนแปลงหรือครบรอบการคำนวณที่กำหนดไว้ (Kuo *et al.*, 2002 : 1475; อรุณ ชัยหมื่น, 2548 : 8) วิธีการ K-Means ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอย่างแพร่หลาย อาทิเช่น การจัดกลุ่มลูกค้าค้างชำระสินเชื่อของธนาคารแห่งหนึ่ง (เมธาพร คงทอง, 2556 : 32) การจัดกลุ่มผู้ส่งมอบในธุรกิจค้าปลีก (วันดี สุฉันทบุตร และคณะ, 2556 : 72) การจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ (พัชณี มีบัว และจิราวัลย์ จิตรถเวช, 2558 : 297) งานวิจัยนี้ได้นำวิธีการ K-Means มาประยุกต์ใช้ในการจัดกลุ่มลูกค้าเพื่อจัดเส้นทางการขนส่ง โดยการจัดกลุ่มลูกค้าอยู่ภายใต้เงื่อนไขข้อจำกัดของน้ำหนักบรรทุก

ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบความจุของยานพาหนะจำกัด (capacitated vehicle routing problem, CVRP) เป็นรูปแบบหนึ่งของปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่ง (vehicle routing problems, VRPs) เป็นปัญหาที่มีความยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงหลายปัจจัย เช่น ความจุของยานพาหนะที่มีจำกัด เส้นทางการขนส่ง จุดเริ่มต้นในการขนส่ง และเวลาที่สามารถขนส่งได้ เป็นต้น CVRP จัดเป็นปัญหาแบบ NP-hard (Wichapa and Khokhajaikiat, 2018 : 75) ซึ่งต้องมีการกำหนดกลุ่มของเส้นทางการขนส่งที่ทำให้เกิดต้นทุนการขนส่งโดยรวมต่ำสุด โดยใช้ยานพาหนะในการขนส่งสินค้าระหว่างศูนย์กระจายสินค้าหนึ่งแห่งไปยังกลุ่มลูกค้าจำนวนหลายแห่ง ข้อจำกัดของปัญหา CVRP ได้แก่ (1) ยานพาหนะทุกคันจะเริ่มออกเดินทางจากศูนย์กระจาย

สินค้าไปยังกลุ่มลูกค้าเพื่อให้บริการส่งสินค้าหรือเก็บสินค้าให้ครบทุกราย และจะต้องเดินทางกลับมายังศูนย์กระจายสินค้าเดิม (2) ลูกค้าแต่ละรายจะได้รับบริการจากยานพาหนะเพียงคันเดียวเท่านั้น (3) ลูกค้าแต่ละรายจะเป็นจุดของความต้องการ (demand) สินค้าเหล่านี้จะถูกเก็บขนโดยใช้นายพาหนะที่มีอยู่ ซึ่งปริมาณสินค้ารวมที่เก็บขนจะต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะนั้น งานวิจัยที่ผ่านมาได้นำเสนอวิธีการแก้ปัญหา CVRP หลายวิธีการซึ่งสามารถจำแนกได้ 2 วิธี (นรงค์ วิชาพา และคณะ, 2562 : 5; Laporte, 1992 : 345) ได้แก่ วิธีแบบแม่นยำ (exact method) และวิธีเชิงฮิวริสติก (heuristic/meta- heuristic) ข้อดีของวิธีแบบแม่นยำ คือ ได้ผลเฉลยที่ดีที่สุด (optimal solution) แต่มีข้อเสียคือ ใช้เวลาในการประมวลผลช้า และถ้าหากปัญหามีขนาดใหญ่อาจไม่สามารถหาผลเฉลยได้ ด้วยเหตุนี้ นักวิจัยส่วนใหญ่จึงนิยมใช้วิธีเชิงฮิวริสติกในการแก้ปัญหา CVRP แม้ว่าจะไม่ยืนยันว่าผลเฉลยที่ได้เป็นผลเฉลยที่ดีที่สุด แต่ผลเฉลยที่ได้สามารถยอมรับได้เนื่องจากมีค่าใกล้เคียงกับผลเฉลยที่ดีที่สุด และใช้เวลาในการประมวลผลได้รวดเร็วกว่าวิธีแบบแม่นยำ วิธีการฮิวริสติกแบบสองเฟส (cluster first route second) เป็นหนึ่งในฮิวริสติกที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้สำหรับการแก้ปัญหา CVRP เนื่องจากเป็นวิธีการที่ง่าย มีขั้นตอนการคำนวณไม่ยุ่งยาก และผลลัพธ์ที่ได้มีความเหมาะสมหรือมีประสิทธิภาพเพียงพอสำหรับการนำไปใช้งานจริงได้

บริษัทแสงชัยรุ่งเรือง จำกัด ทำธุรกิจขายส่งขนมให้กับลูกค้าในเขตพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ ครอบคลุมเขตพื้นที่อำเภอเมืองกาฬสินธุ์ อำเภอสมเด็จ อำเภอกมลาไสย อำเภอนามน และอำเภอภูพานรายณ์ มีลูกค้าประมาณ 180 ราย และบริษัททำการขนส่งทุกวัน โดยมีรถบรรทุกจำนวน 3 คัน จากการศึกษาข้อมูล พบปัญหาด้านการจัดการการขนส่ง คือ ปัญหาที่บริษัทรณศึกษาไม่มีระบบการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า ซึ่งปัจจุบันบริษัทยังใช้ประสบการณ์ของพนักงานขับรถในการวางแผนจัดเส้นทางขนส่ง ส่งผลให้บริษัทรณศึกษามีภาระต้นทุนการขนส่งสูง และยังไม่สามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าได้อย่างทันเวลา

งานวิจัยนี้เป็นการนำเสนอวิธี K-Means-TSP สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งของกรณีศึกษา ซึ่งเป็นร้านขายส่งขนมแห่งหนึ่ง ในพื้นที่อำเภอเมืองจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อหาเส้นทางขนส่งที่มีระยะทางการขนส่งโดยรวมต่ำสุด ภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด โดยขั้นตอนแรก ทำจัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้ K-Means ขั้นตอนที่สอง ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (travelling salesman problem: TSP) ในการจัดลำดับการขนส่งสินค้า เพื่อให้ผู้ประกอบการมีต้นทุนการขนส่งลดลงและสามารถตอบสนองต่อความต้องการของลูกค้าทันเวลาที่กำหนด

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

เพื่อจัดเส้นทางขนส่งด้วยวิธี K-Means-TSP โดยเป้าหมายระยะทางการขนส่งโดยรวมต่ำสุดภายใต้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัด

ระเบียบวิธีวิจัย

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวางแผนการจัดเส้นทางขนส่งของบริษัทรณศึกษา เพื่อให้ระยะทางการขนส่งสินค้าต่ำสุด มีขั้นตอนการศึกษาดังนี้

ประชากรและกลุ่มตัวอย่าง

ประชากร คือ ลูกค้าของบริษัทแสงชัยรุ่งเรือง จำกัด จำนวน 180 ราย

กลุ่มตัวอย่าง คือ ลูกค้าของบริษัทแสงชัยรุ่งเรือง จำกัด จำนวน 16 ราย ที่ใช้ในการทดลองในงานวิจัยนี้ ได้มาโดยวิธีการเลือกแบบเจาะจง (purposive sampling)

เครื่องมือที่ใช้ในการวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ข้อมูลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์หน่วยประมวลผล Intel® Core™ i7-4720HQ หน่วยความจำ 8.00 GB โดยใช้ซอฟต์แวร์ในการประมวลผลข้อมูล ได้แก่ Lingo 13, Microsoft Excel 2015 และภาษาในการเขียนโปรแกรม คือ ภาษา Python

การเก็บรวบรวมข้อมูลในการวิจัย

รวบรวมข้อมูลจาก หจก.แสงชัยรุ่งเรือง จำกัด : กรณีศึกษา โดยศึกษาการจัดส่งสินค้าและรวบรวมข้อมูลโดยใช้แบบสัมภาษณ์เชิงลึก โดยข้อมูลสำคัญที่ได้รับประกอบด้วย จำนวนรถขนส่งสินค้า จุดที่ทำการส่งสินค้า ระยะทางการส่งสินค้า และความจุของรถขนส่งสินค้า

การวิเคราะห์ข้อมูล

1. สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP ประกอบด้วยขั้นตอนการกำหนดดัชนีพารามิเตอร์ ตัวแปรตัดสินใจ การสร้างสมการเป้าหมาย และข้อจำกัด ตามลำดับ มีรายละเอียดดังนี้

ดัชนี:

กำหนดให้กราฟ $G = (V, A)$ โดยที่ V แทนเซตของโหนดทั้งหมด (nodes) ประกอบด้วย โหนดของศูนย์กระจายสินค้า และโหนดของลูกค้า ซึ่ง $V = \{1, 2, 3, \dots, N\}$ กำหนดให้โหนดที่ 1 เป็นที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า ส่วนโหนด $\{2, 3, 4, \dots, N\}$ แทนโหนดของลูกค้า และ A แทนเซตของเส้นเชื่อมระหว่างโหนดทั้งหมด ซึ่ง (i, j) เป็นสมาชิกของ A

พารามิเตอร์:

- d_{ij} คือ ระยะทางการขนส่งจากโหนด i ไปยังโหนด j
- K คือ เซตของยานพาหนะ, โดยที่ $K = \{1, 2, 3, \dots, k\}$
- N คือ เซตของโหนดทั้งหมด, โดยที่ $N = \{1, 2, 3, \dots, n\}$
- q_k คือ ความจุของยานพาหนะคันที่ k

ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี:

- X_{ijk} มีค่าเท่ากับ 1 ถ้ามีการเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j โดยใช้ยานพาหนะคันที่ k
- X_{ijk} มีค่าเท่ากับ 0 ถ้าไม่มีการเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j โดยใช้ยานพาหนะคันที่ k
- Z_k มีค่าเท่ากับ 1 ถ้ายานพาหนะคันที่ k มีการเดินทาง
- Z_k มีค่าเท่ากับ 0 ถ้ายานพาหนะคันที่ k ไม่มีการเดินทาง

สมการเป้าหมาย:

$$\text{Min } Z = \sum_{i \in N} \sum_{j \in N} \sum_{k \in K} d_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

ข้อจำกัด:

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} X_{ijk} \leq NZ_k \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N, i \neq j} x_{1jk} \leq 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} x_{ipk} - \sum_{j \in N, i \neq j} x_{ipk} = 0 \quad \forall p, p \in N, \forall k \in K \quad (4)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{i \in N, i \neq j} x_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N \quad (5)$$

$$\sum_{k \in K} \sum_{j \in N, i \neq j} x_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{j \in N, i \neq j} d_j x_{ijk} \leq q_k \quad \forall k \in K \quad (7)$$

$$\sum_{i \in N, i \neq j} x_{i1k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (8)$$

$$x_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N, \forall j \in N, \forall k \in K \quad (9)$$

$$z_k \in \{0,1\} \quad (10)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายในการหาค่าระยะทางรวมต่ำสุด สมการที่ (2) เป็นสมการข้อจำกัดเพื่อหาเส้นเชื่อมระหว่างโหนด i และ j ซึ่งมีได้ไม่เกินจำนวนโหนดทั้งหมด (N) เมื่อใช้ยานพาหนะ k โดย Y_k จะมีค่าเป็นหนึ่งเมื่อยานพาหนะคันที่ k ถูกใช้ สมการที่ (3) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่ายานพาหนะ k ไม่จำเป็นต้องออกจากที่ตั้งทุกคัน สมการที่ (4) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่าเมื่อยานพาหนะ k ไปรับสินค้าที่โหนดใดแล้วต้องออกจากโหนดนั้น สมการที่ (5) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่ายานพาหนะ k เดินทางเข้าไปรับสินค้าจากลูกค้า j ได้เพียง 1 รายเท่านั้น สมการที่ (6) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่ายานพาหนะ k จะออกเดินทางจากโหนด i เข้าไปรับสินค้าจากลูกค้า j ได้เพียง 1 รายเท่านั้น สมการที่ (7) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่าปริมาณสินค้ารวมที่บรรทุกด้วยยานพาหนะ k ต้องไม่เกินความจุของยานพาหนะนั้นด้วย สมการที่ (8) เป็นสมการข้อจำกัด ซึ่งเป็นการประกันว่ายานพาหนะ k ที่ออกเดินทางต้องกลับมายังที่ตั้ง สมการที่ (9) และสมการที่ (10) แสดงตัวแปรตัดสินใจเป็นตัวเลขแบบไบนารี

2. สร้างฮิวริสติกแบบสองเฟสสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่ง

งานวิจัยนี้ผู้วิจัยเลือกใช้วิธีการฮิวริสติกแบบสองเฟสสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถขนส่งที่มีค่าน้ำหนักจำกัด โดยนำกลุ่มลูกค้าเป้าหมายทั้งหมดมาทำการจัดกลุ่มด้วยวิธีการ K-mean จากนั้นจัดเส้นทางเดินรถแต่ละคันด้วยวิธีการ TSP มีรายละเอียดดังนี้

เฟส 1 : การประยุกต์ใช้วิธีการ K-mean ในการจัดกลุ่มลูกค้าแต่ละวัน โดยงานวิจัยนี้ได้พัฒนาอัลกอริทึม K-Means ด้วยโปรแกรมไพธอน (Python) ในการจัดกลุ่มลูกค้าในแต่ละวัน มีหลักการจัดกลุ่มดังนี้

1. กำหนดจำนวนกลุ่มขึ้นมาก่อนเช่น 3 กลุ่ม (ค่า $K = 3$) (กำหนดเป็น C_1, C_2 และ C_3) และสุ่มตำแหน่งแกน x, y ให้กับ C_1, C_2 และ C_3 จะได้ $C_1(x_1, y_1)$ $C_2(x_2, y_2)$ และ $C_3(x_3, y_3)$
2. ดูตำแหน่งของลูกค้าแต่ละรายว่าอยู่ใกล้ใครมากกว่ากันก็ให้ลูกค้ารายนั้นเป็นสมาชิกของ C นั้น ซึ่งจะทำให้รู้ว่าลูกค้าแต่ละรายอยู่ในกลุ่มใดระหว่าง C_1, C_2 และ C_3

3. ปรับ x, y ของ C1, C2 และ C3 ใหม่ให้อยู่ตรงกลางของกลุ่ม
4. จัดเรียงลูกค้าตามค่าน้ำหนักของสินค้าที่จะนำส่ง
5. ตรวจสอบค่าน้ำหนักสินค้ารวมในแต่ละกลุ่ม ถ้าค่าน้ำหนักเกินให้นำลูกค้าที่มีความต้องการสินค้าน้อยที่สุดไปจัดกลุ่มใหม่
6. ทำ ตามข้อ 2, 3, 4 และข้อ 5 อีกครั้งจนกว่า C1, C2 และ C3 มีค่าน้ำหนักไม่เกินกำหนดและตำแหน่งไม่เปลี่ยน

เฟส 2 : การประยุกต์ใช้วิธีการ TSP ในการจัดเส้นทางขนส่งให้กับลูกค้าแต่ละกลุ่ม โดยงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ TSP มาเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Lingo เพื่อจัดเส้นทางขนส่งให้แก่ลูกค้าแต่ละกลุ่ม โดยการเดินทางส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละกลุ่มจะใช้รถขนส่งคนละคัน

ผลการวิจัย

ผลการเก็บรวบรวมข้อมูลของบริษัทกรณีศึกษา

ผู้วิจัยได้ทำการสำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้องโดยการสัมภาษณ์เจ้าของสถานประกอบการ 1 คน และพนักงานจัดส่งสินค้าจำนวน 3 คน ข้อมูลที่เกี่ยวข้องเช่น (1) รายชื่อและจำนวนลูกค้าที่ขนส่งในแต่ละวัน (2) ปริมาณสินค้าที่สั่งซื้อในแต่ละวัน (3) จำนวนและความจุของรถ (4) เส้นทางในการเดินทางในแต่ละวันการเก็บรวบรวมข้อมูลในครั้งนี้เป็นการเก็บข้อมูลในช่วง เดือนธันวาคม 2562 จำนวน 3 วันต่อเนื่อง จากนั้นนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องทั้งหมดมาสร้างเมตริกซ์ระยะทางใน Excel เพื่อดำเนินการในขั้นตอนต่อไป ข้อมูลโดยรายละเอียดตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ข้อมูลที่เกี่ยวข้องของบริษัทกรณีศึกษา

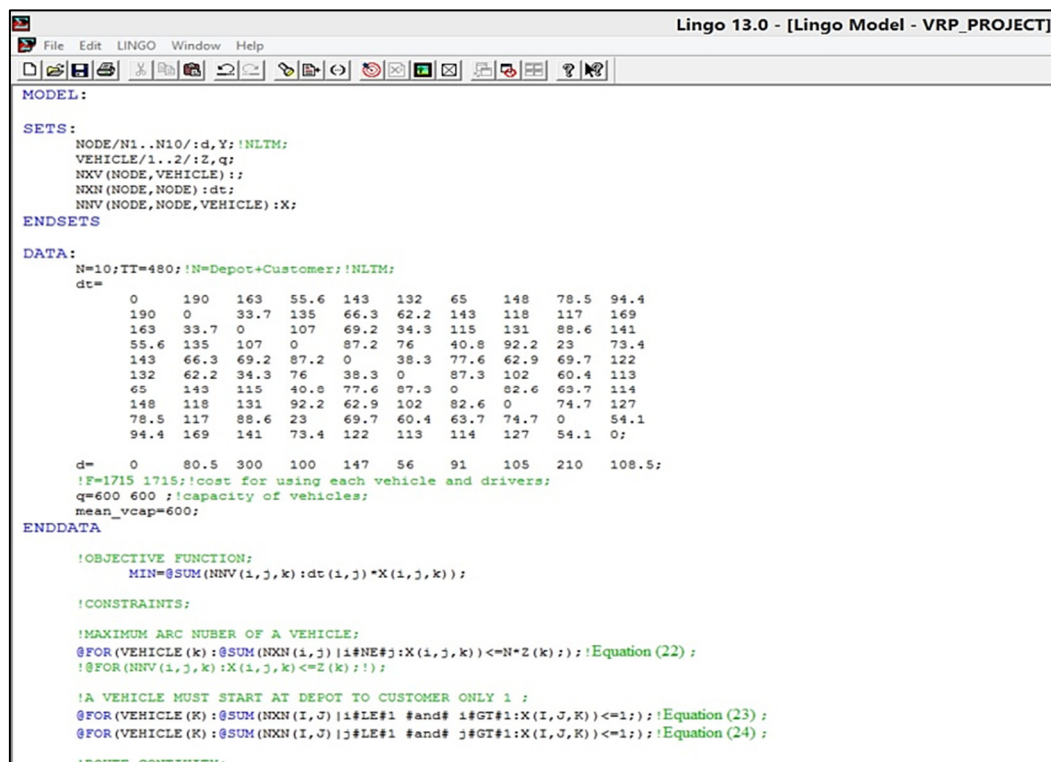
ID	D	C1	C2	C3	C4	C5	C6	C7	C8	C9	C10	C11	C12	C13	C14	C15	C16	Demand
D	0	18.5	18.2	18.5	19.4	21.1	15	19.8	35.7	40.4	7.4	15.4	15.1	21.9	19.8	22.9	27.6	0
C1	18.5	0	10.6	10.5	27.2	11.1	21	16.8	25.7	30.4	23.2	18.6	19.8	20	33.9	20.9	9.4	168
C2	18.2	10.6	0	0.35	23.1	2.9	16.9	12.6	17.5	22.1	23.9	29.6	28	30.9	44.9	31.9	22.1	75
C3	18.5	10.5	0.35	0	23.4	3.2	17.2	13	17.8	22.5	24.2	27.2	28.3	28.5	42.4	29.5	17.9	82
C4	19.4	27.2	23.1	23.4	0	25.1	8.7	12.9	39.7	44.3	35	40	39.7	46.5	60.4	47.5	40.2	75
C5	21.1	11.1	2.9	3.2	25.1	0	18.9	14.7	14.6	19.2	25.9	27.9	29	29.2	43.1	30.2	18.6	123
C6	15	21	16.9	17.2	8.7	18.9	0	4.9	33.8	38.5	29.1	34.1	33.9	40.6	58.8	41.6	34.3	145
C7	19.8	16.8	12.6	13	12.9	14.7	4.9	0	69.4	74.1	42.4	41.6	41.4	40.5	28.5	42.2	54.2	83
C8	35.7	25.7	17.5	17.8	39.7	14.6	33.8	69.4	0	5.1	40.4	42.4	43.6	43.7	57.7	47.8	33.2	85
C9	40.4	30.4	22.1	22.5	44.3	19.2	38.5	74.1	5.1	0	45	47	48.2	48.4	62.3	49.4	37.8	125
C10	7.4	23.2	23.9	24.2	35	25.9	29.1	42.4	40.4	45	0	16.9	16.7	20.6	34.5	24.4	26.4	87
C11	15.4	18.6	29.6	27.2	40	27.9	34.1	41.6	42.4	47	16.9	0	1.3	8	21.8	9	12.4	98
C12	15.1	19.8	28	28.3	39.7	29	33.9	41.4	43.6	48.2	16.7	1.3	0	6.8	21.1	10.9	13.5	130
C13	21.9	20	30.9	28.5	46.5	29.2	40.6	40.5	43.7	48.4	20.6	8	6.8	0	13.9	1.6	13.7	105
C14	19.8	33.9	44.9	42.4	60.4	43.1	58.8	28.5	57.7	62.3	34.5	21.8	21.1	13.9	0	15.6	15.6	83
C15	22.9	20.9	31.9	29.5	47.5	30.2	41.6	42.2	47.8	49.4	24.4	9	10.9	1.6	15.6	0	14.6	93
C16	27.6	9.4	22.1	17.9	40.2	18.6	34.3	54.2	33.2	37.8	26.4	12.4	13.5	13.7	15.6	14.6	0	95
รวม																		1652

จากตารางที่ 1 แสดงระยะทางจากจุดกระจายสินค้าไปยังลูกค้าและระยะทางระหว่างลูกค้าแต่ละราย โดยที่ D หมายถึง ผู้ขายส่งสินค้า ซึ่งเป็นจุดกระจายสินค้า ส่วน C1 – C16 หมายถึงลูกค้าแต่ละราย และ Demand คือความต้องการสินค้าของลูกค้าแต่ละราย โดยที่ความต้องการสินค้าของลูกค้าในแต่ละวันมีความแน่นอน

หลังจากทำการรวบรวมข้อมูลจากบริษัทกรณีศึกษาเรียบร้อยแล้ว ผู้วิจัยได้นำข้อมูลมาทำการจัดเส้นทางด้วย 3 วิธีการ ได้แก่ (1) การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้แบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP ที่เขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Lingo (2) การจัดเส้นทางโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก (3) การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้วิธีสถิติแบบสองเฟสสำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง แต่ละวิธีการมีผลการจัดเส้นทางดังนี้

ผลเฉลยของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาของบริษัทกรณีศึกษา

การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้แบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP ที่พัฒนาโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Lingo ดังรูปที่ 1 ซึ่งผลการจัดเส้นทางแสดงดังตารางที่ 2



```

MODEL:
SETS:
  NODE/N1..N10/:d,Y;!NLTM;
  VEHICLE/1..2/:Z,q;
  NXN(NODE,VEHICLE):;
  NXN(NODE,NODE):dt;
  NNV(NODE,NODE,VEHICLE):X;
ENDSETS

DATA:
  N=10;TT=480;!N=Depot+Customer;!NLTM;
  dt=
    0 190 163 55.6 143 132 65 148 78.5 94.4
    190 0 33.7 135 66.3 62.2 143 118 117 169
    163 33.7 0 107 69.2 34.3 115 131 88.6 141
    55.6 135 107 0 87.2 76 40.8 92.2 23 73.4
    143 66.3 69.2 87.2 0 38.3 77.6 62.9 69.7 122
    132 62.2 34.3 76 38.3 0 87.3 102 60.4 113
    65 143 115 40.8 77.6 87.3 0 82.6 63.7 114
    148 118 131 92.2 62.9 102 82.6 0 74.7 127
    78.5 117 88.6 23 69.7 60.4 63.7 74.7 0 54.1
    94.4 169 141 73.4 122 113 114 127 54.1 0;
  d= 0 80.5 300 100 147 56 91 105 210 108.5;
  !F=1715 1715;!cost for using each vehicle and drivers;
  q=600 600;!capacity of vehicles;
  mean_vcap=600;
ENDDATA

!OBJECTIVE FUNCTION;
MIN=@SUM(NNV(1,j,k):dt(1,j)*X(1,j,k));

!CONSTRAINTS;

!MAXIMUM ARC NUMBER OF A VEHICLE;
@FOR(VEHICLE(k):@SUM(NXN(1,j)|i#NE#j:X(1,j,k))<=N*Z(k));!Equation (22);
@FOR(NNV(1,j,k):X(1,j,k)<=Z(k));!

!A VEHICLE MUST START AT DEPOT TO CUSTOMER ONLY 1;
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(NXN(I,J)|I#LE#1 #and# I#GT#1:X(I,J,K))<=1);!Equation (23);
@FOR(VEHICLE(K):@SUM(NXN(I,J)|J#LE#1 #and# J#GT#1:X(I,J,K))<=1);!Equation (24);

!ROUTE CONTINUITY;

```

รูปที่ 1 ตัวอย่างการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยซอฟต์แวร์ Lingo สำหรับปัญหา VRP

ตารางที่ 2 ผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP

เส้นทางขนส่ง	ระยะทางของรถแต่ละคัน (กิโลเมตร)
R1 : D - C16 - C1 - C5 - C8 - C9 - D 27.6 + 9.4 + 11.1 + 14.6 + 5.1 + 40.4	108.20
R2 : D - C4 - C6 - C7 - C3 - C2 - D 19.4 + 8.7 + 4.9 + 13 + 0.35 + 18.5	64.85
R3 : D - C14 - C15 - C13 - C12 - C11 - C10 - D 19.8 + 15.6 + 1.6 + 6.8 + 1.3 + 16.9 + 7.4	69.40
ระยะทางรวม	242.45

จากตารางที่ 2 แสดงผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP ซึ่งแบ่งเป็น 3 เส้นทาง ตามจำนวนรถบรรทุก โดยเส้นทางที่ 1 มีระยะทางรวม เท่ากับ 108.20 กิโลเมตร เส้นทางที่ 2 มีระยะทางรวม เท่ากับ 64.85 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 3 มีระยะทางรวม เท่ากับ 69.40 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางรวมของทั้งสามเส้นทาง เท่ากับ 242.45 กิโลเมตร

ผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก

การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถ ได้มาจากการสัมภาษณ์เจ้าของกิจการและพนักงานขับรถ มีผลการจัดเส้นทางแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก

เส้นทางขนส่ง	ระยะทางของรถแต่ละคัน (กิโลเมตร)
R1 : D - 4 - 1 - 3 - 6 - 2 - D 19.4 + 27.2 + 10.5 + 17.2 + 16.9 + 18.2	109.40
R2 : D - 5 - 9 - 8 - 10 - 7 - D 21.1 + 19.2 + 5.1 + 40.4 + 42.4 + 19.8	148.00
R3 : D - 13 - 16 - 14 - 12 - 11 - 15 - D 21.9 + 13.7 + 15.6 + 21.1 + 1.3 + 9 + 22.9	105.50
ระยะทางรวม	362.90

จากตารางที่ 3 แสดงผลการจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก ซึ่งแบ่งเป็น 3 เส้นทาง ตามจำนวนรถบรรทุก โดยเส้นทางที่ 1 มีระยะทางรวม เท่ากับ 109.40 กิโลเมตร เส้นทางที่ 2 มีระยะทางรวม เท่ากับ 148.00 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 3 มีระยะทางรวม เท่ากับ 105.50 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางรวมของทั้งสามเส้นทาง เท่ากับ 362.90 กิโลเมตร

ผลเฉลยของ K-Means-TSP สำหรับการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่ง

K-Means-TSP ประกอบด้วย เฟส 1 : จัดกลุ่มลูกค้าเป้าหมายด้วยวิธีการ K-Means เฟส 2: จัดเส้นทางเดินรถแต่ละคันด้วยวิธีการ TSP มีผลการวิจัยดังนี้

เฟส 1 : ผลการจัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้วิธีการ K-Means ซึ่งพัฒนาด้วยโปรแกรมภาษาไพธอน และทำการประมวลผลบนเครื่องคอมพิวเตอร์หน่วยประมวลผล Intel® Core™ i7-4720HQ หน่วยความจำ 8.00 GB ผลการจัดกลุ่มแสดงดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการจัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้วิธีการ K-Means

กลุ่มที่	ลูกค้า	น้ำหนักรวม (กิโลกรัม)
1	C11, C12, C13, C14, C15, C16	604
2	C2, C3, C4, C6, C9, C10	589
3	C1, C5, C7, C8	459
รวม		1652

จากตารางที่ 4 แสดงผลการจัดกลุ่มลูกค้าโดยใช้วิธีการ K-Means ซึ่งแบ่งเป็น 3 กลุ่ม ตามจำนวนรถบรรทุก โดยกลุ่มที่ 1 มีค่าน้ำหนักของสินค้ารวม เท่ากับ 604 กิโลกรัม กลุ่มที่ 2 มีค่าน้ำหนักของสินค้ารวม เท่ากับ 589 กิโลกรัม และกลุ่มที่ 3 มีค่าน้ำหนักของสินค้ารวม เท่ากับ 459 กิโลกรัม คิดเป็นค่าน้ำหนักรวมทั้งหมด เท่ากับ 1652 กิโลกรัม

เฟส 2 : การประยุกต์ใช้วิธีการ TSP ในการจัดเส้นทางขนส่งให้กับลูกค้าแต่ละกลุ่มโดยใช้ Lingo ดังแสดงในรูปที่ 2 ซึ่งผลการจัดเส้นทางแสดงดังตารางที่ 5

```

MODEL:
! Traveling Salesman Problem;
!CITY / D   C11 C12 C13 C14 C15 C16/: U; ! U( I ) = sequence no. of city for(V1);
!CITY / D   C2  C3  C4  C6 C9 C10/: U; ! U( I ) = sequence no. of city for(V3);
!CITY / D   C1 C5 C7 C8/: U; ! U( I ) = sequence no. of city for(V2);
LINK( CITY, CITY):DIST, ! The distance matrix; X; ! X( I, J ) = 1 if we use link I, J;

ENDSETS

DATA: !Distance matrix, it need not be symmetric;

!DIST = @OLE('C:\Users\User\Desktop\ClusterDay1.xlsx', 'H2:N8'); !V1;
!DIST = @OLE('C:\Users\User\Desktop\ClusterDay1.xlsx', 'H12:N18'); !V2;
DIST = @OLE('C:\Users\User\Desktop\ClusterDay1.xlsx', 'H22:L26'); !V3;
ENDDATA

N = @SIZE(CITY);
MIN = @SUM( LINK (i,j) | i#ne#j: DIST(i,j) * X(i,j));

@FOR( CITY( K): ! It must be entered; @SUM( CITY( I) | I #NE# K: X( I, K)) = 1;
It must be departed; @SUM( CITY( J) | J #NE# K: X( K, J)) = 1;
@FOR( CITY( J) | J #GT# 1 #AND# J #NE# K: U( J ) >= U( K ) + X ( K, J ) - ( N - 2 ) * ( 1 - X( K, J ) ) + ( N - 3 ) * X( J, K ) );
@FOR( LINK: @BIN( X ));
@FOR( CITY( K) | K #GT# 1: U( K ) <= N - 1 - ( N - 2 ) * X( 1, K ); U( K ) >= 1 + ( N - 2 ) * X( K, 1 ) );

END
  
```

รูปที่ 2 การเขียนโค้ดด้วย Lingo สำหรับปัญหา TSP

ตารางที่ 5 ผลการจัดเส้นทางขนส่งให้กับลูกค้าแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการ TSP

รถคันที่	เส้นทางขนส่ง	ระยะทางรวมของรถแต่ละคัน (กิโลเมตร)
1	D - C11 - C12 - C13 - C15 - C16 - C14 - D	75.10
2	D - C10 - C9 - C2 - C3 - C6 - C4 - D	120.15
3	D - C1 - C8 - C5 - C7 - D	93.30
ระยะทางรวม		288.55

จากตารางที่ 5 แสดงผลการจัดเส้นทางขนส่งให้กับลูกค้าแต่ละกลุ่มด้วยวิธีการ TSP ซึ่งแบ่งเป็น 3 เส้นทาง ตามจำนวนรถบรรทุก โดยเส้นทางที่ 1 มีระยะทางรวม เท่ากับ 75.10 กิโลเมตร เส้นทางที่ 2 มีระยะทางรวม เท่ากับ 120.15 กิโลเมตร และเส้นทางที่ 3 มีระยะทางรวม เท่ากับ 93.30 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางรวมของทั้งสามเส้นทาง เท่ากับ 288.55 กิโลเมตร

ผลการเปรียบเทียบฮิวริสติกแบบสองเฟสที่สร้างขึ้นกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และประสบการณ์ของคนขับรถขนส่ง

ผู้วิจัยนำผลเฉลยของการทดสอบแก้ปัญหาของแต่ละวิธีมาทำการเปรียบเทียบผลเฉลยที่ได้ของทั้ง 3 วิธี ดังแสดงในตารางที่ 6

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบฮิวริสติกแบบสองเฟสที่สร้างขึ้นกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก

วิธีการจัดเส้นทางขนส่ง	รถคันที่	ระยะทาง (กิโลเมตร)	ระยะทางรวม (กิโลเมตร)	เวลาในการประมวลผล (ชั่วโมง)
แบบจำลองทางคณิตศาสตร์*	1	108.20	242.45	72.000
	2	64.85		
	3	69.40		
ประสบการณ์ของคนขับรถขนส่ง	1	109.40	362.90	ไม่มี
	2	148.00		
	3	105.50		
K-Means-TSP	1	75.10	288.55	0.001
	2	120.15		
	3	93.30		

จากตารางที่ 6 แสดงผลการเปรียบเทียบฮิวริสติกแบบสองเฟสที่สร้างขึ้นกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และการใช้ประสบการณ์ของคนขับรถบรรทุก พบว่า การจัดเส้นทางขนส่งโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ มีระยะทางรวมเท่ากับ 242.45 กิโลเมตร และใช้เวลาในการประมวลผล เท่ากับ 72 ชั่วโมง การจัด

เส้นทางการขนส่งโดยใช้ประสบการณ์ของคนขับรถขนส่ง มีระยะทางรวมเท่ากับ 362.90 กิโลเมตร และไม่มีข้อมูลเวลาในการประมวลผลเนื่องจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง และ การจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้วิธีการ K-Means-TSP มีระยะทางรวมเท่ากับ 288.55 กิโลเมตร และใช้เวลาในการประมวลผล เท่ากับ 0.001 ชั่วโมง

สรุปและอภิปรายผล

จากการทดลอง พบว่า การจัดเส้นทางการขนส่งโดยใช้แบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP ที่พัฒนาโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ Lingo ได้ผลลัพธ์ระยะทางการขนส่งสินค้าที่ดีที่สุด แต่ใช้เวลาในการประมวลผล 72 ชม. ในส่วนของประสบการณ์ของคนขับรถขนส่งเป็นการเก็บรวบรวมข้อมูลจริง จึงไม่มีเวลาในการประมวลผล และเวลาในการประมวลผลโดยวิธี K-Means-TSP ใช้เวลาในการประมวลผลน้อยมาก คือ 0.001 ชั่วโมง แม้ว่าระยะทางการขนส่งโดยรวมของวิธีการจัดเส้นทางการขนส่งด้วยตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหา VRP จะให้ผลลัพธ์ระยะทางการขนส่งที่ต่ำสุด แต่ไม่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในทางปฏิบัติได้เนื่องจากการจัดส่งสินค้าเป็นแบบรับคำสั่งซื้อแบบสั่งวันนี้ต้องได้รับสินค้าในวันพรุ่งนี้ ดังนั้นในทางปฏิบัติการประยุกต์ใช้ K-Means-TSP จึงมีความเหมาะสมในทางปฏิบัติมากกว่า โดยผลลัพธ์ที่ได้จากวิธีการ K-Means-TSP สามารถลดระยะทางขนส่งรวมจากเดิมที่ใช้ประสบการณ์คนขับรถ 362.90 กิโลเมตร ลดลงเหลือ 288.55 กิโลเมตร คิดเป็น 20.49%

ข้อเสนอแนะ

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1. เนื่องจากวิธีการ K-Means-TSP ที่นำเสนอเป็นฮิวริสติกแบบสองเฟส ผู้วิจัยได้ทำการประมวลผล 2 ช่วง ดังนั้น ควรพัฒนาโปรแกรมที่สามารถป้อนข้อมูลนำเข้าไปประมวลผลสองเฟสได้ในครั้งเดียว
2. นำวิธีการที่นำเสนอในงานวิจัยนี้ไปประยุกต์ใช้กับกรณีศึกษาอื่น ๆ เพื่อทดสอบประสิทธิภาพของวิธีการที่นำเสนอ

ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

ควรพัฒนาวิธีการ K-Means-TSP ให้มีประสิทธิภาพยิ่งขึ้น โดยอาจใช้วิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่ (local search) ช่วยในการปรับปรุงคุณภาพของคำตอบให้ดียิ่งขึ้น

เอกสารอ้างอิง

- เมธพร คงทอง. (2556). การจัดกลุ่มลูกค้าค้างชำระของสินเชื่อที่อยู่อาศัยของธนาคารพาณิชย์แห่งหนึ่ง. วิทยานิพนธ์บริหารธุรกิจมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- นรงค์ วิชาพา, ไทยทัศน์ สุดสวนสี, พรเทพ ขอบขายเกียรติ. (2562). การแก้ปัญหาการจัดเส้นทางการขนส่งแบบมีกรอบเวลาโดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสมผสานด้วยฮิวริสติกส์แบบแทรกไปข้างหน้าและวิธีการค้นหาคำตอบเฉพาะที่. วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, 29(1), 4 - 13.
- พชณี มีบัว และจิราวัลย์ จิตรถเวช. (2558). การจัดกลุ่มลูกค้าของบริษัทโลจิสติกส์ที่ให้บริการขนส่งตู้คอนเทนเนอร์ทางทะเลระหว่างประเทศ. วารสารวิทยาศาสตร์ มข., 43(2), 297 - 308.

- วันดี สุฉันทบุตร, สรวิชัย เยาวสุวรรณไชย, วัชรพจน์ ทรัพย์สงวนบุญ. (2556). การจัดกลุ่มผู้ส่งมอบด้วย Cluster Analysis เพื่อพัฒนาผู้ส่งมอบในธุรกิจค้าปลีก. *วารสารวิจัย มข. (ฉบับบัณฑิตศึกษา) สาขามนุษยศาสตร์ และสังคมศาสตร์*, 1(3), 72 - 85.
- สำนักงานสภาพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ. (2561). รายงานโลจิสติกส์ของประเทศไทย ประจำปี 2561 [ออนไลน์]. ค้นเมื่อ 20 มิถุนายน 2563, จาก : https://www.nesdc.go.th/ewt_dl_link.php?nid=9359.
- อรนุช ชัยหมื่น. (2548). การศึกษาเปรียบเทียบแบ่งกลุ่มข้อมูลลูกค้าสินค้าหัตถกรรมไทยโดยวิธีขั้นตอนของ SOM กับ K-Means Algorithm และ Hierarchical Clustering and K-Means Algorithm. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- Kuo, R. J., Ho, L. M., Hu, C. M. (2002). Integration of Self-Organizing Feature Map and K-Means Algorithm for Market Segmentation. *Computers & Operations Research*, 29(11), 1475 - 1493.
- Laporte, G. (1992). The Vehicle Routing Problem : An Overview of Exact and Approximate Algorithms. *European Journal of Operational Research*, 59(3), 345 - 358.
- Wichapa, N. and Khokhajaikiat, P. (2018). Solving a Multi-Objective Location Routing Problem for Infectious Waste Disposal Using Hybrid Goal Programming and Hybrid Genetic Algorithm. *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 9(1), 75 - 98.