การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะโดยใช้วิธีเคมีนและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย

The Waste Collection Vehicle Routing by Using K-means Method and Traveling Salesman Problem: A Case Study of Bandu Municipality, Muang Chiang Rai District, Chiang Rai Province

ชยากร พุทธกำเนิด*, เสกสรรค์ วินยางค์กูล, ประเวช อนันเอื้อ และ นคร ไชยวงศ์ศักดา

Chayakorn Putakamnerd*, Seksan Winyangkul, Prawet Ananaue and Nakorn Chaiwongsakda

โปรแกรมวิชาวิศวกรรมโลจิสติกส์และการจัดการ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย

Program of Logistics Engineering and Management, Faculty of Industrial Technology, Chiang Rai Rajabhat University

*Email: chayakorn.put@crru.ac.th

Received: July 23, 2021; Revised: October 29, 2021; Accepted: December 1, 2021

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะของเทศบาลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย และเปรียบเทียบเส้นทางที่ได้กับเส้นทางในปัจจุบัน การจัดเส้นทางจะทำการจัดกลุ่มก่อนโดยใช้ใช้วิธีเคมีนแล้วจัดเส้นทางภายในแต่ละกลุ่มโดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ข้อมูลที่ใช้ในการวิเคราะห์คือตารางระยะทาง พิกัดของจุดเก็บขยะ และปริมาณขยะในแต่ละจุด การจัดกลุ่มจากพิกัดของโหนดเก็บขยะจะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้วิธีเคมีน โดยกำหนดจำนวนของกลุ่มคือค่า K เท่ากับ 24 12 และ 6 ตามลำดับ โดยการกำหนดค่า K เท่ากับ 6 จะมีการแบ่งออกเป็น 2 ฝั่งคือฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของถนนพหลโยธิน ผลการศึกษาพบว่าการจัดกลุ่มโดยวิธีเคมีน ทั้ง 3 กรณีได้ระยะทางที่สั้นกว่าการจัดเส้นทางในปัจจุบัน วิธีที่ได้ระยะทางที่สั้นที่สุดคือ K เท่ากับ 6 โดยมีระยะทางที่สั้นกว่าวิธีปัจจุบัน 54.08 กิโลเมตร หรือ 13.66 %

คำสำคัญ: การแบ่งกลุ่มแบบเคมีน, การจัดเส้นทางเดินรถ, ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย

Abstract

This study aimed to establish a vehicle routing for the garbage truck in Bandu Municipality, Muang District, Chiang Rai Province and compared the route with the current situation. The K-means Method was employed to manage the paths then route within each group using traveling salesman problems. The distance matrix, location of the waste collection point, and the amount of waste at each node were taken into analysis. Grouping from the coordinates of the waste collection point is using a program that uses the K-means method. The number of groups or K-values are assigned equal to 24, 12, and 6, respectively.

Besides, the K-value equaled to 6 is divided into two groups: on the east and west of Phahonyothin Road. The results revealed that all three K-values groups were smaller than the current path. The shortest distance was from K equal to 6 that reduced 54.08 kilometers, or 13.66 % shorter than the current route.

Keywords: k-means clustering, vehicle routing problem, traveling salesman problems

1. บทนำ

เทศบาลตำบลบ้านดู่เป็น 1 ใน 16 ตำบลของอำเภอเมืองจังหวัดเชียงราย เป็นเทศบาลขนาดใหญ่ มีพื้นที่ 72 ตารางกิโลเมตร หรือประมาณ 44,375 ไร่ มีแหล่งท่องเที่ยวหลายแห่ง เช่น น้ำตกและน้ำพุร้อน อีกทั้งยังเป็นที่ตั้งของมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงราย ตลาดสด ห้างสรรพสินค้า บิ๊กซี แม็คโคร เมกาโฮม ศูนย์กระจายสินค้าธนพิริยะ โรงแรม หอพัก ร้านอาหาร และสนามบิน จากปัญหาในปัจจุบันของเทศบาลตำบลบ้านดู่ พบว่าในการเก็บขยะของทั้ง 19 หมู่บ้าน มีการดำเนินการจ้างพนักงานเก็บขยะ มีค่าใช้จ่ายค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และค่าบำรุงรักษารถเก็บขยะ โดยเส้นทางการเก็บขยะจะใช้ประสบการณ์ของเจ้าหน้าที่ในการจัดเส้นทาง ทำให้เส้นทางที่ได้อาจจะยังไม่เหมาะสม จึงส่งผลให้การจัดเก็บขยะอาจจะใช้ระยะเวลานานและมีระยะทางที่มาก ทำให้สูญเสียทั้งเวลาและงบประมาณ ประกอบกับปัจจุบันมีจำนวนบ้านที่เพิ่มขึ้นในพื้นที่อีกจำนวนมาก นอกจากนี้ทางเทศบาลกำลังอยู่ในช่วงของการดำเนินการจัดซื้อรถเก็บขยะคันใหม่อีก 1 คัน เพื่อทดแทนรถเก็บขยะคันเดิมที่มีสภาพเก่า ชำรุด และสามารถบรรทุกขยะได้ปริมาณน้อยเพียง 6 ลูกบาศก์เมตร และไม่สามารถอัดขยะได้ ทำให้ขนขยะในแต่ละครั้งได้ปริมาณน้อย ต้องทำการขนขยะหลายเที่ยว เสียเวลา มีระยะทางที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้มีค่าใช้จ่ายที่เพิ่ม โดยรถขนขยะคันใหม่จะสามารถบรรทุกขยะได้ 10 ลูกบาศก์เมตร และสามารถอัดขยะได้ ทำให้ต้องมีการปรับเส้นทางในการเก็บขยะใหม่ให้มีความเหมาะสมกับปริมาณที่รถแต่ละคันจะสามารถบรรทุกได้

ในการจัดเส้นทางเดินรถซึ่งเป็นปัญหาที่มีความซับซ้อน ไม่สามารถหาคำตอบที่ดีที่สุดในเวลาที่จำกัด จึงนิยมใช้วิธีการประมาณค่า ซึ่งได้แก่ฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิม และเมตาฮิวริสติกส์ ในส่วนของฮิวริสติกส์แบบดั้งเดิม เช่น อัลกอริทึมการสร้าง (Construction Algorithm) วิธีการแก้ปัญหาแบบลำดับขั้น (Sequential Improvement) และวิธีทูเฟส (Two-Phase) ซึ่งวิธีการทูเฟสนี้สามารถแบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ การจัดกลุ่มก่อนแล้วจัดเส้นทางทีหลัง (Cluster First-Route Second) และการจัดเส้นทางก่อนแล้วแบ่งกลุ่มทีหลัง (Route First-Cluster Second) [1] ตัวอย่างการศึกษาการจัดกลุ่มก่อนแล้วจัดเส้นทางทีหลังของการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะที่ช่วยปรับปรุงเส้นทางให้ดีขึ้น เช่น การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลและคลินิกในไต้หวันที่เฟสแรกประกอบด้วยการทำ Space Filling Curve Mapping การแบ่งพาร์ติชันที่เหมาะสมที่สุดโดยการเขียนโปรแกรมแบบไดนามิก (Dynamic Programming) และการปรับปรุงแบบ 2 ตัวเลือก (2-Opt Improvement) ในขณะที่เฟสที่สองกำหนดตารางเวลาเส้นทางอย่างเหมาะสมที่สุดผ่านการแก้แบบจำลองการเขียนโปรแกรมจำนวนเต็มผสม (Mixed Integer Programming) [2] การจัดเส้นทางยานพาหนะขนาดใหญ่สำหรับการจัดเก็บขยะในเมืองอเล็กซานเดรียในอียิปต์ การศึกษามีการแบ่งกลุ่มของโหนดเก็บขยะก่อนโดยใช้ GIS ที่ได้พัฒนาขึ้นในเฟสแรก และทำการจัดเส้นทางการเดินรถโดยซอฟท์แวร์ TransCAD® ในเฟสที่สอง [3] การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะในควาดาโซ ชานเมืองคูมาซี ประเทศกานา ใช้ออกอริทึม Vertex 1-Centre ในเฟสแรก และจัดเส้นทางโดยใช้วิธีการหาค่าที่เหมาะสมที่สดด้วยอาณานิคมมด (Ant Colony Optimization: ACO) ในเฟสที่สอง [4] นอกจากนี้ยังมีการศึกษาการจัดเส้นทางยานพาหนะที่มีข้อจำกัดด้านความจุ (Capacitated Vehicle Routing Problem: CVRP) ลูกค้าจะถูกจัดกลุ่มในเฟสแรกโดยใช้อัลกอริทึมการจัดกลุ่มที่แตกต่างกัน 3 แบบ คือ เคมีน (K-mean) เคมีดอยส์ (K-medoids) และการจัดกลุ่มแบบสุ่มโดยพิจารณาจากความจุของรถ เฟสที่สองจะจัดเส้นทางแต่กลุ่มโดยใช้อัลกอริทึมการแตกกิ่งและกำหนดขอบเขต (Branch and Bound Algorithm) [5] โดยวิธีเคมีนนี้เป็นวิธีหนึ่งที่นิยมใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อแบ่งกลุ่มของลูกค้า เพื่อหาแนวทางในการบริหารลูกค้าในแต่ละกลุ่มที่เหมาะสม

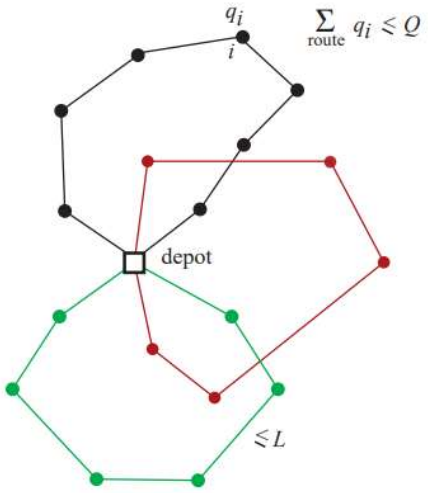
ผู้วิจัยจึงมีความสนใจในการจัดเส้นทางการเดินรถเก็บขยะ โดยการจัดการแบ่งพื้นที่ให้รถเก็บขยะใหม่ ซึ่งการจัดพื้นที่ให้เป็นกลุ่ม จะใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้วิธีเคมีน ซึ่งเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล หลังจากแบ่งกลุ่มจุดเก็บขยะแล้วจะทำการจัดเส้นทางภายในแต่ละกลุ่มโดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem : TSP) ซึ่งจะช่วยให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในแต่ละกลุ่ม โดยจะเปรียบเทียบกับเส้นทางในปัจจุบัน ซึ่งจะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดการขยะให้ดียิ่งขึ้น เพื่อตอบสนองความต้องการของเทศบาลและช่วยทำให้มีต้นทุนในการจัดการที่ต่ำลง

2. ทฤษฎีและหลักการ

2.1 ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP)

ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะ เป็นปัญหาที่ต้องการหาคำตอบว่าจะต้องใช้รถในการขนส่งกี่คัน แต่ละคันจะต้องไปส่งหรือไปหาลูกค้ารายใดบ้าง และมีลำดับในการเดินทางเป็นอย่างไร โดยมีข้อจำกัดในด้านต่างๆ ได้แก่ ประเภทของรถ ความจุหรือความสามารถในการบรรทุกของรถ ระยะเวลา ระยะทางในการขนส่ง ความต้องการในการขนส่ง และจำนวนจุดที่จอดรถหรือคลังสินค้า เป็นต้น

เมื่อปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะนี้ใช้รถคันเดียวเดินทางจากจุดเริ่มต้นไปหาลูกค้าทุกราย โดยให้ผ่านลูกค้าแต่ละรายแค่ครั้งเดียวแล้วกลับมายังจุดเดิมที่จุดเริ่มต้น จะเรียกว่าปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งเป็นปัญหาหนึ่งที่ได้รับความสนใจอย่างมากมาอย่างยาวนานต่อเนื่อง นักวิจัยได้ทำการศึกษาและพัฒนาวิธีการในการหาคำตอบให้ได้คำตอบที่ดีที่สุดในระยะเวลาที่รวดเร็ว เป็นปัญหาที่เกี่ยวกับพนักงานขายต้องการหาต้นทุนที่ต่ำที่สุดหรือระยะทางที่สั้นที่สุดในการเดินทางไปหาลูกค้าที่อยู่ในเมืองต่างๆ n เมือง ถึงแม้จากคำอธิบายของปัญหาการเดินทางของพนักงานขายที่เข้าใจได้ง่าย แต่การจะหาคำตอบที่ดีที่สุดยากมากโดยเฉพาะเมื่อจำนวนเมืองเพิ่มขึ้น ซึ่งโดยทั่วไปปัญหาที่มีจำนวน n เมือง จะมีเส้นทางที่เป็นไปได้ทั้งหมด (n - 1)! [6] จากรูปที่ 1 แสดงปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ ซึ่งเมื่อมีการจัดให้มีเพียงเส้นทางเดียว เดินทางไปทุกโหนดที่ต้องผ่านเพียงครั้งเดียว เริ่มและสิ้นสุดที่จุดเดียวกันในรูปคือคลัง (Depot) แล้วก็จะเป็นปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย



รูปที่ 1 ปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะ [7]

ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย สามารถกล่าวใน 2 รูปแบบ [8] คือ

1. จากเมทริกซ์ต้นทุน D = (d_{ij}) โดยที่ d_{ij} = ค่าใช้จ่ายในการเดินทางจากเมือง i ไปยังเมือง j (i, j = 1, 2, ... ,n) หาวิธีเรียงสับเปลี่ยน P = (i_1, i_2, i_3, ... , i_n) ของจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง n ที่ทำให้ค่านี้มีค่าที่ต่ำที่สุด

$$d_{i1}d_{i2} + d_{i2}d_{i3} + ...d_{in}d_{i1} \quad (1)$$

2. จากเมทริกซ์ต้นทุน D ข้างต้น กำหนด X_{ij} ที่ทำให้ Q มีค่าน้อยที่สุด โดย

$$\text{Minimize } Q = \sum_{ij} d_{ij}x_{ij} \quad (2)$$

ข้อจำกัด

$$X_{ii} = 0 \quad (3)$$

$$X_{ij} = 0 \ , \ 1 \quad (4)$$

$$\sum_i xij = \sum_j xij = 1 \quad (5)$$

สำหรับเซตย่อย S = {i_1, i_2, i_3, ... , i_r} ของจำนวนเต็มตั้งแต่ 1 ถึง n

$$x_{i1i2} + x_{i2i3} + ... + x_{i_{r-1}ir} \begin{cases} < r \ for \ r < n \\ \leq n \ for \ r = n \end{cases} \quad (6)$$

โดย สมการที่ (2) คือต้นทุนการเดินทางทั้งหมด

สมการที่ (3) จะไม่มีการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง i

สมการที่ (4) คือ หากมีการเดินทางจากเมือง i ไปเมือง j จะมีค่าเท่ากับ 1 ไม่มีการเดินทางจะมีค่าเท่ากับ 0

สมการที่ (5) คือ การเดินทางออกจากเมือง i ใดๆ ต้องมีค่าเท่ากับ 1 (เมืองใดเมืองหนึ่งเดินทางออกได้เพียงครั้งเดียว) และการเดินทางเข้าเมือง i ได้เพียงครั้งเดียว ก็จะต้องมีค่าเท่ากับ 1

สมการที่ 6) เป็นสมการป้องกันการเกิดการเดินทางย่อย (sub tour) การเกิดการเดินทางย่อยหมายความว่า การเดินทางเริ่มต้นจากเมืองใดเมืองหนึ่งแต่เดินทางไม่ครบ ทำให้มีหลายเส้นทาง แทนที่จะมีเส้นทางเดียว

2.2 การแบ่งกลุ่มวิธีเคมีน

เคมีนเป็นวิธีที่นิยมใช้ในการแบ่งกลุ่มข้อมูล โดยเปรียบเทียบความคล้ายคลึงของข้อมูล กับจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่ม (Cluster) หรือค่าเฉลี่ย (Mean) เป็นการแบ่งส่วน (Partitional Clustering) ด้วยการแบ่งข้อมูลออกเป็นส่วน ตามจำนวนกลุ่มที่ระบุ โดยมีขั้นตอนในการวิเคราะห์ดังนี้

1. กำหนดหรือสุ่มค่าเริ่มต้นจำนวนกลุ่ม K กลุ่ม และจุดศูนย์กลางเริ่มต้น K จุด
2. นำวัตถุทั้งหมดจัดเข้ากลุ่มที่มีจุดศูนย์กลางที่อยู่ใกล้วัตถุนั้นมากที่สุด โดยคำนวณจากการวัดระยะห่างระหว่างจุดที่น้อยที่สุด
3. คำนวณจุดศูนย์กลาง K จุดใหม่ โดยหาจากค่าเฉลี่ยทุกวัตถุที่อยู่ในกลุ่ม
4. ทำซ้ำในขั้นตอนที่ 2 จนกระทั่งจุดศูนย์กลางของแต่ละกลุ่มไม่เปลี่ยนแปลง

3. วิธีการวิจัย

3.1 เครื่องมือที่ใช้วิจัย

1. ตารางระยะทาง (Distance Matrix) ซึ่งใช้ในการบันทึกข้อมูลของระยะทางระหว่างแต่ละโหนดที่ได้จาก Google Map และใช้ในการบันทึกน้ำหนักของขยะในแต่ละจุดที่ได้จากการชั่งน้ำหนัก
2. แผนที่ของเทศบาลตำบลบ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย ใช้ในการกำหนดจุดที่เก็บขยะ และเส้นทางของรถขนขยะแต่ละคันของแต่ละวัน

3.2 การเก็บรวบรวมข้อมูล

1. ทำการสัมภาษณ์คุณสุนันทา ศรีปัญญา นักวิชาการสุขาภิบาล และคุณวัชรินทร์ เพ็งจันทร์เจ้าหน้าที่สาธารณสุขชำนาญงาน ฝ่ายบริหารงานสาธารณสุข กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อม เทศบาลตำบลบ้านดู่ อ.เมือง จ.เชียงราย เกี่ยวกับการบริหารจัดการขยะในปัจจุบันและแนวทางในอนาคต รวมทั้งการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะ ปริมาณและจุดที่ทำการจัดเก็บขยะในปัจจุบัน
2. เก็บรวบรวมข้อมูลโดยการสังเกตจากเส้นทางการเก็บขยะจริง และทำการเก็บข้อมูลจุดที่ทำการเก็บขยะ พร้อมทั้งทำการชั่งน้ำหนักของแต่ละจุด โดยจะทำการเก็บข้อมูลในวันจันทร์ อังคารและพุธ ของรถเก็บขยะคันที่ 1 – 4 โดยจะทำการเก็บข้อมูลจำนวน 2 ครั้ง ซึ่งการเก็บข้อมูลในวันดังกล่าวนี้เนื่องจากจะมีปริมาณขยะที่มากกว่ารอบวันพฤหัสบดี ศุกร์และเสาร์ โดยวันพฤหัสบดีเส้นทางจะเหมือนกับวันจันทร์ วันศุกร์เส้นทางจะเหมือนกับวันอังคาร วันเสาร์เส้นทางจะเหมือนกับวันพุธ หยุดวันอาทิตย์

3.3 การวิเคราะห์ข้อมูล

1. จากข้อมูลตำแหน่งและปริมาณขยะจากการเก็บข้อมูลทำการบันทึกข้อมูลลงในโปรแกรม Microsoft Excel ทำการคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยในการบรรทุกของรถแต่ละคันในแต่ละวัน
2. ทำการหาเมตริกซ์ระยะทาง (Distance Matrix) ซึ่งเป็นระยะทางระหว่างจุดเก็บขยะ 2 โหนด โดยที่โหนดจะมีการรวมเอาจุดเก็บขยะหลายๆจุดมารวมเข้าด้วยกัน เช่น หมู่บ้านจัดสรรและจุดที่อยู่บนถนนเดียวกัน เพื่อที่จะทำให้สามารถจัดเส้นทางได้ง่ายขึ้น โดยใช้ Google Map ช่วยในการหาระยะทาง
3. นำเอาพิกัดของแต่ละโหนดจากข้อ 2 มาจัดเส้นทางการเดินรถแบบใหม่ คือ การจัดเส้นทางโดยการแบ่งโซนพื้นที่ โดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่ใช้วิธีเคมีน ซึ่งจะกำหนดค่า K เท่ากับ 6 12 และ 24 (เส้นทางปัจจุบันมีเท่ากับ 12 เส้นทาง) โดยพิจารณาจากปริมาณขยะที่รถเก็บขยะแต่ละคันจะสามารถบรรทุกได้ และพิจารณาจัดสรรให้กับรถเก็บขยะที่ทำการจัดขยะในบริเวณนั้นก่อน โดยรถเก็บขยะแต่ละคันจะสามารถบรรทุกได้ ดังนี้

คันที่ 1 ไม่เกิน 4,000 กิโลกรัม

คันที่ 2 ไม่เกิน 5,200 กิโลกรัม

คันที่ 3 ไม่เกิน 4,600 กิโลกรัม

คันที่ 4 ไม่เกิน 2,400 กิโลกรัม

4. จากการจัดโซนพื้นที่ในข้อที่ 3 นำมาจัดเส้นทางการเดินรถในแต่ละโซนใหม่ โดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (TSP) สร้างสมการเป้าหมาย ข้อจำกัด ให้อยู่ในรูปแบบของโปรแกรมเชิงเส้นตรง และใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการหาคำตอบ

5. เปรียบเทียบการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะโดยการแบ่งโซนพื้นที่ที่ได้ทำการแบ่งใหม่ และเส้นทางในปัจจุบัน

6. อภิปรายและสรุปผลการศึกษา

4. ผลการวิจัย

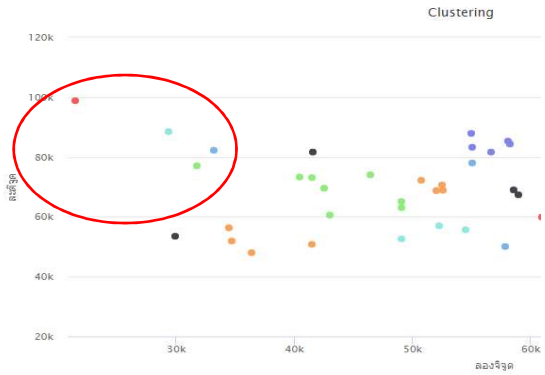
จากข้อมูลที่ได้จากเก็บรวบรวมข้อมูลจุดเก็บขยะกว่า 3,000 จุด ทำการคำนวณหาน้ำหนักเฉลี่ยในแต่ละจุด และการบรรทุกของรถแต่ละคันในแต่ละวัน ทำการรวมจุดเก็บขยะที่อยู่ใกล้กันหรืออยู่บนเส้นทางเดียวกันเป็นโหนด ดังตัวอย่างในรูปที่ 2 ที่ทำการรวมจุดเก็บขยะหลายๆจุดเป็นโหนดเดียว ซึ่งเมื่อทำทั้งหมดแล้วจะได้โหนดทั้งหมด 48 โหนด

รูปที่ 2 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 1 เส้นทางปัจจุบัน วันจันทร์ ตั้งแต่จุดที่ 1-16 ซึ่งจะรวมกันเป็นโหนดที่ 1

โดยตำแหน่งของโหนดจะจัดไว้ที่จุดศูนย์กลางของแต่ละพื้นที่ แล้วทำการหาละติจูดและลองติจูดของแต่ละโหนด หลังจากนั้นจะทำการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

กรณีที่ 1 จะนำโหนดทั้งหมดมาทำการแบ่งโซนพื้นที่แบบเคมีนโดยกำหนดค่า K = 24

ตัวอย่างการแบ่งกลุ่ม กรณีที่ 1 ครั้งที่ 1 โดยคำนึงถึงจุดที่มีสีเดียวกันก่อนและพิจารณาความจุของรถประกอบด้วย ซึ่งจุดที่ได้ในครั้งแรกนี้มีจำนวน 4 จุด คือ โหนดที่ 14, 15, 16 และ 19 ดังรูปที่ 3 เมื่อทำการพิจารณาปริมาณขยะของแต่ละจุดที่รถเก็บขยะจะสามารถบรรทุกได้แล้ว และเมื่อนำโหนดที่เหลือมารวมกันแล้วได้น้ำหนักตามข้อจำกัดของการบรรทุก คือ 4,000 กิโลกรัม ซึ่งจะเป็นจุดในการเก็บขยะของรถคันที่ 1 วันจันทร์ หลังจากนั้นจะหาคำตอบจากตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย โดยใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการหาคำตอบ จะได้เส้นทางคือ 0-15-14-16-0-16-19-0 โดยจะมีการเดินทางได้ 2 เที่ยว ซึ่งจะทำการจัดเส้นทางแบบนี้ทั้งหมด 12 ครั้ง



รูปที่ 3 การจัดเส้นทางกรณีที่ 1 ครั้งที่ 1

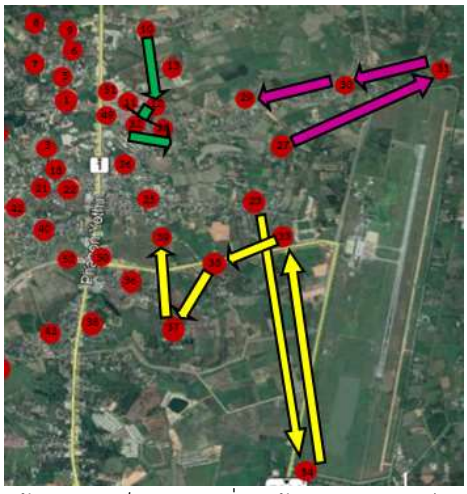
ในส่วนของตัวอย่างในการหาคำตอบ เช่น การจัดในครั้งที่ 3 จากกลุ่มที่ได้จากการจัดวิธีเคมีน จะนำมาหาลำดับในการเดินทางโดยใช้ Solver ใน Microsoft Excel ในการหาคำตอบทำการตั้งเซลล์เป้าหมาย คือผลรวมระยะทางที่สั้นที่สุด ใส่ข้อจำกัดคือจะมีการเดินทางไปแต่ละจุดเพียงแค่ครั้งเดียว และให้หาคำตอบโดยวิธี Evolutionary [6]

	ระยะทางระหว่างจุด						
จาก / ไป	0	23	33	34	35	37	39
0		8.70	10.00	14.10	11.00	9.90	8.40
23	8.30		0.75	4.30	1.80	3.10	1.70
33	10.10	0.75		3.60	1.10	2.50	1.50
34	12.70	4.30	3.60		4.70	6.10	6.00
35	8.40	1.80	1.10	5.60		1.80	0.80
37	8.80	5.40	2.50	7.70	1.80		1.90
39	7.60	1.70	1.50	5.60	0.80	3.70	

จาก	ไป	ระยะทาง
0	23	8.70
23	34	4.30
34	33	3.60
33	35	1.10
35	37	1.80
37	39	1.90
39	0	7.60

รูปที่ 4 การหาลำดับในการจัดเก็บขยะ (รูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย) ในโปรแกรม Microsoft Excel

จากรูปที่ 4 จุดที่ได้จากการแบ่งกลุ่มมีจำนวน 6 จุด คือ โหนดที่ 23, 33, 34, 35, 37 และ 39 ตามลำดับ ตามข้อจำกัดของการบรรทุก คือ 4,600 ซึ่งจะเป็นจุดในการเก็บขยะของรถคันที่ 3 วันจันทร์ หาคำตอบแล้วจะได้เส้นทางที่ทำการจัดเก็บ 2 เที่ยว คือ 0-23-34-33-35-37-39-0-39-0 จะได้เส้นทางเดินรถเก็บขยะใหม่ ดังรูปที่ 5 ที่เป็นตัวอย่างของเส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 และมีเส้นทางทั้งหมดของกรณีที่ 1 ดังตารางที่ 1



รูปที่ 5 เส้นทางรถเก็บขยะคันที่ 3 เส้นทาง วันจันทร์ (สีเหลือง) วันอังคาร (สีชมพู) และวันพุธ (สีเขียว) ที่ได้จากวิธีเคมีนกรณีที่ 1

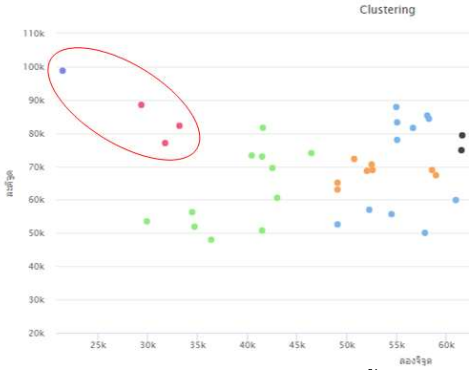
ตารางที่ 1 โหนดเก็บขยะ และปริมาณน้ำหนักของรถเก็บขยะแต่ละคันในแต่ละวัน กรณีที่ 1

วัน	รถคันที่	โหนดเก็บขยะ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
จันทร์	1	15-14-16-19	5,788.45
	2	1-5-6-8-9-7	10,109.05
	3	23-34-33-35-37-39	4,954.35
	4	42-40-41	3,263.40
อังคาร	1	20-17-24-2-4	4,685.30
	2	3-18-22-21	6,715.55
	3	27-31-30-29	6,146.00
	4	47-48-45-46-44	3,049.50
พุธ	1	25-26	7,064.00
	2	11-13	8,650.10
	3	10-12-32-28	5,067.70
	4	36-38-43	5,104.30

หมายเหตุ ถ้าน้ำหนักของขยะเกินกว่าความจุของรถเก็บขยะจะต้องมีการเดินทางมากกว่า 1 เที่ยว

กรณีที่ 2 การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะวิธีการแบ่งโซนพื้นที่ โดยกำหนดให้ค่า K เท่ากับ 12

จากรูปที่ 6 แสดงตัวอย่างการจัดกลุ่มของกรณีที่ 2 ในครั้งแรก ซึ่งจะได้กลุ่มของโหนดเหมือนในกรณีที่ 1 คือ โหนดที่ 14, 15, 16 และ 19 จึงได้เส้นทางในการเดินทางที่เหมือนกัน แต่จะเห็นว่ามีสีที่แตกต่างกันเพราะกำหนดค่า K ที่ไม่เหมือนกัน จึงทำให้มีเส้นทางอื่นๆ ที่แตกต่างกัน จากการวิเคราะห์ตามขั้นตอนในการศึกษาที่กล่าวมาจะได้เส้นทางในการเดินทางของรถเก็บขยะสำหรับกรณีที่ 2 ดังตารางที่ 2



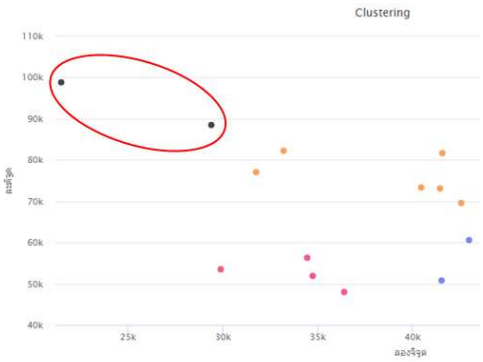
รูปที่ 6 การจัดเส้นทางกรณีที่ 2 ครั้งที่ 1

ตารางที่ 2 โหนดเก็บขยะ และปริมาณน้ำหนักของรถเก็บขยะแต่ละคันในแต่ละวัน กรณีที่ 2

วัน	รถคันที่	โหนดเก็บขยะ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
จันทร์	1	15-14-16-19	5,788.45
	2	1-5-6-8-9-7	10,109.05
	3	25-26	7,064.0
	4	20-17-24-2-4	4,685.30
อังคาร	1	3-18-22-21	6,715.55
	2	43-38-37-39-36-40-42	8,471.85
	3	32-28	4,072.0
	4	23-34-33-35	3,982.7
พุธ	1	12-13-10	2,600.8
	2	11	7,045.0
	3	27-31-30-29	6,146.0
	4	48-45-46-44-47-41	3,917.3

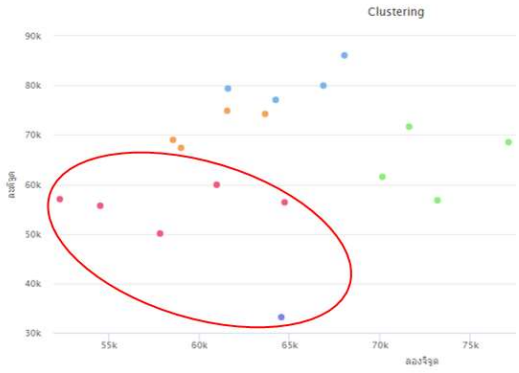
หมายเหตุ ถ้าน้ำหนักของขยะเกินกว่าความจุของรถเก็บขยะจะต้องมีการเดินทางมากกว่า 1 เที่ยว

กรณีที่ 3 การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะวิธีการแบ่งโซนพื้นที่ โดยกำหนดให้ค่า K เท่ากับ 6 และแบ่งโหนดเป็น 2 กลุ่ม คือ ฝั่งตะวันออกและตะวันตกของถนนพหลโยธิน



รูปที่ 7 การจัดเส้นทางกรณีที่ 3 ครั้งที่ 1 ฝั่งตะวันออกของถนนพหลโยธิน

จากรูปที่ 7 จุดที่ได้จากการแบ่งกลุ่มมีจำนวน 2 จุด คือ โหนดที่ 14-15 เมื่อทำการพิจารณาปริมาณขยะของแต่ละจุดที่รถเก็บขยะจะสามารถบรรทุกได้แล้ว ตามข้อจำกัดของการบรรทุก คือ 4,000 ซึ่งจะเป็นจุดในการเก็บขยะของรถคันที่ 1 วันจันทร์ จะมีการขนขยะจำนวน 1 เที่ยว จะได้เส้นทางคือ 0-15-14-0



รูปที่ 8 การจัดเส้นทางกรณีที่ 3 ครั้งที่ 1 กลุ่มฝั่งตะวันตกของถนนพหลโยธิน

จากรูปที่ 8 จุดที่ได้จากการแบ่งกลุ่มมีจำนวน 6 จุด คือ โหนดที่ 34, 35, 36, 37, 38 และ 39 เมื่อทำการพิจารณาปริมาณขยะของแต่ละจุดที่รถเก็บขยะจะสามารถบรรทุกได้แล้วตามข้อจำกัดของการบรรทุก คือ 2,400 ซึ่งจะเป็นจุดในการเก็บขยะของรถคันที่ 4 วันจันทร์ เมื่อทำการหาคำตอบลำดับในการเดินทางจากโปรแกรม Microsoft Excel แล้วจะได้เส้นทางในการเดินทางทั้งหมด 2 เที่ยว จะได้เส้นทางคือ 0-39-34-35-36-0-36-37-38-0 โดยเส้นทางในการเก็บขยะทั้งหมดของกรณีที่ 3 จะแสดงดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 โหนดเก็บขยะ และปริมาณน้ำหนักของรถเก็บขยะแต่ละคันในแต่ละวัน กรณีที่ 3

วัน	รถคันที่	โหนดเก็บขยะ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)
จันทร์	1	14-15	3,419.05
	2	1-5-6-8-9-7	10,109.05
	3	47-48-44-45-46-43-41	6,655.50
	4	39-34-35-36-37-38	4,425.95
อังคาร	1	3-18-22-21	6,715.55
	2	12-11-13-10	9,645.80
	3	29-27-33-23	7,040.5
	4	30-31	2,000.00
พุธ	1	19-16-4-24-17-20	5,816.95
	2	2-40-42	3,633.65
	3	32-28-26	6,383.00
	4	25	4,753.00

หมายเหตุ ถ้าน้ำหนักของขยะเกินกว่าความจุของรถเก็บขยะจะต้องมีการเดินทางมากกว่า 1 เที่ยว

เมื่อคำนวณระยะทางทั้งหมดในการจัดเก็บขยะในแต่ละวันของรถในแต่ละคัน ในแต่ละกรณี เปรียบเทียบกับการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะในปัจจุบัน จะพบว่าการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะของทั้ง 3 กรณีมีระยะทางที่สั้นกว่าเส้นทางในปัจจุบัน ดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 สรุประยะทางของเส้นทางเดินรถเก็บขยะของแต่ละคันในแต่ละวันของแต่ละกรณี

วัน	รถคันที่	ปัจจุบัน	กรณีที่ 1 K=24	กรณีที่ 2 K=12	กรณีที่ 3 K=6
จันทร์	1	25.90	21.10	21.10	13.50
	2	22.00	33.70	29.80	29.80
	3	36.30	45.00	30.50	31.40
	4	49.15	21.65	20.76	49.55
อังคาร	1	34.95	20.76	23.92	23.92
	2	11.00	24.72	39.10	36.80
	3	34.50	41.00	15.74	41.25
	4	27.90	28.45	52.90	22.50
พุธ	1	50.70	30.50	20.90	20.06
	2	12.65	33.10	31.80	13.15
	3	45.30	36.99	41.00	30.09
	4	45.55	49.30	26.95	29.80
รวม		395.90	386.27	354.47	341.82

5. สรุปผลและอภิปรายผล

จากผลการศึกษาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะใหม่โดยวิธีเคมีน 3 รูปแบบ ที่กำหนดให้ค่า K = 6, 12 และ 24 ได้ระยะทางที่สั้นกว่าเส้นทางเก็บขยะในปัจจุบัน โดยกรณีที่ 3 ที่กำหนดค่า K=6 จะได้ระยะทางที่ต่ำที่สุด โดยวิธีการแบ่งโซนพื้นที่แบบเคมีน กรณีที่ 1 K=24 จะสั้นกว่าเส้นทางปัจจุบัน 9.63 กิโลเมตร หรือสั้นกว่าคิดเป็น 2.43 % กรณีที่ 2 K=12 จะสั้นกว่าเส้นทางปัจจุบัน 41.43 กิโลเมตร หรือสั้นกว่าคิดเป็น 10.46 % และกรณีที่ 3 K=6 ที่มีการแบ่งเป็น 2 ส่วน คือฝั่งตะวันออกและตะวันตกของถนนพหลโยธินจะมีระยะทางที่สั้นที่สุด โดยสั้นกว่าเส้นทางปัจจุบัน 54.08 กิโลเมตร หรือสั้นกว่าคิดเป็น 13.66 %

จากผลการวิจัยทำให้เห็นว่า วิธีการจัดกลุ่มแบบเคมีนที่ใช้พิกัดของโหนดจุดเก็บขยะที่เป็นละติจูดและลองติจูดมาช่วยในการจัดกลุ่มนั้นสามารถช่วยในการจัดกลุ่มได้เป็นอย่างดี นอกจากนี้การจัดเส้นทางในแต่ละกลุ่มโดยใช้ตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขายจะทำให้ได้ระยะทางที่สั้นที่สุดในแต่ละเส้นทาง และสามารถใช้โปรแกรม Microsoft Excel ในการหาคำตอบได้ แต่จะใช้ได้ในกรณีที่ปัญหามีขนาดเล็กเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาในครั้งนี้ขนาดของจำนวนโหนดที่สูงสุดในการจัดเส้นทางมีขนาดเท่ากับ 8 (รวมโหนดจุดทิ้งขยะ) ในขณะที่การแบ่งกลุ่มที่กำหนดให้ค่า K=6 จะได้ระยะทางที่สั้นที่สุด โดยมีการแบ่งฝั่งตะวันออกและฝั่งตะวันตกของถนนพหลโยธินฝั่งละ 6 กลุ่มรวมเป็น 12 กลุ่ม ก็เพราะจำนวนกลุ่มนี้เท่ากับกับเส้นทางที่ต้องการจะจัดให้กับรถเก็บขยะคือ 12 เส้นทาง และการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ก่อนจะช่วยให้ได้ระยะทางที่สั้นขึ้นเพราะการข้ามไปอีกฝั่งถนนจะต้องมีการเดินทางไปยังจุดกลับรถทำให้มีระยะทางที่เพิ่มขึ้น และถ้าหากมีการเก็บขยะหลายรอบก็ยิ่งทำให้ระยะทางเพิ่มขึ้นมาก โดยงานวิจัยนี้สอดคล้องกับการศึกษาในการจัดเส้นทางเดินรถที่ใช้วิธีจัดกลุ่มก่อนจัดเส้นทางทีหลังมาช่วยในการแก้ปัญหาซึ่งจะทำให้ได้ระยะทางในการดำเนินการที่สั้นลงกว่าการดำเนินการในปัจจุบัน ส่งผลต่อค่าใช้จ่ายที่ลดลงด้วย [2-6]

ในส่วนของข้อเสนอแนะที่ได้จากการศึกษาในครั้งนี้คือทางเทศบาลตำบลบ้านดู่ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงราย ควรจะทำการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะใหม่ทั้งหมด ไม่ควรนำเอารถที่ได้มาใหม่ไปทดแทนในเส้นทางใดเส้นทางหนึ่ง เพราะความสามารถในการบรรทุกของรถคันใหม่สามารถบรรทุกได้มากกว่าเดิมมาก และข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไปจะมีดังต่อไปนี้

1. ในส่วนของการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะ ในการศึกษาครั้งนี้มีจุดเก็บขยะทั้งหมดกว่า 3,000 จุด แล้วทำการรวมจุดต่างๆ ให้เหลือที่ 48 โหนด ซึ่งถ้าหากมีการรวมจุดให้ละเอียดกว่านี้ คือมีจำนวนโหนดมากขึ้น อาจจะทำให้การจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะได้ดีกว่า นอกจากนี้ในการศึกษาในครั้งนี้ได้ใช้ข้อจำกัดของการบรรทุกโดยใช้น้ำหนักของจุดเก็บขยะในแต่ละจุด โดยไม่ได้คำนึงถึงปริมาตร และความหนาแน่นของขยะ ซึ่งจะส่งผลต่อการจัดเส้นทางและระยะทางในการเดินทางได้ จึงควรมีการศึกษาเพิ่มเติมในการจัดเส้นทางที่มี 2 ปัจจัยนี้ร่วมด้วย

2. ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะสามารถที่จะใช้วิธีในการจัดเส้นทางพาหนะหรือวิธีฮิวริสติกส์อื่น รวมถึงวิธีในการการจัดกลุ่มแบบอื่นมาใช้ในการจัดเส้นทาง เพื่อเพิ่มทางเลือกการตัดสินใจให้มากขึ้นแล้วนำมาเปรียบเทียบกับคำตอบที่ได้ว่าวิธีใดมีประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางที่ดีกว่า

6. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ได้สนับสนุนงบประมาณในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้จากงบประมาณแผ่นดินปี พ.ศ. 2561 และงบรายได้ปี พ.ศ. 2562

7. เอกสารอ้างอิง

[1] H. Han and E. Ponce Cueto, "Waste collection vehicle routing problem: literature review," *PROMET-Traffic&Transportation,* vol. 27, no. 4, pp. 345-358, 2015.

[2] L.-H. Shih and H.-C. Chang, "A routing and scheduling system for infectious waste collection," *Environmental Modeling & Assessment,* vol. 6, no. 4, pp. 261-269, 2001.

[3] A. Moustafa, A. Abdelhalim, A. Eltawil, and N. Fors, "Waste collection vehicle routing problem: case study in Alexandria, Egypt," in *The 19th international conference on industrial engineering and engineering management*, 2013, pp. 935-944.

[4] D. Otoo, S. Amponsah, and C. Sebil, "Capacitated clustering and collection of solid waste in kwadaso estate, Kumasi," *Journal of Asian Scientific Research,* vol. 4, no. 8, pp. 460-472, 2014.

[5] S. E. Comert, H. R. Yazgan, S. Kır, and F. Yener, "A cluster first-route second approach for a capacitated vehicle routing problem: a case study," *International Journal of Procurement Management,* vol. 11, no. 4, pp. 399-419, 2018.

[6] C. Ragsdale, *Spreadsheet modeling and decision analysis: a practical introduction to business analytics* (revised 5th ed.), South Western College, 2007, pp. 385-389.

[7] G. Laporte, "Fifty years of vehicle routing," *Transportation science,* vol. 43, no. 4, pp. 408-416, 2009.

[8] S. Lin, "Computer solutions of the traveling salesman problem," *Bell System Technical Journal,* vol. 44, no. 10, pp. 2245-2269, 1965.