

การจัดเส้นทางรถเก็บขยะ :  
กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา  
Truck Routing for Waste Collection: A Case Study of Tha Ruea  
District, Phra Nakhon Si Ayutthaya Province

กนกกรรณ ลีโรจนประภา<sup>1\*</sup> จินณพัต ทองมาก<sup>1</sup> ธนภรณ์ ดิษฐา<sup>1</sup> และ กิตติวัฒน์ สิริเกษมสุข<sup>2</sup>  
Kanogkan Leerojanaprapa<sup>1\*</sup> Jinnapat Thongmak<sup>1</sup> Thanaporn Disada<sup>1</sup> and Kittiwat Sirikasemsuk<sup>2</sup>  
<sup>1</sup>ภาควิชาสถิติ คณะวิทยาศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง กรุงเทพฯ ประเทศไทย  
<sup>2</sup>ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
กรุงเทพฯ ประเทศไทย

<sup>1</sup>Department of Statistics, School of Science, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang,  
Bangkok, Thailand

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, School of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology  
Ladkrabang, Bangkok, Thailand

วันที่ส่งบทความ : 2 มิถุนายน 2566 วันที่แก้ไขบทความ : 15 พฤษภาคม 2567 วันที่ตอบรับบทความ : 19 พฤษภาคม 2567

Received: 2 June 2023, Revised: 15 May 2024, Accepted: 19 May 2024

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการเก็บขยะมูลฝอยในชุมชนเป็นงานที่ต้องดำเนินการเป็นประจำ และเป็นหนึ่งในภารกิจที่จำเป็นต้องเพิ่มประสิทธิภาพ โดยเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา ต้องการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเส้นทางเก็บขยะมูลฝอย ดังนั้นวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้เพื่อเสนอการจัดเส้นทาง การเก็บขยะมูลฝอยที่เหมาะสม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ 1 การจัดเส้นทางใหม่โดยใช้ โชนเส้นทางเดิม 4 โชน (โชน A - D) และกรณีที่ 2 การรวมโชนเส้นทางเป็น 2 โชน (โชน E และ F) ก่อนทำ การจัดเส้นทางใหม่ โดยนำเสนอการเปรียบเทียบระยะทางของเส้นทางเดิมกับการจัดเส้นทางทั้ง 4 วิธี ได้แก่ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving algorithm) วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest neighbor algorithm) วิธี การเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) และวิธีโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ผล การศึกษาพบว่า ในกรณีแรกวิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลการจัดเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดในทุกโชน และได้เส้นทางเดียวกันกับการจัดเส้นทางด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการในโชน C โดยแต่ละโชนสามารถลดระยะทาง รวมลงได้ 0.25 กิโลเมตร 1.67 กิโลเมตร 0.72 กิโลเมตร และ 0.7 กิโลเมตร ตามลำดับ สำหรับกรณีที่ 2 ใช้ การรวมโชนเส้นทาง โดยทำการรวมโชน A และ B ให้เป็นโชน E และรวมโชน C และ D ให้เป็นโชน F ผล การศึกษาพบว่า วิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลการจัดเส้นทางที่มีระยะทางที่สั้นที่สุดทั้ง 2 โชน ซึ่งสามารถลด

\*ที่อยู่ติดต่อ E-mail address: kanogkan.le@kmitl.ac.th

<https://doi.org/10.55003/scikmitl.2024.259221>

เส้นทางลงได้ 16.51 กิโลเมตร และ 15.39 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 43.54 และ 38.15 ตามลำดับ ทำให้สามารถลดระยะทางรวมจาก 78.27 กิโลเมตร เหลือ 46.37 กิโลเมตรต่อวัน ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 40.76

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางเดินรถ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ วิธีโปรแกรมเชิงเส้น

## Abstract

At present, waste collection is a routine and one of the major municipal functions that needs to improve efficiency. Tha Ruea Subdistrict of Phra Nakhon Si Ayutthaya Province aims to improve efficiency of the vehicle routing of garbage trucks. Therefore, the objective of this research is to suggest the optimal route by dividing this study into two scenarios: Scenario 1: re-route based on four original route zones (A - D zone) and Scenario 2: combining into 2 route zones (E and F zone) before re-routing. This research compared the original transport routes with the Nearest neighbor algorithm, Saving algorithm, Evolutionary algorithm, and Linear programming method. The results concluded that in the first scenario, the Linear programming approach provides the shortest routes in all zones and shows the same route based on Evolutionary algorithm for C zone by reducing the total distance by 0.25, 1.67, 0.72, and 0.7 kilometers, respectively. For Scenario 2, use routing zone integration by merging zones A and B into route E zone and combining zones C and D into route F zone. The study found that the Linear programming approach results in the shortest route in both zones, which can be reduced from the original route by 16.51 kilometers and 15.39 kilometers, or by 43.54% and 38.15% respectively. The total distance was reduced from 78.27 kilometers to 46.37 kilometers per day or decreased by 40.76%.

**Keywords:** Vehicle routing, Saving algorithm, Nearest neighbor algorithm, Evolutionary algorithm, Linear programming method

## 1. บทนำ

ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากขยะมูลฝอยมีหลายประการ โดยเฉพาะปัญหาที่เกิดจากการกำจัดปริมาณขยะมูลฝอยในปริมาณมากแต่ยังถูกนำมากำจัดอย่างไม่ถูกวิธี โดยพบว่าในปี พ.ศ. 2565 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอย 25.70 ล้านตัน ในจำนวนนี้มีสัดส่วนของขยะที่กำจัดไม่ถูกต้องถึง 27.63% [1] ปัญหาขยะเป็นปัญหาที่มีความสำคัญต่อชุมชนเมืองที่มีคนอยู่ด้วยกันจำนวนมาก ซึ่งส่งผลให้มีปริมาณขยะมากตามไปด้วย ปัญหาการจัดการขยะมูลฝอยจึงมีบทบาทสำคัญในด้านสุขอนามัยโดยเฉพาะ

ชุมชนเมือง เช่น ในพื้นที่ในเขตเทศบาลมีการดำเนินการจัดเก็บขยะมูลฝอยจากครัวเรือนหรือชุมชนไปยังจุดกำจัดขยะที่อาจเป็นพื้นที่ห่างจากบริเวณชุมชนจึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญและต้องดำเนินการอย่างสม่ำเสมอเพื่อไม่ให้มีขยะตกค้างและสร้างมลพิษในชุมชน ในการเก็บขยะแต่ละวันมักพบเป็นการตั้งจุดรวมขยะมูลฝอยในสถานที่ต่าง ๆ โดยการกำหนดจุดรวบรวบขยะตามจำนวนครัวเรือนที่อยู่ตำแหน่งใกล้เคียงกัน และใช้จุดรวมขยะเป็นแนวทางในการกำหนดเส้นทางการเก็บขยะของรถแต่ละคัน

ในปี พ.ศ. 2564 เทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา มีจำนวนประชากรทั้งสิ้น 6,368 คน ประกอบด้วยชาย 2,969 คน และหญิง 3,399 คน จากจำนวนบ้านพักอาศัยทั้งสิ้น 3,229 หลัง ซึ่งนับว่ามีจำนวนประชากรมากเป็นอันดับที่ 22 จากทั้งหมด 230 ตำบลในจังหวัดพระนครศรีอยุธยา [2] โดยเทศบาลมีหน้าที่ในการเก็บขยะมูลฝอยภายในเขตที่รับผิดชอบทั้งสิ้น 3 ตารางกิโลเมตร ในแต่ละวันจะนำรถบรรทุกขยะไปจัดเก็บขยะตามจุดรวมขยะในเขตเทศบาล ก่อนนำไปยังสถานที่ฝังกลบขยะแล้วจึงนำรถบรรทุกขยะกลับมายังจุดจอดรถที่กองสาธารณสุข เทศบาลตำบลท่าเรือ โดยมีรอบการเก็บขยะเป็นประจำทุกวัน เทศบาลตำบลท่าเรือใช้รถบรรทุกขยะแบบอัดท้ายจำนวน 3 คัน และรถกระบะจำนวน 1 คัน ในปัจจุบันเส้นทางของรถเก็บขยะมูลฝอยในเขตเทศบาลตำบลท่าเรือ กำหนดโซนการจัดเก็บขยะและกำหนดเส้นทางในการเดินรถเป็น 4 โซนตามประสิทธิภาพของพนักงานขับรถ คิดเป็นระยะทางรวมทั้งสิ้น 78.27 กิโลเมตร และปริมาณขยะรวม 8,063 กิโลกรัม หากคำนวณเกณฑ์สิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกขยะที่ใช้ใช้น้ำมัน 3 กิโลเมตรต่อลิตร ที่ราคาน้ำมันดีเซล 32.44 บาทต่อลิตร จะทำให้มีค่าใช้จ่ายด้านน้ำมันคิดเป็น 846.40 บาทต่อวัน หรือคิดเป็น 25,392 บาทต่อเดือน แต่จากการวิเคราะห์พบว่ารถบรรทุกขยะแบบอัดท้ายสามารถบรรทุกได้ 6,000 กิโลกรัม และยังบรรทุกน้ำหนักได้ไม่เต็มประสิทธิภาพที่กำหนด ดังนั้นงานวิจัยนี้มีจุดประสงค์เพื่อเสนอแนวทางการจัดเส้นทางการเก็บขยะให้แก่ทางเทศบาลฯ ต่อไป

สำหรับงานวิจัยนี้เลือกใช้วิธีการจัดเส้นทางการเดินรถที่มีในงานวิจัยต่าง ๆ โดยเน้นการกำหนดวิธีที่ใช้ได้ง่ายและเป็นที่ยอมรับ เพื่อให้เทศบาลอื่น ๆ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการจัดเส้นทางการเดินรถเก็บขยะต่อไปได้ เช่น งานวิจัยของ นคร ไชยวงศ์ศักดา และคณะ [3] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving algorithm) และโปรแกรมเชิงเส้น (Linear programming) ในขณะการศึกษาของ กิตติ์วี สุขชา และคณะ [4] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งวัสดุก่อสร้างด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีการเชิงพันธุกรรม (Generic algorithm) นอกจากนี้ ญัฎฐกานต์ เพลามี และคณะ [5] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางการขนส่งสินค้าด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด (Nearest neighbor algorithm) และณัฐนิชา รุ่งโรจน์ ชัชวาล และคณะ [6] เปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถเก็บขนขยะมูลฝอยภายในมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่ ด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary algorithm) ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำ 4 วิธีที่ใช้จากงานวิจัยต่าง ๆ ซึ่งได้แก่ วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ และวิธีโปรแกรมเชิงเส้น เพื่อทำการเปรียบเทียบและนำเสนอผลการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางรถจัดเก็บขยะที่เหมาะสมต่อไป

## 2. วิธีดำเนินการวิจัย

### 2.1 แนวคิดและทฤษฎีเกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางรถ (Vehicle Routing Problem: VRP)

ปัญหาการจัดเส้นทางรถ เป็นปัญหาที่ได้รับความสนใจและมีการศึกษากันอย่างกว้างขวาง รวมถึงมีความซับซ้อนใกล้เคียงกับปัญหาที่พบได้ในสถานการณ์จริง ซึ่งตัวแบบปัญหาที่ถูกพิจารณาแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มของปัญหาที่มีลักษณะเป็นแบบ Deterministic หมายถึงปัญหาที่ต้องทราบข้อมูลที่จำเป็นเบื้องต้นก่อนดำเนินการจัดเส้นทาง หรือกล่าวได้ว่าต้องทราบค่าข้อมูลที่แน่นอน และกลุ่มของปัญหาที่มีลักษณะเป็นแบบ Stochastic เป็นปัญหาที่ไม่ทราบค่าข้อมูลที่แน่นอน และเนื่องจากการวิจัยนี้เป็นปัญหาปริมาณขยะในชุมชนที่มีผู้อยู่อาศัยเป็นประจำและมีจำนวนคงที่ ทำให้มีปริมาณขยะค่อนข้างใกล้เคียงกันทุกวัน การเลือกใช้การแก้ปัญหาด้วยวิธี Deterministic จึงเหมาะสมกับปัญหานี้

ปัญหา VRP เป็นปัญหาที่เกิดขึ้นจริงในธุรกิจที่ต้องมีการส่งสินค้า ทำให้มีการพัฒนาวิธีสำหรับการค้นหาคำตอบของเส้นทางรถอยู่ได้หลากหลายวิธีแต่คำตอบที่ได้รับแต่ละวิธีอาจแตกต่างกัน ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับลักษณะปัญหาและรายละเอียดของแต่ละกรณีศึกษา และพบว่าปัญหาพื้นฐานของการจัดเส้นทางรถที่รู้จักวิธีหนึ่งคือ ปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย (Traveling Salesman Problem: TSP) ซึ่งเป็นปัญหาเช่นเดียวกับการเดินทางออกจากจุดเริ่มต้นไปยังเมืองต่าง ๆ จำนวน  $n$  เมือง โดยเดินทางไปเยี่ยมเมืองต่าง ๆ เพียงครั้งเดียว และเมื่อเดินทางครบทุกเมืองแล้วจะเดินทางกลับมายังจุดเริ่มต้น นอกจากนี้ได้มีการจำแนกวิธีการแก้ปัญหา VRP ออกเป็น 3 กลุ่ม [7] ได้แก่ วิธีการแม่นยำตรง (Exact method) เป็นวิธีการที่ทำให้ได้ค่าที่ดีที่สุด แต่อาจมีข้อจำกัดสำหรับปัญหาที่มีขนาดใหญ่ เพราะต้องใช้เวลาและทรัพยากรในการประมวลผลค่อนข้างมาก จึงมีทางเลือกที่ 2 คือ วิธีการฮิวริสติกส์ (Heuristics) ซึ่งถึงแม้จะไม่สามารถรับประกันได้ว่าจะได้คำตอบที่ดีที่สุดแต่ใช้เวลาสั้นกว่า และสุดท้ายคือ วิธีการจำลองปัญหา (Simulation) ที่ใช้กับปัญหาที่มีความไม่แน่นอน เช่น ปริมาณไม่แน่นอน หรือมีระยะเวลาในการให้บริการไม่แน่นอน เป็นต้น

สำหรับปัญหาการจัดเส้นทางรถบรรทุกขยะในครั้งนี้ เป็นปัญหาชนิดที่มีจุดเริ่มต้นเดียว (Single origin) คือ บริเวณที่จอดรถในเขตเทศบาล และพบว่ามีปริมาณขยะในเขตเทศบาลแบบคงที่และทราบค่าแน่นอน เพราะเป็นชุมชนเมืองที่มีจำนวนผู้พักอาศัยส่วนใหญ่เป็นคนในพื้นที่ จึงเลือกกลุ่มวิธีฮิวริสติกส์ประกอบด้วย วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งเป็นการออกแบบมาให้ง่ายต่อการแก้ปัญหาเพื่อหาค่าที่เหมาะสมเฉพาะปัญหานั้น ๆ และจัดเป็นวิธีที่มีประสิทธิภาพสูง ใช้เวลาในการแก้ปัญหาไม่มากนักแต่อาจไม่ได้คำตอบที่ดีที่สุด เพื่อนำมาเปรียบเทียบกับวิธีโปรแกรมเชิงเส้นที่เป็นวิธีในกลุ่มวิธีแม่นยำตรงที่สามารถให้คำตอบที่ดีที่สุด อีกทั้งเป็นวิธีที่เหมาะสมสำหรับการแก้ปัญหาที่มีขนาดเล็ก ได้อย่างมีประสิทธิภาพ แต่ใช้เวลาในการประมวลผลมาก [8] ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงได้นำเสนอการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถจัดเก็บขยะมูลฝอยของทั้ง 4 วิธี เพื่อนำเสนอวิธีการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่สุดให้กับเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาต่อไป

### 2.2 อัลกอริทึมแบบประหยัด

Clark และ Wright [9] เสนอแนวคิดอัลกอริทึมแบบประหยัดซึ่งเป็นทฤษฎีที่เป็นที่ยอมรับในการจัดการปัญหาการขนส่งยานพาหนะ โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** กำหนดให้ "0" คือ จุดเริ่มต้นของจุดจอดรถขยะ

**ขั้นตอนที่ 2** กำหนดตำแหน่งให้แก่จุดรวมขยะ  $i$  และ  $j$  ( $i, j$ ) เพื่อเชื่อมโยงเส้นทาง และคำนวณค่าประหยัด (Saving) ด้วยสมการที่ (1)

$$S_{ij} = d_{0i} + d_{0j} - d_{ij} \quad (1)$$

โดยที่

$S_{ij}$  = ระยะทางที่ประหยัดได้เมื่อวิ่งรถรอบเดียว ระหว่างจุดรวมขยะ  $i$  และ  $j$

$d_{0i}$  = ระยะทางจากจุดจอดรถขยะไปยังจุดรวมขยะ  $i$

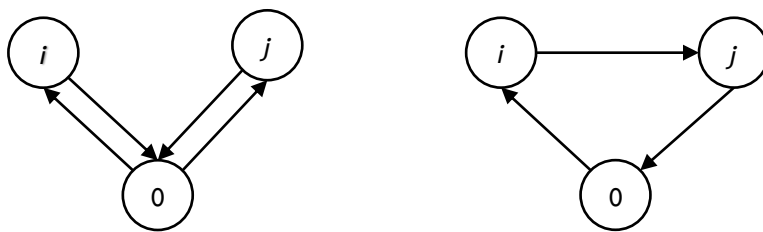
$d_{0j}$  = ระยะทางจากจุดรวมขยะ  $j$  กลับไปยังจุดจอดรถขยะ

$d_{ij}$  = ระยะทางจากจุดรวมขยะ  $i$  ไปยังจุดรวมขยะ  $j$

$i$  และ  $j$  = จุดรวมขยะจุดต้นทาง และจุดปลายทาง

0 = จุดจอดรถขยะ

ตัวอย่าง พิจารณาการส่งจากจุด “0” ถ้าใช้รถ 1 คันวิ่งเก็บขยะใน 2 จุด ( $i$  และ  $j$ ) ได้ 2 รูปแบบ แสดงดังรูปที่ 1



รูปที่ 1. การรวมจุดเก็บขยะเข้าด้วยกัน

จะเห็นได้ว่าการจัดเส้นทางตามรูปขวามือเป็นการเดินทางในเที่ยวเดียวกัน ทำให้ระยะทางทั้งหมดลดลงกว่ารูปทางซ้ายมือ โดยสามารถคำนวณค่าระยะทางที่ประหยัดได้  $S_{ij}$  ได้จากสมการที่ (2)

$$\begin{aligned} S_{ij} &= 2d_{0i} + 2d_{0j} - [d_{0i} + d_{0j} + d_{ij}] \\ &= d_{0i} + d_{0j} - d_{ij} \end{aligned} \quad (2)$$

ค่า Saving ที่ได้ คือ ระยะทางที่สามารถลดได้หากวิ่งรถวนระหว่างจุดรวมขยะก่อนกลับมายังจุดเริ่มต้น

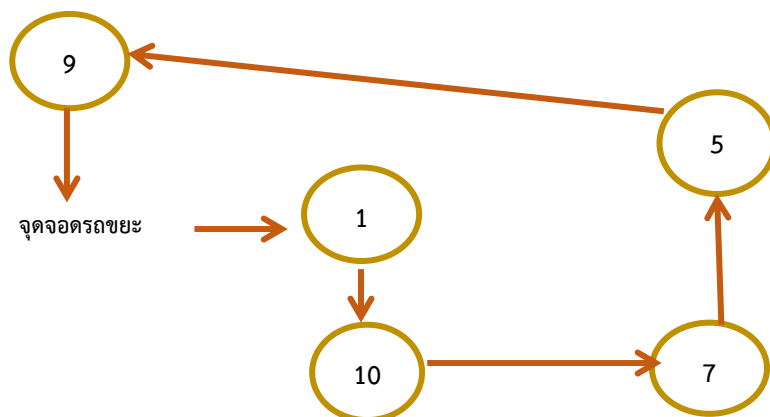
**ขั้นตอนที่ 3** หลังจากคำนวณระยะทางประหยัดครบทุกตำแหน่งแล้ว ให้เรียงลำดับค่า  $S_{ij}$  จากมากไปน้อย

**ขั้นตอนที่ 4** สร้างเส้นทางโดยเชื่อมจุด  $i$  ไป  $j$  ที่มีค่า  $S_{ij}$  มากที่สุด

**ขั้นตอนที่ 5** ทวนซ้ำจนกระทั่งไม่สามารถเชื่อมโยงเส้นทางได้อีก

### 2.3 วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

Hurkens และ Woeginger [10] ได้นำวิธีการหาคำตอบที่ใกล้ที่สุดมาใช้ในการจัดการปัญหาการขนส่งยานพาหนะ โดยเลือกจุดที่ใกล้ที่สุดเป็นจุดส่งถัดไป แสดงดังรูปที่ 2



รูปที่ 2. ตัวอย่างการจัดเส้นทางด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด เป็นวิธีการค้นหาจุดส่งที่อยู่ใกล้จุดส่งสุดท้ายมากที่สุด โดยเลือกเส้นทางที่มีระยะทางรวมน้อยที่สุดตามรูปที่ 2

โดยมีขั้นตอนในการดำเนินงานดังนี้

- ขั้นตอนที่ 1 เริ่มจากจุดเริ่มต้นที่ต้องการ โดยกำหนดระยะทางเริ่มต้นเดินทางเท่ากับศูนย์ในทุกเส้นทาง
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกเส้นทางที่มีระยะทางสั้นที่สุดจากจุดเริ่มต้นที่เลือก
- ขั้นตอนที่ 3 เลือกจุดใกล้กับจุดปลายทางในขั้นตอนที่ 2 ไปยังจุดที่ใกล้ที่สุดเป็นจุดถัดไป
- ขั้นตอนที่ 4 รวมระยะการเดินทางเป็นระยะการเดินทางรวมของเส้นทางนั้น
- ขั้นตอนที่ 5 ทำตามขั้นตอนที่ 2 ถึง 4 จนกระทั่งเลือกครบทุกจุด จากนั้นเลือกเส้นทางที่มีค่าต่ำที่สุด

### 2.4 วิธีการเชิงวิวัฒนาการ

วิธีการเชิงวิวัฒนาการ เริ่มต้นจากแนวคิดการพัฒนาจากวิธีพันธุกรรม (Genetic algorithm) ด้วยวิธีการแลกเปลี่ยนโครโมโซม เป็นการคำนวณหาคำตอบที่เหมาะสมในเวลาที่ยากัดแบบเมตาฮิวริสติก มีขั้นตอนการทำงานดังนี้ [11]

- ขั้นตอนที่ 1 การกำหนดประชากรเริ่มต้นที่มาจากค่าของข้อมูลนำเข้าโมเดล เลือกผลการประเมินที่ใกล้เป้าหมายมากที่สุดจากกลุ่มแรก ที่เรียกว่า “Population”
- ขั้นตอนที่ 2 เลือกผลการประเมินที่ใกล้เป้าหมายมากที่สุดจากกลุ่มแรกมาสร้างประชากรกลุ่มที่ 2 ที่เรียกว่า “Offspring”

**ขั้นตอนที่ 3** นำประชากรกลุ่มที่ 2 ที่เรียกว่า “Offspring” ทำให้เกิดการกลายพันธุ์ “Mutation” จนทำให้มีสมาชิกใหม่ในรุ่นถัดไป ซึ่งเป็นขั้นตอนที่ทำให้ได้รุ่นถัดไปที่มีคุณภาพดีกว่าประชากรกลุ่มแรกที่เกิดจากขั้นตอนที่ผ่านมา

**ขั้นตอนที่ 4** ประเมินความเหมาะสมแต่ละสมาชิก

**ขั้นตอนที่ 5** คัดเลือกสมาชิกที่ดีเพื่อนำมาใช้เป็นประชากรเริ่มต้นในรุ่นถัดไป

จากวิธีการขั้นตอนพบว่า การแลกเปลี่ยนโครโมโซมจากการสืบพันธุ์และการกลายพันธุ์ เป็นวิธีการในการสร้างโอกาสให้เกิดประชากรใหม่เพื่อใช้ในการประเมินค่าความเหมาะสม วิธีการนี้ถูกดำเนินการไปจนกว่าจะได้คำตอบที่เหมาะสมภายในระยะเวลาที่กำหนดหรือเงื่อนไขการหยุดที่กำหนดไว้ นอกจากนั้นพบว่าวิธีการเชิงวิวัฒนาการนี้ถูกนำมาใส่ไว้ในโปรแกรมสำเร็จรูปไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล (Microsoft Excel) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสม (Optimization) ด้วยฟังก์ชัน Evolutionary ในเครื่องมือโซลเวอร์ (Solver) ซึ่งฟังก์ชันดังกล่าวพัฒนามาจากวิธีการเชิงพันธุกรรม

## 2.5 วิธีโปรแกรมเชิงเส้น

วิธีโปรแกรมเชิงเส้นเป็นเทคนิคที่ประยุกต์ใช้อย่างหลากหลายในสายงานด้านการวิจัยดำเนินงานเพื่อแก้ปัญหาด้านการดำเนินงานและนำไปสู่การตัดสินใจด้วยวิธีการดำเนินงานที่เหมาะสมที่สุด (Optimal) ภายใต้ข้อจำกัดที่กำหนดขึ้น เช่น ข้อจำกัดด้านทรัพยากร เป็นต้น

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในรูปแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย เป็นอีกปัญหาหนึ่งที่สามารถแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมเชิงเส้นตรงได้ โดยวิธีดังกล่าวจัดเป็นการแก้ปัญหาด้วยวิธีการแม่นยำ ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้วิธีการแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Linear Programming) โดยการกำหนดตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเดินทางของพนักงานขายไว้ดังนี้ [7]

สมการเป้าหมาย :

$$\text{Min } \sum_i \sum_j c_{ij} x_{ij} \quad (3)$$

เงื่อนไข :

$$\sum_j x_{ij} = 1 \quad (4)$$

$$\sum_i x_{ij} = 1 \quad (5)$$

$$\sum_i \sum_j x_{ij} \leq |S| - 1; \quad S \subset V, \quad 2 \leq |S| \leq n - 2 \quad (6)$$

$$x_{ij} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \quad (7)$$

ตัวแปรตัดสินใจ :

$$\text{โดยที่ } x_{ij} = \begin{cases} 1 & \text{เมื่อมีการเดินทางจาก } i \text{ ไป } j \\ 0 & \text{เมื่อมีการเดินทางจาก } i \text{ ไป } j \end{cases}$$

---

|                                 |                                              |
|---------------------------------|----------------------------------------------|
| $i$ และ $j = 1, 2, 3, \dots, k$ |                                              |
| $c_{ij}$                        | แทน ต้นทุนการเดินทางจากจุด $i$ ไปจุด $j$     |
| $S$                             | แทน จำนวนจุดที่อยู่ในเส้นทางที่ต้องผ่าน      |
| $V$                             | แทน จำนวนจุดทั้งหมด                          |
| $n$                             | แทน จำนวนจุดที่อยู่ในเส้นทางที่ทัวร์ย้อนกลับ |

สมการเป้าหมายกำหนดเพื่อให้ได้ต้นทุนที่ต่ำที่สุดในการเดินทางจากโหนด  $i$  ไปโหนด  $j$  ซึ่งในที่นี้แทนต้นทุนด้วยระยะทางระหว่างโหนดที่กำหนดแสดงด้วยสมการที่ (3) การเดินทางออกจากเมือง  $i$  ใด ๆ ออกได้เพียงครั้งเดียว (กำหนดโดยให้ผลรวมค่า  $x_{ij}$  ที่มาจาก  $i$  เดียวกันต้องมีค่าเท่ากับ 1) ตามที่กำหนดไว้ในสมการที่ (4) และมีการเดินทางเข้าเมือง  $i$  ได้เพียงครั้งเดียว ดังที่กำหนดในสมการที่ (5) อีกทั้งยังมีการกำหนดเงื่อนไขเพื่อป้องกันการเกิดการเดินทัวร์ย่อย (Sub tour) ดังสมการที่ (6) การเกิดการเดินทัวร์ย่อยหมายความว่า การเดินทางเริ่มต้นจากจุดใดจุดหนึ่งแต่เกิดการย้อนกลับมาโหนดเดิมทั้งที่ยังเดินทางไม่ครบทุกจุด จึงทำให้ไม่เป็นไปตามเงื่อนไขที่แต่ละจุดผ่านได้เพียงครั้งเดียว และเงื่อนไขสุดท้ายคือการกำหนดค่า  $x_{ij}$  ที่มีค่าได้เพียง 2 ค่า คือ 0 และ 1 โดยจะมีค่าเป็น 1 เมื่อในเส้นทางมีการเดินทางจากโหนด  $i$  ไปโหนด  $j$  ดังกำหนดในสมการที่ (7)

## 2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากวิธีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางขนส่งมีทั้งงานวิจัยที่เกี่ยวกับการจัดเส้นทางรถขนส่งทั่วไปและการจัดเส้นทางรถขนขยะ ซึ่งมักเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางด้วยเทคนิคต่าง ๆ ดังนี้

ในกลุ่มการจัดเส้นทางขนส่งสินค้ามีการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทาง เพื่อหาเส้นทางที่ให้ระยะทางที่สั้นที่สุด เช่น Kosasih และ Salomon [12] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และ Farthest insert algorithms พบว่าวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดสามารถให้ระยะทางที่สั้นกว่าวิธี Farthest insert algorithms โดยสามารถลดระยะทางจากเส้นทางที่ใช้ในปัจจุบันลงได้ ร้อยละ 40.12 หรืองานวิจัยของ เกศินี สื่อนิ [13] ทำการเปรียบเทียบวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดในการจัดเส้นทางขนส่งสินค้า พบว่า วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดสามารถหาเส้นทางที่สั้นกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด โดยทั้ง 2 วิธีสามารถลดระยะทางจากเส้นทางที่ใช้ในปัจจุบันลงได้ร้อยละ 58.42 และ 57.37 ตามลำดับ นอกจากนี้ พิชญ์ พันธุ์พิพัฒน์ และเปรมพร เขมาวุฒม์ [14] ทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางรถบรรทุกที่มีต้นทางในการขึ้นสินค้าที่หลากหลาย โดยทำการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด พบว่าวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดสามารถจัดเส้นทางได้สั้นที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดทั้งแบบ 3 ช่วงและ 4 ช่วง ผลจากการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางทั้ง 2 วิธี จึงเห็นได้ว่าวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดให้ผลดีกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

อย่างไรก็ตามมีบางงานวิจัยที่สนับสนุนว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดให้ผลการจัดเส้นทางที่สั้นกว่าวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด เช่น การศึกษาของ สันต์ภพ กรุดเที่ยง และวรินทร์ วงษ์มณี [15] ได้ศึกษาการวางแผน

และพัฒนาเส้นทางการเดินทางไปตรวจสอบหน่วยผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยการจัดเส้นทางให้เหมาะสม เพื่อช่วยลดต้นทุนในการเดินทางและเพิ่มประสิทธิภาพในการตรวจสอบหน่วยผลิตคอนกรีต ผลจากการศึกษาพบว่า วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดให้ผลดีกว่าวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และยิ่งพบว่า การปรับปรุงเส้นทางการเดินทางด้วยวิธีดังกล่าว สามารถช่วยลดระยะทางเมื่อเทียบกับวิธีการจัดเส้นทางแบบเดิมคิดเป็นร้อยละ 48.24 และ 33.90 ตามลำดับ การจัดเส้นทางแบบการหาคำตอบด้วยวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดใช้เวลา 40 วันในการเดินทางต่อปี คิดเป็นระยะทาง 3,803.20 กิโลเมตร ส่วนการจัดเส้นทางแบบอัลกอริทึมแบบประหยัดใช้เวลา 36 วันในการเดินทางต่อปี คิดเป็นระยะทาง 2,978.24 กิโลเมตร แต่ก็ยังไม่ดีกว่าวิธีการจัดเส้นทางแบบแบ่งกลุ่ม A-B-C ที่ใช้เวลา 26 วันในการเดินทางต่อปี คิดเป็นระยะทาง 2,341.54 กิโลเมตร นอกจากนี้ ญัฐกานต์ เพลามี และคณะ [5] ได้ทำการศึกษากระบวนการจัดส่งสินค้าและเส้นทางการขนส่งสินค้า โดยการเปรียบเทียบวิธีการหาเส้นทางที่ดีที่สุดด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ผลการศึกษาพบว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดให้ผลดีกว่าวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด จึงนำวิธีดังกล่าวไปพัฒนาโปรแกรมการจัดเส้นทางขนส่งสินค้ากรณีศึกษาบริษัท ส. อำโพธิ์ ทรานสปอร์ต และทดสอบความแตกต่างของค่ากลางของสองประชากรแบบไม่เป็นอิสระ (Paired t-test) และสามารถสรุปได้ว่ามีค่าเฉลี่ยของผลต่างของระยะทางจากการใช้โปรแกรมการจัดเส้นทางและเส้นทางที่ใช้ในปัจจุบันแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ที่ระดับนัยสำคัญ 0.05

นอกจากนี้การเปรียบเทียบวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดแล้ว ยังมีการนำวิธีเชิงวิวัฒนาการมาเปรียบเทียบในการจัดเส้นทางการเก็บขยะมูลฝอย ดังเช่น กรรณิการ์ ศรีพนมวรรณ และคณะ [16] ได้ทำการศึกษาแบบการเก็บขยะมูลฝอยขององค์การบริหารส่วนตำบลหนองกบ จังหวัดราชบุรี ด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการทำให้ลดระยะทางลงได้ 6.75 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ นอกจากนี้ ญัฐณิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล และคณะ [6] ได้ศึกษาเส้นทางรถเก็บขนขยะภายใน มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ โดยคณะผู้วิจัยได้ทำการเก็บข้อมูลปริมาณขยะจากจุดรวบรวมขยะต่าง ๆ และข้อมูลระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะทั้งหมดภายในมหาวิทยาลัย เพื่อใช้ในการหาเส้นทางใหม่ในการเดินทางรถเก็บขนขยะด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการที่อยู่ในโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล โซลเวอร์ (Microsoft Excel Solver) ผลการศึกษาพบว่ากรณีการเดินทางเพียง 1 เส้นทาง วิธีการเชิงวิวัฒนาการให้เส้นทางที่มีระยะทางรวมที่สั้นที่สุด สามารถลดระยะทางจากเดิม 19.632 กิโลเมตร เหลือเพียง 12.418 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 36.75 สำหรับกรณีการเดินทาง 2 เส้นทาง พบว่าวิธีการเชิงวิวัฒนาการให้กลุ่มเส้นทางที่มีผลรวมระยะทางที่น้อยที่สุด สามารถลดระยะทางรวมเหลือ 13.69 กิโลเมตรต่อวัน มีระยะทางลดลง 5.94 กิโลเมตรต่อวัน คิดเป็นร้อยละที่ลดลง 30.27 อีกทั้งเส้นทางดังกล่าวมีส่วนภาระงาน (ระยะทางในแต่ละเส้นทาง) ที่มีความสมดุลกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้บางงานวิจัยอาจเลือกศึกษาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะโดยเลือกวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดเพียงวิธีเดียว เช่น งานวิจัยของ ภคพร ผงทอง [17] ได้ทำการศึกษาและวางแผนเส้นทางรถขนส่งขยะของเทศบาลเมืองบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โดยหลังปรับปรุงโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด มีระยะทางรวมลดลง 14.5 กิโลเมตร หรือลดลงร้อยละ 1.43

นอกจากการจัดเส้นทางรถเดินทางทั้งเส้นทางทั่วไปและเส้นทางรถเก็บขยะมูลฝอย ยังมีการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ มาเปรียบเทียบกับ

วิธีการแก้ปัญหาเชิงเส้น เช่น นคร ไชยวงศ์ศักดา และคณะ [3] ได้ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด และตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย ซึ่งใช้วิธีการ Branch and Bound หรือ Cutting Plane ในการแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้น โดยการแบ่งพื้นที่ในการให้บริการเป็น 2 โซนก่อนนำมาจัดเส้นทาง โดยพบว่าวิธีที่ให้ระยะทางที่สั้นที่สุดในแต่ละเส้นทางคือ การจัดเส้นทางโดยตัวแบบปัญหาของพนักงานขายทำให้ระยะทางลดลงกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดร้อยละ 4.16

นอกจากการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางด้วยวิธีการที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ยังมีวิธีการจัดเส้นทางในกลุ่มเมตาฮิวริสติกที่เป็นที่นิยม ที่สามารถนำมาใช้แก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่ซับซ้อนและมีข้อจำกัดที่หลากหลาย โดยมีการเปรียบเทียบวิธีการต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในงานวิจัยต่าง ๆ ตามการศึกษาของ Kamsopa และคณะ [18] อีกทั้งมีการใช้เทคนิคอื่น ๆ เช่น อาณานิคมมด (Ant Colony Optimization) มาใช้ในการศึกษา เช่น การศึกษาของ Bell และ McMullen [19] นอกจากนี้ยังมีการนำวิธีพันธุกรรมร่วมกับอัลกอริทึมแบบอื่น ๆ ที่ให้ผลการศึกษาที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพของโมเดลในการจัดเส้นทางทั้งด้านเวลาที่ใช้ และเพิ่มผลตอบแทนหากนำแนวทางการจัดเส้นทางดังกล่าวไปใช้งาน ซึ่งเห็นได้ว่าวิธีการดังกล่าวเหมาะกับปัญหาการจัดเส้นทางที่มีความซับซ้อนมาก ๆ

อย่างไรก็ตามสำหรับงานวิจัยนี้เป็นการจัดเส้นทางที่กำหนดเงื่อนไขปริมาณและจุดจัดเก็บขยะที่ไม่เปลี่ยนแปลงและสามารถนำเป็นแนวทางไปใช้สำหรับเทศบาลอื่นได้ ด้วยเหตุนี้ทางผู้วิจัยจึงได้นำวิธีการทั้ง 4 วิธี ซึ่งประกอบด้วย วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีเชิงวิวัฒนาการ และวิธีโปรแกรมเชิงเส้น มาทำการเปรียบเทียบเพื่อนำเสนอเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยที่เหมาะสมให้กับเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยาต่อไป

## 2.7 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ในงานวิจัยนี้ได้แบ่งการดำเนินงานวิจัยออกเป็น 6 ขั้นตอน ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** ศึกษาข้อมูลวิธีการดำเนินงานในเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา เช่น เส้นทางและรอบการจัดเก็บขยะ รวมทั้งเงื่อนไขในการจัดเก็บขยะในปัจจุบัน เป็นต้น

**ขั้นตอนที่ 2** สืบหาข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับการจัดเก็บขยะ เก็บข้อมูลเส้นทางเดินรถบรรทุกขยะและปริมาณน้ำหนักรวบรวมขยะจากจุดรวบรวมขยะต่าง ๆ ภายในเทศบาลตำบลท่าเรือ และระยะทางระหว่างจุดรวบรวมขยะ เพื่อนำมาสร้างเป็นเมตริกซ์ระยะทางโดยใช้แผนที่จาก Google Map พิจารณาร่วมกับการจราจรและความเป็นไปได้ในการใช้เส้นทาง

**ขั้นตอนที่ 3** บันทึกข้อมูลระยะทางแต่ละจุดด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล เพื่อเตรียมข้อมูลในการคำนวณการจัดเส้นทางด้วยวิธีการต่าง ๆ

**ขั้นตอนที่ 4** จัดเส้นทางใหม่ภายในขอบเขตตามที่เทศบาลกำหนด ด้วยวิธีการจัดเส้นทางทั้ง 4 วิธี

### 1. วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด

วิธีนี้สามารถนำระยะทางระหว่างจุดรวมขยะที่กำหนดไว้ มาคำนวณค่าประหยัดด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล แสดงการคำนวณดังสมการที่ (1)

## 2. วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด

เริ่มต้นโดยเลือกจุดที่จะต้องเดินทางต่อจากจุดเริ่มต้นที่มีระยะทางสั้นที่สุด จากนั้นหาจุดถัดไปด้วยการเลือกระยะทางจากจุดก่อนหน้าที่สั้นที่สุด ทำวนซ้ำจนครบทุกจุด โดยสามารถแก้ปัญหาด้วยโปรแกรมไมโครซอฟท์ เอกซ์เซล

## 3. วิธีการเชิงวิวัฒนาการ

วิธีนี้ใช้โปรแกรมไมโครโมโครซอฟท์ เอกซ์เซล โซลเวอร์ แก้ปัญหาฟังก์ชันเชิงวิวัฒนาการ โดยกำหนดฟังก์ชันเป้าหมายเพื่อหาระยะทางรวมที่สั้นที่สุด

## 4. วิธีโปรแกรมเชิงเส้น

วิธีนี้ใช้โปรแกรมโปรแกรม Python เพื่อแก้ปัญหาโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็ม โดยมีขั้นตอนการหาคำตอบให้เป็นไปตามวิธีในกระบวนการโปรแกรมเชิงเส้น ในหัวข้อ 2.5 รายละเอียดดังสมการที่ (3) – (7) พร้อมการกำหนดเงื่อนไขการป้องกันการเกิดปัญหาการเกิดตัวร่อย ดังนี้

### 1) การกำหนดสมการเป้าหมายเพื่อหาระยะทางต่ำที่สุด

$$\text{model.objective} = \text{minimize}(\text{xsum}(c[i][j]*x[i][j] \text{ for } i \text{ in } V \text{ for } j \text{ in } V))$$

### 2) การกำหนดเงื่อนไขที่จะเดินทางออกจากแต่ละโหนดได้เพียง 1 ครั้ง

for i in V:

$$\text{model} += \text{xsum}(x[i][j] \text{ for } j \text{ in } V - \{i\}) == 1$$

### 3) การกำหนดเงื่อนไขที่จะเดินทางเข้าแต่ละโหนดได้เพียง 1 ครั้ง

for i in V:

$$\text{model} += \text{xsum}(x[j][i] \text{ for } j \text{ in } V - \{i\}) == 1$$

### 4) ป้องกันการเกิดการเดินตัวร่อย

for (i, j) in product(V - {0}, V - {0}):

if i != j:

$$\text{model} += y[i] - (n+1)*x[i][j] \geq y[j]-n$$

### 5) เรียกดูผลลัพธ์

$$\text{model.optimize}()$$

**ขั้นตอนที่ 5** รวมโหนดเส้นทางใหม่ ก่อนจัดเส้นทางที่เหมาะสมด้วยวิธีการจัดเส้นทางทั้ง 4 วิธี

**ขั้นตอนที่ 6** เปรียบเทียบเพื่อหาเส้นทางที่สั้นที่สุด ทั้งรูปแบบแบ่ง 4 โหนดเส้นทาง (ตามที่เทศบาลกำหนดไว้เดิม) และ 2 โหนดเส้นทาง (รวมโหนด) เพื่อนำเสนอแนวทางการจัดเส้นทางที่เหมาะสม พร้อมวิเคราะห์ความคุ้มค่าจากการเปลี่ยนเส้นทาง

## 3. ผลการวิจัยและวิจารณ์

ผลการวิจัยนำเสนอข้อมูลเส้นทางในปัจจุบัน และผลการจัดเส้นทางใน 2 แนวทาง แนวทางที่ 1 เป็นการจัดเส้นทางในโหนดเส้นทางที่กำหนดไว้เดิม โดยแบ่งเป็น 4 โหนดเส้นทาง โหนด A เป็นบริเวณเทศบาลส่วนกลาง โหนด B ครอบคลุมพื้นที่ฝั่งตะวันออก โหนด C ครอบคลุมพื้นที่ฝั่งตะวันตก และโหนด D ครอบคลุมพื้นที่ด้านใต้ โดยแสดงพื้นที่โหนดต่าง ๆ และการจัดเส้นทางใหม่หลังการรวมโหนดเส้นทางเข้าไว้ด้วยกัน เพื่อ

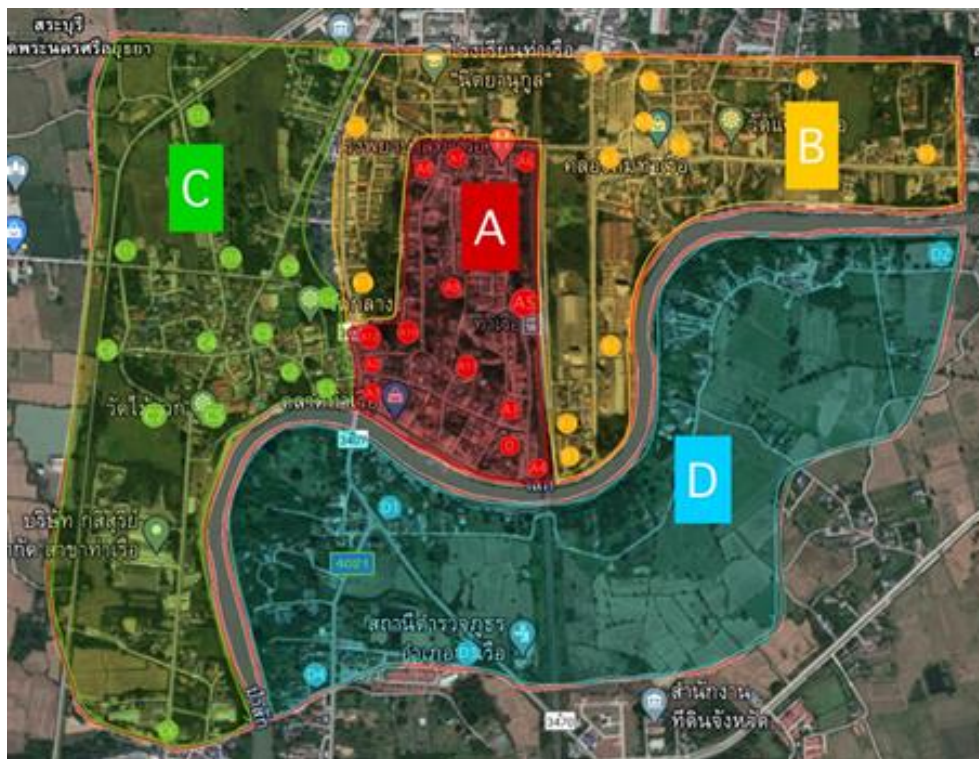
เปรียบเทียบการจัดเส้นทางที่เหมาะสมโดยใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ และวิธีโปรแกรมเชิงเส้น ภายใต้ข้อจำกัดด้านทรัพยากรที่มีอยู่เพื่อให้เกิดประสิทธิภาพในการดำเนินงานสูงสุด

### 3.1 ผลการวิเคราะห์ข้อมูลเส้นทางปัจจุบัน

เส้นทางที่พนักงานขับรถบรรทุกทุกขยะใช้อยู่ปัจจุบันที่มีทั้งหมด 4 เส้นทาง แบ่งเป็น โซนเส้นทาง A และ B มีจุดรวมขยะเท่ากันคือ 12 จุด โซน C มีจุดรวมขยะ 14 จุด และโซน D มีจุดรวมขยะ 4 จุด ซึ่งทำการเก็บขยะ 7 วัน/สัปดาห์ ใช้พนักงานทั้งหมด 12 คน โดยแบ่งเป็นคันละ 3 คน (พนักงานขับรถบรรทุกทุกขยะ 1 คน พนักงานเก็บขยะ 2 คน) ใช้รถบรรทุกขยะแบบอัดท้ายขนาดความจุ 6,000 กิโลกรัม จำนวน 3 คัน และรถกระบะขนาดความจุ 3,000 กิโลกรัม จำนวน 1 คัน รถทุกคันต้องนำขยะไปทิ้งยังสถานที่ฝังกลบที่อยู่ไกลจากชุมชน ประมาณ 14 กิโลเมตร แสดงดังรูปที่ 3 และแบ่งโซนการจัดเก็บขยะในปัจจุบันแสดงได้ดังรูปที่ 4 นอกจากนี้ยังสรุประยะทางของเส้นทางในปัจจุบันในแต่ละโซนไว้ดังตารางที่ 1 และนำเสนอจุดรวมขยะและเส้นทางในการเก็บขยะของทั้ง 4 โซน ดังรูปที่ 5 – 8 ตามลำดับ



รูปที่ 3. จุดจอดรถขนขยะและบ่อกำจัดขยะ



รูปที่ 4. เส้นทางเก็บขยะทั้ง 4 โซน

ตารางที่ 1. ข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถบรรทุกขยะมูลฝอยในปัจจุบัน

| โซนเส้นทาง | ความจุ (กก.) | จำนวนจุด | ระยะทาง (กม.) | น้ำหนัก (กก.) |
|------------|--------------|----------|---------------|---------------|
| A          | 6,000        | 12       | 17.40         | 2,261         |
| B          | 6,000        | 12       | 20.52         | 2,434         |
| C          | 6,000        | 14       | 20.35         | 2,232         |
| D          | 3,000        | 4        | 20.00         | 1,136         |
| รวม        |              | 42       | 78.27         | 8,063         |



รูปที่ 5. เส้นทางเดินรถปัจจุบันในโซน A



รูปที่ 6. เส้นทางเดินรถปัจจุบันในโซน C



รูปที่ 7. เส้นทางเดินรถปัจจุบันในโซน B

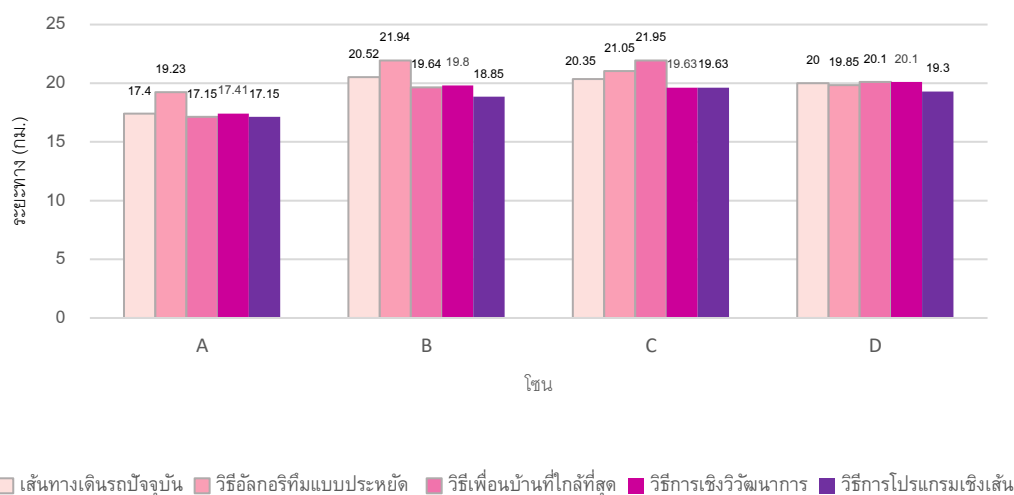
รูปที่ 8. เส้นทางเดินรถปัจจุบันในโซน D

จากตารางที่ 1 และรูปที่ 8 ทำให้เห็นได้ว่าเส้นทางที่ทางเทศบาลใช้เก็บขยะในปัจจุบันสำหรับโซน D อยู่ไกลจากโซนอื่น และเป็นจุดที่มีชุมชนไม่หนาแน่น โดยมีถนนกั้นระหว่างโซน D และโซนอื่น ๆ ดังนั้นทาง

เทศบาลจึงเลือกใช้รถกระบะขนาดเล็กเข้าดำเนินการเก็บขยะเพื่อให้เกิดความคล่องตัว จึงทำให้สามารถบรรทุกขยะได้น้อยกว่ารถที่ใช้ในโซน A โซน B และ โซน C ที่มีจำนวนจุดรวมขยะและน้ำหนักขยะใกล้เคียงกัน อีกทั้งยังพบว่าโซน A ครอบคลุมพื้นที่น้อยกว่าโซนอื่นเนื่องจากเป็นจุดที่เป็นชุมชนหนาแน่น นอกจากนี้เมื่อพิจารณาน้ำหนักรวมของการจัดเก็บขยะแต่ละโซนตามตารางที่ 1 พบว่าน้ำหนักขยะต่ำกว่าความจุของรถบรรทุก จึงเป็นจุดที่สามารถเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางในการเก็บขยะใหม่ให้กับเทศบาลต่อไปได้

### 3.2 ผลการจัดเส้นทางใหม่ภายในโซนตามที่เทศบาลกำหนด

ผลการเปรียบเทียบการจัดเส้นทางใหม่ภายใน 4 โซนเดิมตามที่เทศบาลกำหนดไว้ พบว่าการจัดเส้นทางด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นมีระยะทางรวม 74.93 กิโลเมตร ซึ่งมีระยะทางรวมที่ต่ำที่สุด รองลงมาคือวิธีการเชิงวิวัฒนาการมีระยะทางรวม 76.94 กิโลเมตร วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดมีระยะทางรวม 77.75 กิโลเมตร และวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัต์มีระยะทางรวม 82.07 กิโลเมตร แสดงผลการจัดเส้นทางได้ดังตารางที่ 2 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบการจัดเส้นทางในการเก็บขยะของเส้นทางที่เทศบาลใช้ในปัจจุบันมีระยะทางรวมอยู่ที่ 78.27 กิโลเมตร (ดังตารางที่ 1) จึงทำให้ทราบว่าวิธีการจัดเส้นทางด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น วิธีการเชิงวิวัฒนาการ และวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด ให้ผลการจัดเส้นทางที่ดีกว่าเส้นทางปัจจุบัน แต่วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัต์ให้ระยะทางรวมที่มากกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน



รูปที่ 9. เปรียบเทียบระยะทางการเดินรถของทั้ง 4 โซนเส้นทาง

การเปรียบเทียบระยะทางในแต่ละโซนเส้นทางแสดงผลการเปรียบเทียบดังรูปที่ 9 พบว่า การจัดเส้นทางด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ระยะทางที่สั้นที่สุด โดยเส้นทางในโซน A วิธีโปรแกรมเชิงเส้นสามารถลดระยะทางจากเส้นทางปัจจุบัน 17.40 กิโลเมตร เหลือ 17.15 กิโลเมตร (ลดลง 0.25 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 1.44%) เส้นทางในโซน B สามารถลดระยะทางจากเส้นทางปัจจุบัน 20.52 กิโลเมตร เหลือ 18.85 กิโลเมตร (ลดลง 1.67 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 8.14%) สำหรับเส้นทางในโซน C สามารถลดระยะทางจาก

เส้นทางปัจจุบันจาก 20.35 กิโลเมตร เหลือ 19.63 กิโลเมตร (มีค่าลดลง 0.72 กิโลเมตร หรือคิดเป็น 3.54%) ในโซนเส้นทางนี้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ระยะทางและเส้นทางเดียวกับการจัดเส้นทางด้วยวิธีเชิงวิวัฒนาการ และเส้นทางในโซน D สามารถลดระยะทางจากเส้นทางปัจจุบันจาก 20.00 กิโลเมตร เหลือ 19.30 กิโลเมตร (มีค่าลดลง 0.7 กิโลเมตร หรือคิดเป็นร้อยละ 3.5)

ตารางที่ 2. ผลการจัดเส้นทางการเก็บขยะทางตามโซนที่เทศบาลกำหนดไว้เดิม

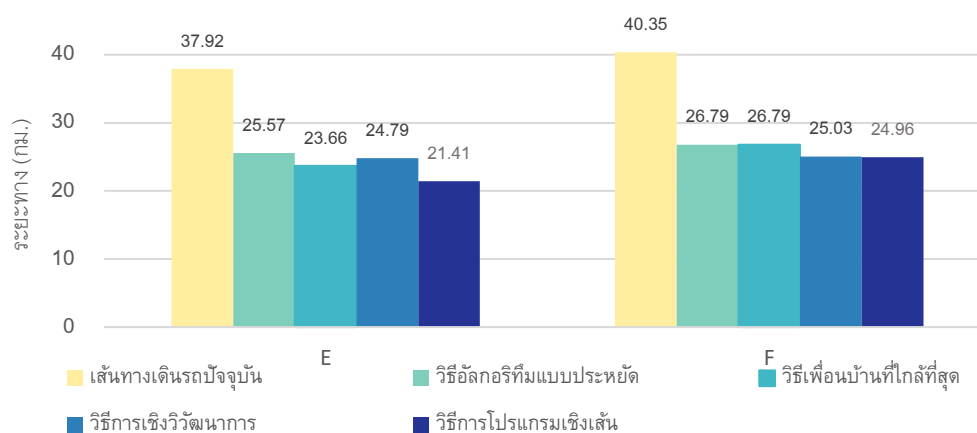
| โซน                             | เส้นทางเดินรถที่ได้                                       | ระยะทาง (กม.) | น้ำหนัก (กก.) |
|---------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------------|---------------|
| <b>วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด</b> |                                                           |               |               |
| A                               | 0-A7-A8-A6-A9-A10-A12-A2-A11-A5-A1-A4-A3-บ่อขยะ-0         | 19.23         | 2,261         |
| B                               | 0-B5-B6-B7-B9-B4-B8-B3-B11-B12-B1-B2-B10-บ่อขยะ-0         | 21.94         | 2,434         |
| C                               | 0-C8-C11-C10-C12-C13-C9-C14-C7-C6-C5-C3-C4-C2-C1-บ่อขยะ-0 | 21.05         | 2,232         |
| D                               | 0-D2-D3-D1-D4-บ่อขยะ-0                                    | 19.85         | 1,136         |
|                                 | รวม                                                       | 82.07         | 8,063         |
| <b>วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด</b> |                                                           |               |               |
| A                               | 0-A1-A4-A5-A6-A7-A8-A9-A10-A11-A12-A2-A3-บ่อขยะ-0         | 17.15         | 2,261         |
| B                               | 0-B1-B10-B2-B3-B4-B8-B7-B6-B5-B9-B11-B12-บ่อขยะ-0         | 19.64         | 2,434         |
| C                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C7-C8-C11-C10-C9-C14-C13-C12-C6-บ่อขยะ-0 | 19.86         | 2,232         |
| D                               | 0-D1-D4-D3-D2-บ่อขยะ-0                                    | 20.1          | 1,136         |
|                                 | รวม                                                       | 77.75         | 8,063         |
| <b>วิธีการเชิงวิวัฒนาการ</b>    |                                                           |               |               |
| A                               | 0-A1-A5-A6-A7-A8-A9-A10-A11-A12-A2-A3-บ่อขยะ-0            | 17.41         | 2,261         |
| B                               | 0-B1-B10-B2-B3-B8-B7-B9-B4-B6-B5-B11-B12-บ่อขยะ-0         | 19.80         | 2,434         |
| C                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C10-C12-C13-C9-C14-บ่อขยะ-0 | 19.63         | 2,232         |
| D                               | 0-D1-D4-D3-D2-บ่อขยะ-0                                    | 20.1          | 1,136         |
|                                 | รวม                                                       | 76.94         | 8,063         |
| <b>วิธีโปรแกรมเชิงเส้น</b>      |                                                           |               |               |
| A                               | 0-A4-A1-A5-A6-A7-A8-A9-A11-A10-A12-A2-A3-บ่อขยะ-0         | 17.15         | 2,261         |
| B                               | 0-B1-B10-B2-B3-B8-B4-B5-B6-B7-B9-B11-B12-บ่อขยะ-0         | 18.85         | 2,434         |
| C                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C10-C12-C13-C9-C14-บ่อขยะ-0 | 19.63         | 2,232         |
| D                               | 0-D2-D1-D3-D4-บ่อขยะ-0                                    | 19.30         | 1,136         |
|                                 | รวม                                                       | 74.93         | 8,063         |

### 3.3 ผลการจัดเส้นทางตามโซนเส้นทางใหม่

จากเส้นทางที่ทำการวิเคราะห์แบ่งเป็น 4 โซนก่อนหน้านี้นี้ พบว่าน้ำหนักขยะรวมแต่ละโซนเส้นทางยังต่ำกว่าน้ำหนักสูงสุดที่รถแต่ละคันบรรทุกได้ ทางผู้วิจัยจึงได้เสนอแนวทางการรวมโซนเพื่อลดจำนวนรถบรรทุกขยะลง และยังเป็นการลดระยะทางและค่าใช้จ่ายในการจัดเก็บขยะได้อีกด้วย ผู้วิจัยทำการศึกษารวมโซนที่อยู่ใกล้เคียงกันเข้าไว้ด้วยกัน จากรูปที่ 4 พบว่า โซน A และโซน B มีพื้นที่ทับซ้อนกันและเหมาะสมที่จะนำมารวมกัน ทำให้มีระยะทางปัจจุบันรวม 37.92 กิโลเมตร (จากรถ 2 คัน) น้ำหนักขยะรวม 4,695 กิโลกรัม และเรียกชื่อใหม่ว่าโซน E จากนั้นทำการรวมโซน C และโซน D เข้าไว้ด้วยกันซึ่งมีระยะทางปัจจุบันรวม 40.35 กิโลเมตร และน้ำหนักขยะรวม 3,368 กิโลกรัม และเรียกชื่อโซนใหม่นี้ว่า โซน F ซึ่งการรวมโซนทำให้ปริมาณขยะที่ต้องบรรทุกมากขึ้นแต่ยังไม่เกินความจุของรถบรรทุกที่ 6,000 กิโลกรัม จากนั้นจึงทำการจัดเส้นทางในทั้งโซน E และ โซน F ด้วย 4 วิธีดังกล่าวอีกครั้ง แสดงผลการเปรียบเทียบดังตารางที่ 3 และรูปที่ 10 ได้ผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 3. ผลการจัดเส้นทางรถเก็บขยะแบบรวมโซน

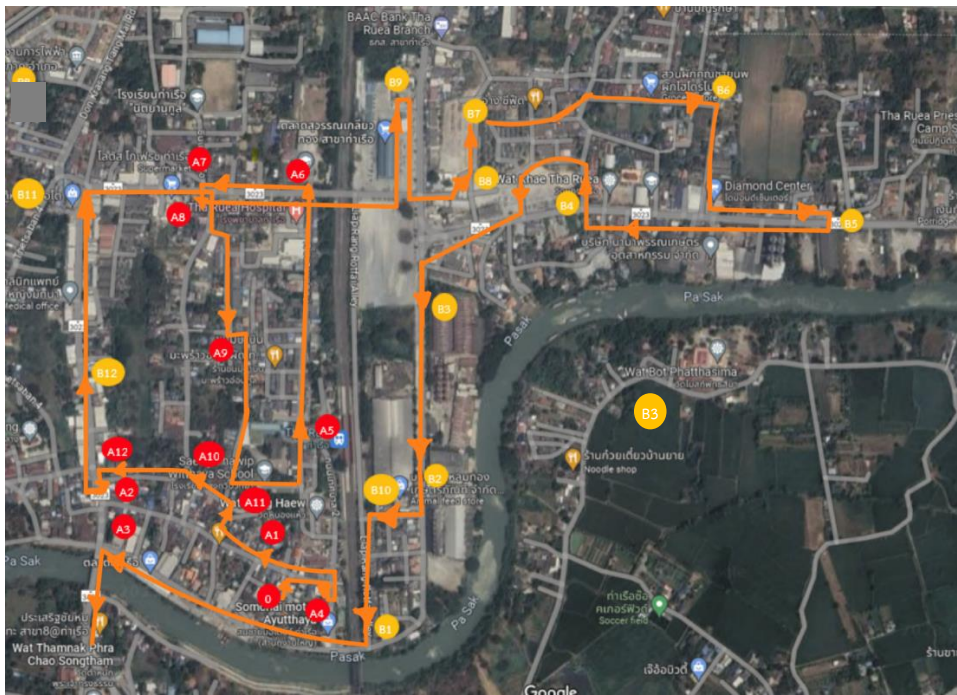
| โซน                             | เส้นทางเดินรถที่ได้                                                                      | ระยะทาง<br>(กม.) | น้ำหนัก<br>(กก.) |
|---------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------|
| <b>วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด</b> |                                                                                          |                  |                  |
| E                               | 0-B5-B6-B7-B9-B4-B8-B3-A7-A8-A6-B11-B12-A12-A10-A9-A11-A2-A3-A1-B1-B10-A5-A4-บ่อขยะ-0    | 25.57            | 4,695            |
| F                               | 0-C10-D2-D4-D3-D1-C11-C8-C7-C6-C5-C4-C12-C13-C9-C3-C2-C1-บ่อขยะ-0                        | 26.79            | 3,368            |
|                                 | รวม                                                                                      | 52.36            | 8,063            |
| <b>วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด</b> |                                                                                          |                  |                  |
| E                               | 0-A1-A4-B1-B10-B2-B3-B4-B8-B7-B6-B5-B9-A6-A7-A8-A9-A10-A11-A12-A2-A3-A5-B11-B12-บ่อขยะ-0 | 23.66            | 4,695            |
| F                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C7-C8-C11-C10-C9-C14-C13-C12-C6-D1-D3-D4-D2-บ่อขยะ-0                    | 26.79            | 3,368            |
|                                 | รวม                                                                                      | 54.45            | 8,063            |
| <b>วิธีการเชิงวิวัฒนาการ</b>    |                                                                                          |                  |                  |
| E                               | 0-A1-A4-B1-B10-A6-A7-A8-A9-A11-A10-A12-A2-A3-A5-B2-B3-B9-B4-B8-B7-B6-B5-B11-B12-บ่อขยะ-0 | 24.79            | 4,695            |
| F                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C12-C10-C13-C9-C14-D1-D2-D3-D4-บ่อขยะ-0                    | 25.03            | 3,368            |
|                                 | รวม                                                                                      | 49.82            | 8,063            |
| <b>วิธีโปรแกรมเชิงเส้น</b>      |                                                                                          |                  |                  |
| E                               | 0-A4-A1-A11-A10-A12-A2-B12-B11-A9-A5-A6-A7-A8-B9-B7-B6-B5-B4-B8-B3-B2-B10-B1-A3-บ่อขยะ-0 | 21.41            | 4,695            |
| F                               | 0-C1-C2-C3-C4-C5-C6-C7-C8-C11-C10-C12-C13-C9-C14-D1-D2-D4-D3-บ่อขยะ-0                    | 24.96            | 3,368            |
|                                 | รวม                                                                                      | 46.37            | 8,063            |



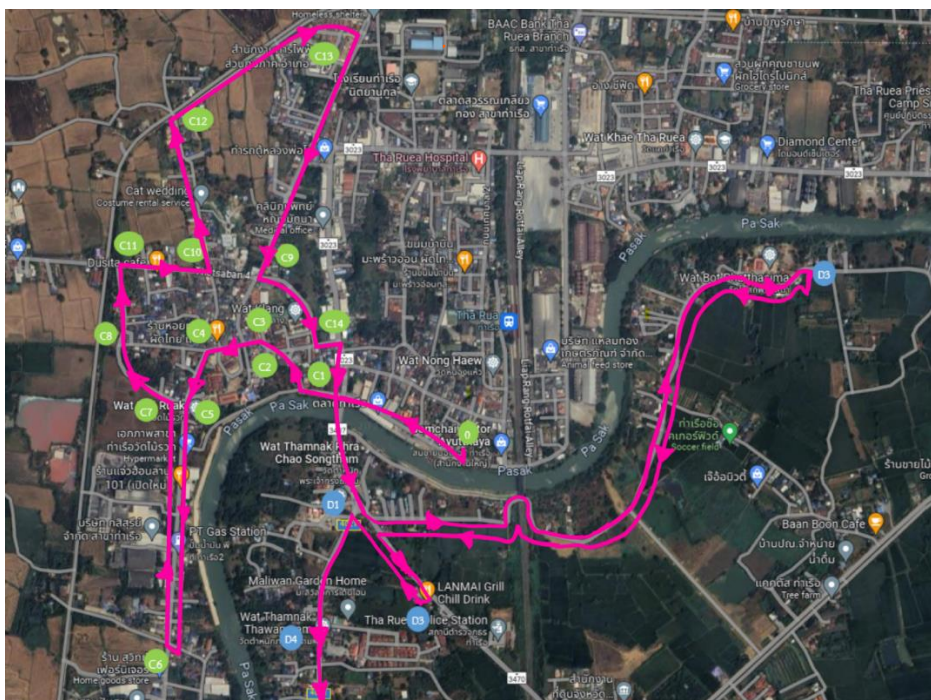
รูปที่ 10. เปรียบเทียบระยะทางการเดินทางในของการรวมโซนโดยแบ่งเป็น 2 โซนเส้นทาง

เมื่อพิจารณาในโซนเส้นทาง E (รวมโซน A และโซน B) สามารถแสดงเส้นทางการเก็บขยะได้ดังรูปที่ 11 และพบว่าวิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดคือ 21.41 กิโลเมตร รองลงมาคือวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ และวิธีอัลกอริทึมแบบประหลาด คิดเป็น 23.66, 24.79 และ 25.57 กิโลเมตร ตามลำดับ ดังนั้นจึงควรใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นมาใช้ในการจัดเส้นทางในโซน E ซึ่งสามารถลดระยะทางจาก 37.92 กิโลเมตร เหลือ 21.41 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางที่ลดลงได้ 16.51 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 43.54

สำหรับผลของการจัดเส้นทางใหม่ให้แก่โซน F (รวมโซน C และโซน D) พบว่า วิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลรวมระยะทางที่ต่ำที่สุดเช่นเดียวกับโซน E โดยแสดงเส้นทางการเก็บขยะได้ดังรูปที่ 12 โดยมีระยะทางทั้งสิ้น 24.96 กิโลเมตร รองลงมาคือการจัดเส้นทางด้วยวิธีการเชิงวิวัฒนาการ คิดเป็น 25.03 กิโลเมตร ส่วนวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดและวิธีอัลกอริทึมแบบประหลาดได้ระยะทางเท่ากัน 26.79 กิโลเมตร ดังนั้นจึงควรใช้วิธีโปรแกรมเชิงเส้นมาจัดเส้นทางในโซน F และสามารถลดระยะทางจาก 40.35 กิโลเมตร (รวมโซน C และโซน D) ลงเหลือ 24.96 กิโลเมตร คิดเป็นระยะทางที่ลดลงได้ 15.39 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 38.15



รูปที่ 11. เส้นทาง E (เส้นทาง A รวมกับเส้นทาง B) ด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น



รูปที่ 12. เส้นทาง F (เส้นทาง C รวมกับเส้นทาง D) ด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้น

#### 4. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลท่าเรือ อำเภอท่าเรือ จังหวัดพระนครศรีอยุธยา สรุปผลการเปรียบเทียบวิธีการจัดเส้นทางรถเก็บขยะทั้ง 4 วิธี ซึ่งประกอบด้วยวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด วิธีการเชิงวิวัฒนาการ และวิธีโปรแกรมเชิงเส้น สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 เมื่อนำเส้นทางปัจจุบันที่ทางเทศบาลทำการจัดไว้ทั้ง 4 โซนมาเปรียบเทียบกับเส้นทางที่ทางผู้วิจัยนำเสนอเป็นเส้นทางใหม่จากแต่ละโซนเส้นทาง พบว่าเส้นทางที่ได้จากวิธีโปรแกรมเชิงเส้นให้ผลดีกว่าการจัดเส้นทางในปัจจุบันในทุกโซนเส้นทาง ในขณะที่วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัดให้ผลดีกว่าวิธีปัจจุบันเฉพาะโซน D วิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดและวิธีการเชิงวิวัฒนาการให้ผลดีกว่าวิธีปัจจุบันเฉพาะโซน A โซน B และ โซน C จึงได้ข้อสรุปว่าโปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีที่เหมาะสมที่สุด นอกจากนี้ยังพบว่าการจัดเส้นทางในโซน D ให้ผลการจัดเส้นทางแต่ละวิธีให้ผลใกล้เคียงกันกับเส้นทางที่ใช้อยู่ในปัจจุบัน เนื่องจากเป็นโซนที่มีจำนวนจุดรวมขยะน้อยและเส้นทางไม่ซับซ้อน ในขณะที่โซนอื่น ๆ การจัดเส้นทางด้วยวิธีที่นำเสนอสามารถให้ผลดีกว่าเส้นทางที่ใช้อยู่ปัจจุบัน

กรณีที่ 2 เมื่อนำเส้นทางปัจจุบันทั้ง 4 โซน รวมโซนให้เหลือเพียง 2 โซน ก่อนทำการจัดเส้นทางใหม่ด้วยวิธีการต่าง ๆ ที่กล่าวมานั้นพบว่า ทุกวิธีให้ผลการจัดเส้นทางโดยรวมมีระยะทางน้อยกว่าเส้นทางในปัจจุบันที่แบ่งเป็น 4 โซน โดยวิธีการที่ให้ค่าระยะทางต่ำที่สุดของทั้ง 2 โซนใหม่ คือวิธีโปรแกรมเชิงเส้น ซึ่งสอดคล้องกับผลลัพธ์ที่ได้ในการศึกษากรณีที่ 1 โดยให้ผลรวมระยะทางที่สั้นที่สุด คิดเป็น 46.37 กิโลเมตร รองลงมาคือ วิธีการเชิงวิวัฒนาการ คิดเป็น 49.82 กิโลเมตร วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด คิดเป็น 52.36 กิโลเมตร และลำดับสุดท้ายคือวิธีเพื่อนบ้านใกล้ที่สุด คิดเป็น 54.45 กิโลเมตร

เมื่อพิจารณาการจัดเส้นทางหลังจากการรวมโซนเป็นโซน E และโซน F ด้วยวิธีโปรแกรมเชิงเส้นจะเห็นได้ว่าการรวมโซนสามารถลดระยะทางรวมลงจากเดิมที่มีระยะทางรวมทั้งหมด 78.27 กิโลเมตร เหลือเพียง 31.90 กิโลเมตรต่อวัน (จากเส้นทางโซน E 16.51 กิโลเมตร และจากเส้นทางโซน F 15.39 กิโลเมตร) และหากคำนวณตามเกณฑ์ความสิ้นเปลืองน้ำมันของรถบรรทุกขยะที่ใช้ใช้น้ำมัน 3 กิโลเมตร/ลิตร ที่ราคาน้ำมันดีเซล 32.44 บาทต่อลิตร เป็นระยะเวลา 1 เดือน จะสามารถประหยัดค่าน้ำมันเชื้อเพลิงได้ 10,348.36 บาท คิดเป็นการประหยัดค่าเชื้อเพลิงได้ถึง 40.76% ทั้งนี้ยังไม่รวมการลดค่าเสื่อมของยานพาหนะ ค่าบำรุงรักษา และจำนวนพนักงานที่ปฏิบัติหน้าที่ที่ลดลง

ในเชิงปฏิบัติปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะของเทศบาลต่าง ๆ มักมีการกำหนดเส้นทางในการเดินรถตามประสบการณ์ของพนักงานขับรถโดยไม่มี การจัดเส้นทางตามเทคนิควิธีการต่าง ๆ จึงทำให้ไม่สามารถทราบได้ว่าเส้นทางที่ใช้เป็นเส้นทางที่เหมาะสมแล้วหรือไม่ อีกทั้งการจัดเก็บขยะมูลฝอยเป็นงานที่ทางเทศบาลต้องปฏิบัติทุกวัน ดังนั้นหากสามารถจัดเส้นทางที่เหมาะสมก็จะทำให้เทศบาลสามารถประหยัดทั้งค่าน้ำมันเชื้อเพลิง และเวลาได้อย่างมากในระยะยาว งานวิจัยนี้จึงสามารถเป็นแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการดำเนินงานให้กับการพัฒนาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะให้กับเทศบาลอื่น ๆ ต่อไป นอกจากการนำเสนอการเพิ่มประสิทธิภาพด้วยการจัดเส้นทางใหม่แล้วยังมีแนวทางการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะด้วยการจัดเส้นทางหลังการรวมพื้นที่การจัดเก็บขยะทั้ง 4 โซน หรือการลดรอบการจัดเก็บขยะทำให้ลดจำนวนรถบรรทุกขยะ และจำนวนพนักงานที่มีอยู่เดิม ดังนั้นทางเทศบาลสามารถวางแผน

บริหารจัดการ ลดจำนวนรถบรรทุกขยะที่สภาพเก่าหรือปรับฟังก์ชันการใช้งานของรถใหม่ พร้อมปรับเปลี่ยนหน้าที่พนักงานเพื่อให้ปรับผิดชอบงานด้านอื่น ๆ ต่อไปได้

ในเชิงทฤษฎีจากการศึกษาด้านการจัดเส้นทางรถเก็บขยะในงานวิจัยนี้พบว่า วิธีโปรแกรมเชิงเส้นเป็นวิธีการที่ให้ประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด วิธีเพื่อนบ้านใกล้เคียงที่สุด และวิธีการเชิงวิวัฒนาการ ซึ่งสอดคล้องกับทฤษฎีที่ยืนยันว่าวิธีการแม่นยำมีประสิทธิภาพสูงกว่าวิธีการในกลุ่มฮิวริสติกส์

จากผลการศึกษาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะของทางเทศบาลในครั้งนี้มีข้อจำกัดเรื่องการพิจารณาเฉพาะเงื่อนไขของน้ำหนักขยะเพียงอย่างเดียว ถึงแม้ว่าขยะประเภทขยะมูลฝอยในครัวเรือนอาจมีรูปแบบรูปทรงและปริมาตรที่แตกต่างกัน แต่เพราะรถเก็บขยะแต่ละคันมีเครื่องบดอัดขยะ ทำให้งานวิจัยนี้จึงไม่ได้นำเงื่อนไขของปริมาตรเข้ามาเป็นเงื่อนไขในการศึกษาครั้งนี้ อย่างไรก็ตามหากเป็นการจัดเส้นทางที่กำหนดให้น้ำหนักขยะแต่ละจุดไม่คงที่ หรือมีปริมาตรของขยะที่มีลักษณะและรูปแบบที่แตกต่างกัน หรือไม่สามาถบีบอัดได้ อาจต้องทำการศึกษาเพิ่มเติมโดยเพิ่มปริมาตรขยะเข้ามาเป็นเงื่อนไขในการศึกษาต่อไป อย่างไรก็ตามหากการกำหนดรูปแบบของปัญหาการเก็บขยะที่มีรูปแบบที่ซับซ้อนมากขึ้น มีข้อจำกัดมากขึ้น เช่น มีการกำหนดช่วงเวลาในการเก็บขยะที่แตกต่างกัน และมีข้อกำหนดด้านเวลาการเก็บขยะเข้ามาเป็นส่วนหนึ่งในการจัดเส้นทาง อาจทำการศึกษาการจัดเส้นทางด้วยวิธี Hybrid Genetic algorithm ตามการศึกษาของ Kamsopa และคณะ [18] หรือหากเป็นการจัดเส้นทางโดยการคำนึงถึงปัจจัยด้านความเสี่ยงในแต่ละเส้นทางเข้ามาเป็นส่วนในการตัดสินใจสำหรับการเลือกเส้นทางที่เหมาะสม เช่น การใช้ Model BWM-MARCOS มาประยุกต์รวมกับการจัดเส้นทางที่เหมาะสมตามการศึกษาของ Koohathongsumri และ Chankham [20] ดังนั้นผู้ที่สนใจสามารถนำเป็นแนวทางในการปรับปรุงการจัดเส้นทางรถเก็บขยะที่เหมาะสมตามลักษณะปัญหาที่มีความซับซ้อนแตกต่างกันต่อไปได้

## เอกสารอ้างอิง (References)

- [1] กรมควบคุมมลพิษ. 2566. ข้อมูลสถานการณ์ขยะมูลฝอยของประเทศ. แหล่งข้อมูล : <https://thaimsw.pcd.go.th/report1.php?year=2565>. ค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2566.
- [2] สำนักสถิติพยากรณ์ สำนักงานสถิติแห่งชาติ. 2566. จำนวนประชากรจากทะเบียน ชาย หญิง จำแนกตามจังหวัด อำเภอและเขตการปกครอง พ.ศ.2562-2565. แหล่งข้อมูล : <http://statbbi.nso.go.th/staticreport/page/sector/th/01.aspx>. ค้นเมื่อวันที่ 1 มิถุนายน 2566.
- [3] นคร ไชยวงศ์ศักดิ์ และคณะ. 2558. การจัดเส้นทางรถขนส่งโดยใช้เซฟวิงอัลกอริทึมและตัวแบบปัญหาการเดินทางของพนักงานขาย กรณีศึกษาโรงงานน้ำดื่ม. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 3(1), 51-61. [Nakorn Chaiwongsakda et al. 2015. Vehicle routing by using a saving algorithm and the traveling salesman problem: A case study of a drinking water factory. *Thai Journal of Operations Research*. 3(1), 51-61. (in Thai)]
- [4] กิตติ์วี สุขขา, ชาญวิทย์ สวัสดิ์, วรลักษณ์ แดงสาย และสภารณ บัวทอง. 2558. โปรแกรมการจัดเส้นทางรถขนส่งวัสดุก่อสร้าง กรณีศึกษาบริษัท จำหน่ายวัสดุก่อสร้างแห่งหนึ่ง. *โครงการพิเศษ*

- 
- วิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาวิชาสถิติประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. [Kitrawee Sukka, Chanwit Sawasdee, Woraluk Daengsai and Supaporn Buathong. 2015. Program for scheduling the delivery routes of construction materials case study of a construction company. B.Sc. Special Project, Applied Statistics Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)]
- [5] ณัฐกานต์ เพลามี, สิริพร อำโพธิ์, สิวินีย์ ศรีโหม และอนุดิตา ชื่อนจิตต์เสาวคนธ์. 2558. โปรแกรมจัดเส้นทางการขนส่งของบริษัท ส.อำโพธิ์ ทรานสปอร์ต. โครงการพิเศษวิทยาศาสตร์บัณฑิต, สาขาสถิติประยุกต์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง. [Nutthagat Ploamee, Siriporn Ampo, Sivinee Srimai and Anutida Chunjidsaowakon. 2015. The study of vehicle routing program of S. Ampo Transportation Co, Ltd. B.Sc. Special Project. Applied Statistics Program, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang. (in Thai)]
- [6] ณัฐนิชา รุ่งโรจน์ชัชวาล, อินทอร ศรีสว่าง และวานัฐมพงษ์ คงแก้ว. 2559. การประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางการเดินทางสำหรับการเก็บขยะมูลฝอยกรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์วิทยาเขตหาดใหญ่. *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, 4(2), 18-31. [Nutnicha Rungrodchatchaval, Intuon Sriswang and Wanatchapong Kongkaew. Application of the vehicle routing problem for solid waste collection: a case study of Prince of Songkla University, Hat Yai Campus. *Thai Journal of Operations Research*. 4(2). 18-31. (in Thai)]
- [7] ระพีพันธ์ ปิตาคะโส. 2554. วิธีการเมตาฮิวริสติกเพื่อแก้ไขปัญหาการวางแผนการผลิตและการจัดการโลจิสติกส์. พิมพ์ครั้งที่ 1, สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพมหานคร. [Rapeepan Pitakaso. 2011. A Metaheuristic Approach to Solving Production Planning and Logistics Management Problems. 1<sup>st</sup> ed., Technology Promotion Association (Thailand-Japan), Bangkok. (in Thai)]
- [8] วรพล อารีย์, ภาณุพงศ์ กลิ่นอุบล, สิปปกร กรพันธ์, ธนภัทร รัตนานนท์เสถียร, และจิรัฐติกาลคชสิทธิ์. 2565. การแก้ปัญหการจัดเส้นทางการขนส่ง: กรณีศึกษา บริษัท เอปซิน้ำดื่ม จำกัด. *วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ*. 14(3), 1-23. [Worapon Arree, Phanuphong Klinaubon, Sippakorn Kornphan, Thanapat Rattananonsatien and Chirattikan Khotchasit. 2022. Solving Vehicle Routing Problem: A Case Study of ABC Drinking Water Company Limited. *Economics and Business Administration Journal, Thaksin University*. 14(3), 1-23. (in Thai)]
- [9] Clark, G. and Wright, J.W. 1967. Scheduling of vehicles from a central depot to a number of delivery points. *Operation Research*. 12(4), 568-581, <https://doi.org/10.1287/opre.12.4.568>.

- [10] Hurkens, C.A.J. and Woeginger, G.J. 2004. On the nearest neighbor rule for the traveling salesman problem. *Operation Research Letters*, 32(1), 1-4, [https://doi.org/10.1016/S0167-6377\(03\)00093-2](https://doi.org/10.1016/S0167-6377(03)00093-2).
- [11] Charlie Young, P.E. Excel Solver: Which solver method should I choose?. Available at: <https://engineerexcel.com/excel-solver-solving-method-choose/>. Retrieved 3 October 2022.
- [12] Kosasih, W., and Salomon, L.L. 2020. Comparison study between nearest neighbor and farthest insert algorithms for solving VRP model using heuristic method approach. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 852(1), 1-8, <https://doi.org/10.1088/1757-899X/852/1/012090>.
- [13] เกศินี สื่อนิ. 2563. การจัดเส้นทางขนส่งสินค้าโดยการเปรียบเทียบระหว่างการใช้วิธีเซฟวิ่ง อัลกอริทึมและวิธีขั้นตอนวิธีการเพื่อนบ้านใกล้ที่สุดอัลกอริทึม. *วารสารเศรษฐศาสตร์และบริหารธุรกิจ มหาวิทยาลัยทักษิณ*. 12(2), 1-14. [Kesinee Sueni. 2020. The Routes Transportation by Comparison between Using the Saving Algorithm and the Nearest Neighbor Algorithm, *Economics and Business Administration Journal Thaksin University*, 12(2), 1-14. (in Thai)]
- [14] พิชญ์ พันธุ์พิพัฒน์ และเปรมพร เขมาวุฒม์. 2562 การจัดเส้นทางขนส่งของรถบรรทุกขนาดใหญ่สำหรับสินค้าประเภทเทกองและกระสอบกรณีศึกษาบริษัทผู้ให้บริการขนส่ง. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*. 9(1), 136-151. [Pitch Phanphiphat and Premporn Khemavuk. 2019. Vehicle routing arrangement of heavy trucks for bulk and sack products: A case study of transportation. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 9(1), 136-151. (in Thai)]
- [15] สันต์ภาพ กรุดเที่ยง และวรินทร์ วงษ์มณี. 2559. การวางแผนเส้นทางเดินทางที่เหมาะสมเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพการเดินทางไปตรวจสอบหน่วยผลิตคอนกรีต. การประชุมสัมมนาเชิงวิชาการด้านการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน, ครั้งที่ 16, กรุงเทพมหานคร, 1-11. [Sanphob Krudthieng and Varin Vongmanee. 2016. The appropriate travel route planning to improve efficiency of the concrete monitoring unit. The 16<sup>th</sup> Thai Value Chain Management and Logistics Conference, Bangkok, 1-11. (in Thai)]
- [16] กรรณิการ์ ศรีพนมวรรณ, พงษ์เทพ ภูเดช และชนิชา หมอยาดี. 2566. การแก้ไขปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะมูลฝอย ด้วยวิธีการสร้างแบบจำลองเพื่อการตัดสินใจด้วยไมโครซอฟท์เอ็กเซลโซลเวอร์: กรณีศึกษาองค์การบริหารส่วนตำบลหนองกบ อำเภอบ้านโป่ง จังหวัดราชบุรี. *วารสารวิทยาลัยโลจิสติกส์และซัพพลายเชน*. 8(1), 62-73. [Kannika Sripanamvan, Pongtep Phudetch and Chanicha Moryadee. 2022. Solving the problem of garbage truck routing by modeling method for decision making using microsoft excel solver: a case study of Nong Kob Subdistrict Administrative Organization, Ban Pong District,

- Ratchaburi Province. *Journal of Logistics and Supply Chain College*. 8(1), 62-73. (in Thai)]
- [17] ภคพร ผงทอง. 2561. การวางแผนเส้นทางการขนส่งโดยใช้เซฟวิ่งอัลกอริทึมกรณีศึกษาเส้นทางการขนส่งขยะ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี (รายงานการวิจัย). มหาวิทยาลัยราชพฤกษ์, นนทบุรี. [Pakaporn Phongthong. 2018. Wastes transportation routing by using a saving algorithm: A case of Bang-Krui District Nonthaburi Province, Rajapruk University, Nonthaburi. (in Thai)]
- [18] Kamsopa, K., Sethanan, K., Jamrus, T., and Czwajda, L. 2021. Hybrid genetic algorithm for multi-period vehicle routing problem with mixed pickup and delivery with time window, heterogeneous fleet, duration time and rest area. *Engineering Journal*, 25(10), 71-86, <https://doi.org/10.4186/ej.2021.25.10.71>.
- [19] Bell, J.E., and McMullen, P.R. 2004. Ant colony optimization techniques for the vehicle routing problem. *Advanced engineering informatics*, 18(1), 41-48, <https://doi.org/10.1016/j.aei.2004.07.001>.
- [20] Koohathongsumrit, N., and Chankham, W. 2023. Route selection in multimodal supply chains: A fuzzy risk assessment model-BWM-MARCOS framework. *Applied Soft Computing*, 137, 1-19, <https://doi.org/10.1016/j.asoc.2023.110167>.