

การประยุกต์ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการวางแผนจัดเส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะ ด้วยวิธีปัญหาการจัดเส้นทางสำหรับยานพาหนะ Vehicle Routing Problem (VRP)

กรณีศึกษาเทศบาลตำบลท่าข้าม จังหวัดฉะเชิงเทรา

กุสุมา พิริยาพรรณ¹, อภิญา พงษ์ปรีชา^{2,*}

^{1,2}สาขาการจัดการโลจิสติกส์ คณะวิทยาการจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา

Received: 5 December 2024

Revised: 20 March 2025

Accepted: 20 March 2025

บทคัดย่อ

บทความวิจัยนี้ทำการศึกษาเกี่ยวกับการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ โดยมีการเก็บรวบรวมข้อมูลปฐมภูมิ ทดียบภูมิ นำเข้าข้อมูลผ่านโปรแกรมระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ Quantum GIS (QGIS) เพื่อการวิเคราะห์ข้อมูลการจัดเส้นทางเดินรถด้วยฟังก์ชันปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อแก้ไขปัญหาการจัดเก็บขยะมูลฝอยในพื้นที่เทศบาลตำบลท่าข้ามที่มีระยะทางจัดเก็บขยะโดยรวมต่อสัปดาห์ไกล จึงต้องการลดระยะทางการจัดเก็บขยะให้สั้นลง และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ของรถเก็บขยะเพื่อลดปัญหาขยะตกค้างในพื้นที่ ภายใต้เงื่อนไข เช่น จำนวนรถเก็บขนขยะ ปริมาณของขยะที่บรรทุกต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุกขยะของรถเก็บขนขยะ เวลาที่ใช้ในการเก็บขยะต้องไม่เกินเวลาทำงานของพนักงานที่กำหนด รวมถึงความเร็วในการเดินรถเฉลี่ยในแต่ละเส้นทาง ผลจากการศึกษา พบว่าการจัดเส้นทางจัดเก็บขยะมูลฝอยในแต่ละวันใหม่ตามแนวคิดของการค้นหาย่านคำตอบข้างเคียงใกล้เคียง Large Neighborhood Search (LNS) ซึ่งมีการจัดเส้นทางในการเก็บขยะใหม่ มีผลลัพธ์สอดคล้องตามวัตถุประสงค์การศึกษา คือ ทำให้มีระยะทางโดยรวมต่อสัปดาห์ของการจัดเก็บขยะมูลฝอยที่สั้นลงเหลือระยะทางรวม 253.60 กิโลเมตร จากระยะทางเดิม 336.90 กิโลเมตร และทำให้รอบการจัดเก็บต่อสัปดาห์ลดลงเหลือ 18 รอบ จากเดิม 21 รอบ และสามารถเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ของรถเก็บขยะได้ เนื่องจากเส้นทางใหม่จากการศึกษาทำให้ประโยชน์จากการใช้รถจัดเก็บขยะโดยรวมต่อสัปดาห์เพิ่มขึ้นร้อยละ 82.39 ของปริมาณความจุรวม จากเดิมที่มีประโยชน์การใช้รถร้อยละ 70.62 ของปริมาณความจุรวม

คำสำคัญ: ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ ขยะมูลฝอย เทศบาล

* ผู้ประสานงานหลัก; อีเมล: apinya.pon@ku.th

Application of Geographic Information Systems for Route Optimization in Solid Waste Collection Using the Vehicle Routing Problem (VRP) Method: A Case Study of Tha Kham Subdistrict Municipality, Bang Pakong, Chachoengsao Province

Kusuma Piriypun¹, Apinya Pongpreecha^{2,*}

^{1,2}Department of Logistics Management, Faculty of Management Sciences,
Kasetsart University

Received: 5 December 2024

Revised: 20 March 2025

Accepted: 20 March 2025

Abstract

This study investigates the application of mathematical models to analyze vehicle routing problems. Primary and secondary data were collected and processed using Quantum GIS (QGIS), an open-source Geographic Information System (GIS) software, to analyze vehicle routing using the Vehicle Routing Problem (VRP) function. The aim was to solve the problems of garbage collection in Tha Kham Subdistrict Municipality by minimizing the total weekly distance of garbage collection and improving the efficiency of garbage vehicles to reduce residual waste in the area. The study was conducted under certain conditions, including the number of waste collection vehicles, the capacity limits of the vehicles, the working hours of the employees and the average speed on each route. The results showed that redesigning the daily waste collection routes using a neighborhood search optimization approach which involves re-routing waste collection, has yielded results aligned with the study's objectives. It has successfully reduced the total weekly waste collection distance from 336.90 kilometers to 253.60 kilometers and reduced the number of weekly collection trips from 21 to 18. Moreover, the efficiency of waste collection vehicle utilization has improved. The newly optimized routes have increased the overall weekly vehicle capacity utilization to 82.39%, compared to the previous 70.62%. This indicates a more effective use of waste collection vehicles.

Keywords: Geographic Information System (GIS), Vehicle Routing Problem, Solid waste, Subdistrict

* Corresponding Author; E-Mail: apinya.pon@ku.th

ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จังหวัดฉะเชิงเทราเป็น 1 ใน 3 จังหวัดระเบียงเขตเศรษฐกิจพิเศษภาคตะวันออก (EEC) ซึ่งมีการพัฒนาอุตสาหกรรมในพื้นที่เพื่อสร้างความมั่นคงทางเศรษฐกิจในประเทศและได้รับการคัดเลือกจากคณะกรรมการนโยบายเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออกให้เป็น “พื้นที่เมืองใหม่สำหรับการอยู่อาศัย” ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2562 โดยสามารถรองรับการขยายตัวของกรุงเทพฯ และปริมณฑลเนื่องจากเป็นจังหวัดที่เชื่อมต่อระหว่างกรุงเทพฯ และปริมณฑลกับพื้นที่ชายฝั่งทะเลตะวันออก และจังหวัดฉะเชิงเทราได้รับเลือกเป็นจังหวัดนำร่องพัฒนาเป็นเมืองอัจฉริยะ หรือ Smart City ภายใต้แนวทาง Thai Way of Life ซึ่งจะได้รับการพัฒนาให้เป็นเมืองพักอาศัย มีสภาพแวดล้อมน่าอยู่ ทันสมัย และมีระบบการจัดการสาธารณูปโภคที่เป็นระดับมาตรฐานสากล (Chachoengsao Provincial Agriculture and Cooperatives Office, 2021) มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานและภาคอุตสาหกรรมตามพระราชบัญญัติเขตพัฒนาพิเศษภาคตะวันออก โดยเฉพาะในพื้นที่เทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา จากรายงานสถานการณ์ทางสังคม จังหวัดฉะเชิงเทรา พ.ศ. 2566 พบว่าเทศบาลตำบลท่าข้ามมีจำนวนประชากรและจำนวนครัวเรือน มีอัตราการขยายตัวเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทั้งจากแรงงานของแหล่งอุตสาหกรรม (Ministry of Social Development and Human Security, 2020) โดยระหว่างปี พ.ศ. 2563 – 2564 ตามข้อมูลสำนักทะเบียนท้องถิ่นเทศบาลตำบลท่าข้าม 2564 จำนวนหลังคาเรือนทั้งหมดในเขตพื้นที่รับผิดชอบ 8,893 ครัวเรือนมีประชากรทั้งหมด 7,572 คน นอกจากนี้ ยังมีประชากรแฝงที่เข้ามาทำงานในเขตเทศบาล โดยเฉพาะโรงงานอุตสาหกรรมแต่ยังไม่ได้ย้ายทะเบียนบ้านเข้ามาอยู่ในเขตเทศบาลเป็นจำนวนมาก ซึ่งคาดการณ์ว่าเบื้องต้นประมาณ 10,000 คนเศษ ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ประมาณ 354 คนต่อตารางกิโลเมตร ซึ่งเพิ่มขึ้น 59 ครัวเรือน คิดเป็นร้อยละ 0.68 ของจำนวนครัวเรือนในปีก่อนหน้า ซึ่งจำนวนครัวเรือนและประชากรที่เพิ่มสูงขึ้นส่งผลโดยตรงต่อปริมาณขยะในพื้นที่เทศบาลที่เพิ่มขึ้นด้วยเช่นเดียวกัน

ทั้งนี้ ในปัจจุบันเทศบาลตำบลท่าข้ามมีการวางแผนการจัดเก็บขยะมูลฝอยรวมทั้งสิ้น 8 หมู่บ้าน ซึ่งมีจุดจัดเก็บกระจายออกไปในพื้นที่ต่าง ๆ ของเทศบาล โดยขยะที่ทำการจัดเก็บนั้นเป็นขยะทั่วไปที่มาจากครัวเรือน และขยะที่มาจากอุตสาหกรรมภายในเขตเทศบาล ซึ่งทางเทศบาลจะมีถังขยะแบ่งออกเป็น 4 ขนาด คือ ถังขยะขนาด 660 ลิตร จำนวน 229 ใบ ถังขยะขนาด 240 ลิตร จำนวน 883 ใบ ถังขยะขนาด 200 ลิตร จำนวน 20 ใบ และถังขยะขนาด 100 ลิตร จำนวน 13 ใบ รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 1,145 ถัง ทางเทศบาลจะนำถังขยะไปตั้งไว้ที่ชุมชนต่าง ๆ โดยทำการจัดเก็บขยะมูลฝอยในแต่ละจุดสัปดาห์ละ 1-2 ครั้ง มีจำนวนจุดจัดเก็บทั้งสิ้น 1,160 จุด แบ่งออกเป็น (1) จุดจัดเก็บขยะครัวเรือน 1,119 จุด มีปริมาณขยะทั้งสิ้น 92,222 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (2) จุดจัดเก็บแหล่งอุตสาหกรรม 41 จุด หากในจุดที่ตั้งขยะมีขยะที่เกินความสามารถในการเก็บบรรจุจะมีการใส่ขยะลงถุงดำแล้วมัดปากถุงเอาไว้เพื่อให้ง่ายต่อการจัดเก็บต่อไป พบว่ามีปริมาณขยะรวมทั้งหมดคิดเป็น 106,772 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ และมีปริมาณการใช้รถในการจัดเก็บขยะประมาณ 1,008 รอบต่อปี คิดเป็นระยะทาง 16,171.20 กิโลเมตรต่อปี และจากการสัมภาษณ์กองสาธารณสุขและสิ่งแวดล้อมเทศบาลตำบลท่าข้ามในปี 2565 มีค่าใช้จ่ายด้านต้นทุนเชื้อเพลิงทั้งสิ้น 161,280 บาทต่อปี จากทรัพยากรในการเก็บขยะและปริมาณขยะข้างต้นทำให้เกิดปัญหาขยะตกค้างในพื้นที่เนื่องจากการจัดเก็บขยะมูลฝอยมีระยะทางจัดเก็บขยะโดยรวมต่อสัปดาห์ที่ไกล จึงเก็บขยะไม่ทันต่อปริมาณขยะที่เกิดขึ้นในแต่ละจุด ดังนั้นจึงควรมีการวางแผนเส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยใหม่ ที่มีระยะทางที่สั้นลงรวมถึงคำนึงถึงประสิทธิภาพการใช้พื้นที่ของรถเก็บขยะที่เพิ่มขึ้น เพื่อลดปัญหาขยะตกค้างในพื้นที่

ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการแก้ปัญหาด้านการขนส่ง โดยหาแนวทางการจัดลำดับและหาเส้นทางเดินรถ ที่พิจารณาจากเงื่อนไขและข้อจำกัดที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาหรือเหตุการณ์จริง (Kongkaew et al., 2016) จึงมีการนำแนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) มาใช้เพื่อวางแผนการขนส่งอย่างกว้างขวาง โดยมีเป้าหมายในการลดระยะเวลาการขนส่งหรือลดต้นทุนในการจัดส่งสินค้า ภายใต้ข้อจำกัดเรื่องความจุของยานพาหนะ และความต้องการในการขนส่ง ประกอบกับนำระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ Geographic Information System มาใช้ในการวิเคราะห์เพื่อเชื่อมโยงข้อมูลตำแหน่งการจัดเก็บขยะ ระยะทาง และเส้นทางให้สัมพันธ์กับสภาพพื้นที่จริง ทำให้สามารถตัดสินใจกำหนดเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดได้ งานวิจัยนี้จึงนำแนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) มาประยุกต์ใช้วางแผนการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะมูลฝอยใหม่ เพื่อหาระยะทางที่สั้นที่สุด

ผู้วิจัยพบทวนวรรณกรรมที่เกี่ยวกับปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ในบริบทต่าง ๆ ในประเทศไทยพบว่ายังมีงานวิจัยจำนวนน้อยที่ศึกษาการจัดเส้นทางเดินรถของหน่วยงานราชการ เนื่องจากข้อจำกัดด้านการจัดเก็บฐานข้อมูลที่เป็นระบบของหน่วยงานราชการ ไม่มีตำแหน่งงานด้านการขนส่งอย่างชัดเจนและการจัดเส้นทางเดินรถขยะอาศัยการตัดสินใจและประสบการณ์โดยตรงของพนักงานขับรถเป็นหลัก จึงส่งผลให้ระบบการจัดเส้นทางเดินรถขยะของหน่วยงานยังไม่มีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ผู้วิจัยมีการพิจารณาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะในปัจจุบันพบว่าการจัดเส้นทางแบบเดิมไม่มีข้อมูลอ้างอิงอย่างชัดเจนว่าเป็นการจัดเส้นทางที่ดีที่สุดที่เหมาะสมกับทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดขององค์กร

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถในการจัดเก็บขยะมูลฝอย เพื่อหาเส้นทางเดินรถที่เหมาะสมที่สุดจากจำนวนของเส้นทางเดินรถจัดเก็บทั้งหมดที่เป็นไปได้ โดยประยุกต์ใช้แนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) ให้สามารถจัดเก็บขยะได้อย่างครอบคลุมพื้นที่ และเกิดประโยชน์สูงสุดในการใช้ยานพาหนะในการจัดเก็บ (Sumprasert and Yaovasuwanchai, 2016) และใช้ข้อมูลของเทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา เป็นพื้นที่กรณีศึกษา ซึ่งการศึกษาข้างต้นนี้ส่งผลโดยตรงต่อต้นทุนเชื้อเพลิงและการวางแผนงานในการจัดเก็บขยะและใช้ทรัพยากรให้เกิดประโยชน์สูงสุดเพื่อรองรับต่อการขยายตัวของประชากรเพื่อการพัฒนาเชิงพื้นที่อย่างยั่งยืนต่อไปในอนาคต

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาแนวทางการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะและลดจำนวนรอบในการวิ่งจัดเก็บขยะมูลฝอย โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะด้วยวิธีปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP)
2. เพื่อเปรียบเทียบระยะทาง รวมถึงประโยชน์การใช้พื้นที่ของยานพาหนะก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง

ขอบเขตการวิจัย

งานวิจัยนี้มีขอบเขตในการศึกษาการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (Geographic Information System) ร่วมกับวิธีการแก้ปัญหาค้นหาเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) เพื่อวางแผนเส้นทางเดินรถที่เหมาะสม โดยมีการกำหนดขอบเขตการศึกษาในด้านต่างๆต่อไปนี้

1. ขอบเขตด้านพื้นที่: การศึกษาเน้นพื้นที่ในเขตเทศบาลตำบลท่าข้าม จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งเป็นพื้นที่ให้บริการจัดเก็บขยะของหน่วยงานท้องถิ่น โดยจะพิจารณาถนนสายหลัก ถนนรอง และจุดจอดขยะ (garbage collection points) ที่อยู่ภายในเขตพื้นที่รับผิดชอบของเทศบาล พื้นที่ในเขตการปกครองทั้งสิ้น 21.50 ตารางกิโลเมตร

2. ขอบเขตด้านข้อมูลและตัวแปรที่ใช้: (1) ข้อมูลเชิงพื้นที่: ข้อมูลเส้นทางถนน จุดจอดขยะ เขตบริการจัดเก็บขยะ และข้อมูลทางภูมิศาสตร์อื่น ๆ ที่เกี่ยวข้อง (2) ข้อมูลการดำเนินงาน: เวลาทำการของรถเก็บขยะ ปริมาณขยะที่ต้องจัดเก็บ จำนวนและประเภทของรถเก็บขยะ (3) ข้อมูลข้อจำกัด: กฎระเบียบและข้อจำกัดด้านการเดินรถ เช่น ถนนวันเวย์ น้ำหนักบรรทุกสูงสุดของรถ ระยะเวลาการให้บริการ

3. ขอบเขตด้านวิธีการวิจัย: (1) การเก็บรวบรวมข้อมูล: ใช้การสำรวจภาคสนามร่วมกับการนำเข้าสู่ข้อมูล GIS เพื่อระบุจุดจอดขยะและเส้นทางถนนจำนวนจุดจัดเก็บขยะทั้งสิ้น 1,160 จุด (2) การวิเคราะห์เส้นทางเดินรถ: ใช้แนวคิด ปัญหาการหาเส้นทางยานพาหนะ (Vehicle Routing Problem: VRP) ในการคำนวณและปรับปรุงเส้นทางทำการเก็บขยะให้มีประสิทธิภาพสูงสุด โดยพิจารณาทั้งระยะทาง เวลาการเดินทาง และข้อจำกัดของเทศบาล (3) ขอบเขตด้านเวลาในการเก็บข้อมูล: ใช้ข้อมูลปริมาณขยะมูลฝอยที่เกิดขึ้นจริงในปี พ.ศ. 2565-2566

เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัญหาการหาเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) เป็นปัญหาที่มีการศึกษาและได้รับความนิยมนำไปใช้ในการประยุกต์แก้ปัญหาด้านการขนส่งโดยมีการเพิ่มเงื่อนไขและข้อจำกัดต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับกรณีศึกษาหรือเหตุการณ์จริง ทำให้ปัญหา VRP มีความหลากหลาย (Kongkaew et al., 2016) เป็นวิธีที่ผู้ปฏิบัติการด้านโลจิสติกส์ใช้เพื่อลดต้นทุน ในการขนส่งและลดระยะเวลาในการจัดส่งสินค้า โดยการหาเส้นทางที่สั้นลงโดยผลเฉลยที่ได้จะขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ (Objective) และข้อจำกัดในการแก้ปัญหา (Constraint) ที่เกิดขึ้น เพื่อให้สามารถค้นหาเส้นทางเดินรถที่ขนส่งสินค้าไปยังลูกค้าแต่ละรายตามปริมาณความต้องการสินค้าของลูกค้าภายใต้ข้อกำหนดในเรื่องของค่าใช้จ่ายที่ต่ำที่สุด หรือเวลาที่ใช้ในการเดินทางที่น้อยที่สุด (Sumprasert and Yaovasuwanchai, 2016) และนำแนวคิด Large Neighborhood Search (LNS) มาใช้ในการแก้ปัญหานี้ ซึ่งกำหนดเส้นทางยานพาหนะที่แตกต่างกันและมีการให้โปรแกรมสร้างเส้นทางที่วิ่งที่มีระยะทางที่น้อยที่สุดตามชุดข้อมูลที่ใส่ลงไป ทำให้ได้เส้นทางที่สั้นที่สุดและลดค่าใช้จ่ายในการขนส่งและทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าขององค์กรลดน้อยลง (Gunes, 2017) (Oudonemexay, 2021) สอดคล้องกับ (Kamawut and Panpiphat, 2019) กล่าวว่า การหาเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing) เป็นวิธีที่ใช้ในการปฏิบัติหนึ่งทางด้านโลจิสติกส์ที่ใช้ในการลดต้นทุนการขนส่งและลดระยะเวลาด้วยการค้นหาเส้นทางที่สั้นลง ซึ่งการจะเลือกรูปแบบเส้นทางเดินรถให้มีความเหมาะสมเป็นเรื่องที่มีความท้าทายเนื่องจากมีปัจจัยที่เกี่ยวข้องมาก เช่น ระยะทางแต่ละจุดที่อยู่ห่างกัน จำนวนของยานพาหนะ ปริมาณสามารถบรรทุกด้วยเหตุนี้ปัญหาการหาเส้นทางเดินรถจึงถูกนำมาใช้ในการแก้ปัญหายุ่งยากเกี่ยวกับการขนส่งในหลายรูปแบบ รวมถึง

การนำแนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) มาใช้จัดเส้นทางในการเก็บขยะ โดยจากงานวิจัยของ Son et al. (2024) ที่จัดเส้นทางรวบรวมขยะใหม่กรณีศึกษาในเมืองดานัง ทำให้ระยะทางในการเก็บขยะลดลงทุกเส้นทาง ซึ่งนำไปสู่การลดต้นทุนการดำเนินงานและปรับปรุงประสิทธิภาพการจัดเก็บขยะของเมือง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Tee and Cruz (2022) ที่นำแนวคิดปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle routing problem: VRP) มาใช้จัดเส้นทางในการเก็บขยะพลาสติก และทำให้การจัดการขยะมีประสิทธิภาพและคุ้มค่ามากขึ้น

Chaiwongsakda et al. (2015) ศึกษาการจัดเส้นทางขนส่งน้ำดื่มโดยวิธีเซฟวิงอัลกอริทึมที่รวมกับการใช้โปรแกรมเชิงเส้นตรงแก้ปัญหาโดยใช้ Solver ใน Microsoft Excel (Sodsoon et al., 2015) เสนอวิธีระบบอาณานิคมมาร่วมกับขั้นตอนการปรับคุณภาพคำตอบในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางพาหนะขนส่งโดยมีพาหนะขนส่งหลายขนาดและการขนส่งอยู่ภายใต้กรอบเวลาที่จำกัด และ Uppathum (2014) ศึกษาเส้นทางที่เหมาะสมในการจัดเก็บขยะในแต่ละหมู่บ้าน โดยใช้วิธีเจเนติกอัลกอริทึม (Genetic Algorithm: GA) เพื่อเปรียบเทียบผลทดสอบกับการเดินรถจัดเก็บขยะแบบดั้งเดิม

นอกจากนี้ การใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ หรือ GIS สามารถแปลความหมายเชื่อมโยงกับสภาพภูมิศาสตร์อื่น สภาพท้องที่ สภาพการทำงานของระบบสัมพันธ์กับสัดส่วนระยะทางและพื้นที่จริงบนแผนที่ ที่ใช้กำหนดข้อมูลและสารสนเทศที่มีความสัมพันธ์กับตำแหน่งในเชิงพื้นที่ เช่น ที่อยู่ บ้านเลขที่ สัมพันธ์กับตำแหน่งในแผนที่ ตำแหน่งเส้นรุ้ง เส้นแวง ข้อมูลและแผนที่ใน GIS เป็นระบบข้อมูลสารสนเทศที่อยู่ในรูปของตารางข้อมูล และฐานข้อมูลที่มีส่วนสัมพันธ์กับข้อมูลเชิงพื้นที่ (Spatial Data) ที่แสดงในรูปของภาพ (graphic) แผนที่ (map) ที่เชื่อมโยงกับข้อมูลเชิงบรรยาย (Attribute Data) หรือฐานข้อมูล (Database) การเชื่อมโยงข้อมูลทั้งสองประเภทเข้าด้วยกัน จะทำให้ผู้ใช้สามารถที่จะแสดงข้อมูลทั้งสองประเภทได้พร้อม ๆ กัน ทำให้สื่อความหมายในเรื่องการเปลี่ยนแปลงที่สัมพันธ์กับเวลาได้ เช่น การแพร่ขยายของโรคระบาด การเคลื่อนย้าย ถิ่นฐาน การบุกรุกทำลาย การเปลี่ยนแปลงของการใช้พื้นที่ ฯลฯ ข้อมูลเหล่านี้ เมื่อปรากฏบนแผนที่ทำให้สามารถแปลและสื่อความหมาย ใช้งานได้ง่าย (Geo-InformaticS Center for Thailand, 2021) GIS ถูกนำมาใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูลเชิงพื้นที่ของการสร้างขยะ (Mondal et al., 2024) และวิเคราะห์การกระจายสิ่งอำนวยความสะดวกในการจัดการขยะและการเข้าถึงขยะได้ (Arsanti et al., 2024)

วิธีปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถนำมาใช้วิเคราะห์หาเส้นทางเดินรถจัดเก็บขยะ และกำหนดตำแหน่งการติดตั้งถังขยะที่เหมาะสม (Optimize Route) เพื่อช่วยลดงบประมาณในการดำเนินการระบบจัดเก็บขยะมูลฝอยได้ โดย Chairat (2015) มีการศึกษาในกรณีศึกษาเทศบาลตำบลลงเหนือ อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ ซึ่งงานวิจัยนี้ได้มีการกำหนดตำแหน่งการติดตั้งถังขยะใหม่ และจัดเส้นทางในการเก็บขยะใหม่ ทำให้ลดระยะทางในการเดินรถได้ ร้อยละ 39.13 และลดงบประมาณในการดำเนินการจัดเก็บขยะมูลฝอยได้ ร้อยละ 24.15 (Chairat, 2015)

Lateh et al. (2019) ได้ศึกษารูปแบบการวางแผนการให้บริการการขนส่งผู้สูงอายุที่มาใช้บริการที่โรงพยาบาลหาดใหญ่ โดยใช้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีกรอบเวลา (VRP with Time Window) พิจารณาถึงจำนวนผู้ใช้บริการให้ครอบคลุมมากที่สุด เส้นทางเดินรถ และจำนวนรถบริการที่เหมาะสม และมีวัตถุประสงค์ที่จะวางแผนการขนส่งจากบ้านไปยังโรงพยาบาล (Home to Hospital Transport Planning, HHTP) เพื่อแก้ปัญหาการขนส่งประชากรผู้สูงอายุในพื้นที่อำเภอหาดใหญ่ ที่มารับบริการที่โรงพยาบาลหาดใหญ่ จำนวน 150,000 ครั้งต่อปี

ให้มีระยะทางในการขนส่งโดยรวมที่สั้นที่สุด ในงานวิจัยนี้ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถแบบมีกรอบเวลา (VRP with Time Window) และใช้โปรแกรม ArcGIS 10.2 ประมวลผล ซึ่งผลจากงานวิจัยพบว่าสามารถลดระยะทางการขนส่งโดยรวมต่อปี เหลือ 657,000 กิโลเมตร หรือลดลงร้อยละ 65.64 จากสภาพการเดินทางปัจจุบัน

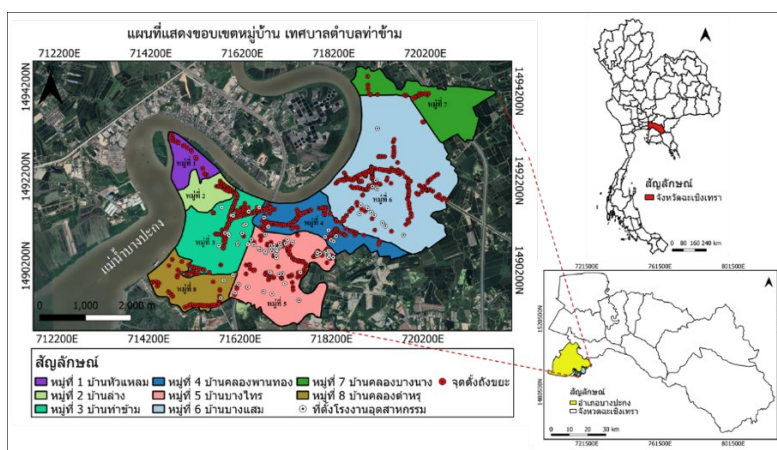
Srimungkul and Veruwan (2019) ทำการศึกษาการเพิ่มประสิทธิภาพของการจัดรถขนส่งสินค้าด้วยการใช้โปรแกรม VRP Spreadsheet Solver กรณีศึกษา ศูนย์กระจายสินค้าในจังหวัดขอนแก่น ซึ่งมีวัตถุประสงค์ในการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการเพิ่มประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางเดินรถขนส่งและลดต้นทุนในการขนส่งสินค้า โดยได้ทำการศึกษารูปแบบการจัดเส้นทางของศูนย์กระจายสินค้า โดยมีลูกค้าอยู่ทั่วภาคอีสานและใช้รถจากบริษัทขนส่งภายนอกเข้ามาทำหน้าที่ในการขนส่งสินค้าให้กับทางศูนย์กระจายสินค้า โดยในละวันมีคำสั่งซื้อที่ไม่แน่นอนแต่มีการแจ้งยอดล่วงหน้า ทำให้มีระยะเวลาในการวางแผนการจัดรถขนส่งเพื่อให้ความคุ้มค่าในแต่ละเที่ยว งานวิจัยนี้จึงได้นำทฤษฎีการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) และโปรแกรมจัดรถขนส่ง VRP Spreadsheet Solver มาพัฒนาการจัดเส้นทางเดินรถให้มีประสิทธิภาพและลดต้นทุนการขนส่งโดยมีเป้าหมายในการทำให้ระยะทางในการเดินรถมีจำนวนน้อยลงเพื่อทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าลดลงไปด้วย โดยผลลัพธ์ที่ได้คือสามารถลดระยะทางได้จาก 12,702.48 กิโลเมตร เหลือ 11,540.52 กิโลเมตร คิดเป็นร้อยละ 9.14 และลดต้นทุนการขนส่งลงได้จาก 81,765 บาท เหลือ 75,945 บาท คิดเป็นร้อยละ 7.12

วิธีดำเนินการวิจัย

1. การเก็บรวบรวมข้อมูลพื้นฐาน

1.1 เก็บข้อมูลปฐมภูมิจากการสอบถามข้อมูลและสำรวจพื้นที่ ได้แก่

1.1.1 พื้นที่ศึกษา: เทศบาลตำบลท่าข้าม มีพื้นที่ในเขตการปกครองทั้งสิ้น 21.50 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย 8 หมู่บ้าน จำนวนครัวเรือนในเขตพื้นที่เท่ากับ 8,667 ครัวเรือน ประชากรทั้งสิ้น 7,413 คน และคาดการณ์ว่ามีจำนวนประชากรแฝงในพื้นที่ 10,000 คน ความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ประมาณ 354 คนต่อตารางกิโลเมตร (ข้อมูลสำนักทะเบียนท้องถิ่นเทศบาลตำบลท่าข้าม ณ เดือนกันยายน พ.ศ. 2566) จำนวนอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่ 95 แห่ง จำนวนจุดตั้งถังขยะทั้งสิ้น 1,160 จุดและมีปริมาณขยะมูลฝอยรวม 106,772 กิโลกรัมต่อสัปดาห์ (ภาพที่ 1)



ภาพที่ 1 แผนที่แสดงขอบเขตหมู่บ้านและจุดตั้งถังขยะมูลฝอย เทศบาลตำบลท่าข้าม ปี พ.ศ. 2565

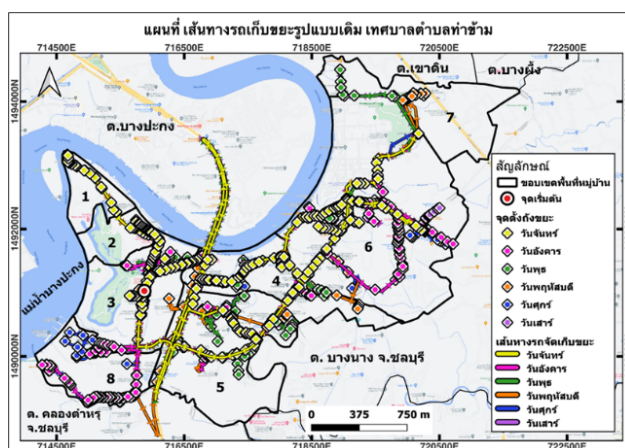
1.1.2 ประเภทถังขยะและขนาดบรรจุ: ถังขยะแบ่งออกเป็น 4 ขนาด คือ ถังขยะขนาด 660 ลิตร จำนวน 229 ใบ, ถังขยะขนาด 240 ลิตร จำนวน 883 ใบ, ถังขยะขนาด 200 ลิตร จำนวน 20 ใบและถังขยะขนาด 100 ลิตร จำนวน 13 ใบ รวมเป็นจำนวนทั้งสิ้น 1,145 ใบ

1.1.3 ระยะทางของเส้นทางเดิมในการเก็บขยะมูลฝอยภายใน 1 สัปดาห์ (เก็บขยะวันจันทร์ถึงวันเสาร์)

ตารางที่ 1 ระยะทางของเส้นทางเดิมในการเก็บขยะมูลฝอย

วันที่มีการเก็บขยะ	เส้นทางเดิมระยะทางการเก็บขยะรวม (กิโลเมตร)
จันทร์	56.40
อังคาร	49.20
พุธ	64.70
พฤหัสบดี	54.10
ศุกร์	54.20
เสาร์	58.30
รวม	336.90

1.1.4 เส้นทางเดิมที่ใช้ในการเก็บขยะภายใน 1 สัปดาห์ (เก็บขยะวันจันทร์ถึงวันเสาร์)



ภาพที่ 2 เส้นทางรถจัดเก็บขยะรูปแบบเดิมของรถทั้ง 3 คันภายใน 1 สัปดาห์

1.1.5 ประเภทรถในการบรรทุกขยะ: ลักษณะยานพาหนะที่ใช้ในการจัดเก็บคือรถบรรทุกขยะแบบอัดท้าย จำนวน 3 คัน ได้แก่ คันที่ 1 และคันที่ 2 ความจุ 10 ลบ.ม. น้ำหนักความจุรวมไม่เกิน 6,300 กิโลกรัม (รถเก็บขยะขนาดเล็ก) และ คันที่ 3 ความจุ 15 ลบ.ม. น้ำหนักความจุรวมไม่เกิน 9,000 กิโลกรัม (รถเก็บขยะขนาดใหญ่)

1.1.6 จำนวนวันในการเก็บขยะมูลฝอย: มีการจัดเก็บขยะวันจันทร์ถึงวันเสาร์จำนวนรวมทั้งสิ้น 6 วันต่อสัปดาห์

1.1.7 จำนวนรอบในการเก็บขยะ: วันจันทร์ (เก็บขยะ 2 รอบ) รอบแรก 03.00 น. – 07.00 น. และรอบที่สอง 09.00 น. – 11.00 น. ส่วนวันอังคารถึงวันเสาร์จะมีการจัดเก็บขยะมูลฝอย 1 รอบต่อวันในเวลา 03.00 น. – 07.00 น. ทั้งนี้จะมีการใช้รถทั้ง 3 คันในการวิ่งเก็บขยะทุกวัน จำนวนรอบรถทั้งสิ้น 21 รอบต่อสัปดาห์

1.1.8 อัตราความเร็วเฉลี่ยของการเดินทาง: ความเร็วรถคันที่ 1 = 26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คันที่ 2 = 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคันที่ 3 = 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

1.1.9 บ่อกำจัดขยะหรือจุดฝังกลบ: ระยะทางในการขนส่งขยะในแต่ละวันไปยังบ่อกำจัดขยะหรือจุดฝังกลบพบว่าระยะทาง 41.9 กิโลเมตร

1.1.10 พนักงานจัดเก็บขยะ: มีพนักงานประจำรถคันละ 4 คน ซึ่งประกอบไปด้วย คนขับรถ 1 ท่าน และเจ้าหน้าที่เก็บขยะประจำรถบรรทุกขยะ 3 ท่าน

1.2 ข้อมูลทุติยภูมิ: ขอบเขตพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ภายใต้ความรับผิดชอบของเทศบาล ขอบเขตหมู่บ้านเทศบาลตำบลท่าข้าม มีพื้นที่ในเขตการปกครองทั้งสิ้น 21.50 ตารางกิโลเมตร ประกอบด้วย 8 หมู่บ้าน จำนวนครัวเรือนในเขตพื้นที่เท่ากับ 8,858 ครัวเรือน ประชากรทั้งสิ้น 7,630 คน และคาดการณ์ว่ามีจำนวนประชากรแฝงในพื้นที่ 10,000 คน จำนวนอุตสาหกรรมในเขตพื้นที่ 95 แห่ง จำนวนจุดตั้งถังขยะทั้งสิ้น 1,160 จุด (บันทึกค่าพิถีพิถันการสำรวจเชิงพื้นที่รถเก็บขยะจำนวน 3 คัน ในรอบ 1 สัปดาห์)

2. เครื่องมือที่ใช้ในการรวบรวมข้อมูล รวบรวมข้อมูลปฐมภูมิในฐานข้อมูลแบบ Spreadsheet และนำเข้าข้อมูลถนนจากแผนที่ฐาน Google Map เพื่อสร้างโครงข่ายถนน (Network Analyst) และกำหนดข้อมูลขอบเขตพื้นที่ทางภูมิศาสตร์ที่ทำการศึกษาดำเนินการด้วยโปรแกรมด้านสารสนเทศภูมิศาสตร์ เพื่อคำนวณหาระยะทางของพื้นที่ที่ต้องการศึกษา จากนั้นนำเข้าข้อมูลทั้งหมด เพื่อใช้ในการกำหนดเงื่อนไข ข้อจำกัด ในการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางการเดินทางด้วยฟังก์ชัน VRP (Vehicle Routing Problem)

3. การวิเคราะห์ข้อมูล

3.1 การวิเคราะห์จัดเส้นทางรถเดินทางด้วยฟังก์ชัน VRP (Vehicle Routing Problem) ผ่านโปรแกรมด้วยโปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ Quantum GIS (QGIS) กำหนดให้ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ของการวิเคราะห์เพื่อจัดเส้นทางรถที่มีประสิทธิภาพที่สุด คือ เส้นทางรถเดินทางรวมมีระยะทางที่สั้นที่สุด และมีข้อจำกัดที่สำคัญ คือ จุดเริ่มต้นและสิ้นสุดของการเก็บขยะแต่ละรอบ คือเทศบาลตำบลท่าข้าม ในหนึ่งสัปดาห์ (6 วันทำงาน) ต้องสามารถจัดเก็บขยะได้ครบทุกจุด (1,160 จุด) โดยมีรถเก็บขยะจำนวน 3 คัน ได้แก่ คันที่ 1: 82-0563 (ความจุ 6,300 กิโลกรัม), คันที่ 2: 82-2243 (ความจุ 6,300 กิโลกรัม) และ คันที่ 3: 81-2966 (ความจุ 9,000 กิโลกรัม) มีระยะเวลาในการเก็บขยะ 2 รอบต่อวัน คือ รอบแรก 03.00 น. – 07.00 น. และรอบที่สอง 09.00 น. – 11.00 น. ปริมาณขยะที่เก็บแต่ละรอบของรถแต่ละคันต้องไม่เกินความจุในการบรรทุกขยะ และเก็บขยะตามปริมาณขยะมูลฝอยที่เคยเกิดขึ้นในแต่ละจุด

การวิเคราะห์เปรียบเทียบแนวทางในการปรับปรุงการจัดเส้นทางรถเก็บขยะจะแบ่งเป็น 2 แนวทาง คือ แนวทางที่ (1) การใช้เส้นทางจัดเก็บเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลำดับในการจัดเก็บในแต่ละจุด และ แนวทางที่ (2) การจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม และมีการวิเคราะห์และกำหนดเงื่อนไขเพื่อจัดเส้นทางรถเดินทางตามเงื่อนไข ดังนี้

แนวทางที่ 1 การใช้เส้นทางจัดเก็บเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลำดับในการจัดเก็บในแต่ละจุด มีเงื่อนไข คือ

- จำนวนจุดจะเท่ากับจำนวนจุดจัดเก็บเดิมในแต่ละเส้นทาง
- กำหนดเส้นทางการเดินรถเป็นเส้นทางเดิม
- ความเร็วรถ คันที่ 1 = 26 กิโลเมตรต่อชั่วโมง คันที่ 2 = 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และคันที่ 3 = 24 กิโลเมตรต่อชั่วโมง

แนวทางที่ 2 การจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ใช้แนวคิดของ Large Neighborhood Search (LNS) โดยบันทึกข้อมูลระยะทางแต่ละจุดใน excel และให้คำนวณหาระยะที่สั้นที่สุดโดยไม่เกินข้อจำกัด ให้เริ่มเดินทางจาก 0 ไปยังจุดที่มีระยะทางสั้นที่สุด และไม่วิ่งกลับจุดเดิม จนครบ 1,160 จุด โดยมีสูตรคือ $C_{ij} = C_{ip} + C_{pj}$

โดย C_{ij} = ค่าระยะทางจากจุด i ไปจุด j

C_{ip} = ค่าระยะทางจากจุด i ไปจุดใด ๆ ใน p มิติ

C_{pj} = ค่าระยะทางจากจุด i ไปจุดใด ๆ ใน p มิติไปโหนด j

และมีเงื่อนไข สำหรับแนวทางที่ 2 คือ

- จุดเริ่มจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดในการเดินรถคือจุดเดียวกัน
- จำนวนจุดจะเท่ากับจำนวนจุดจัดเก็บรวมในแต่ละวัน
- ความเร็วรถ ใช้ความเร็ว 17 กิโลเมตรต่อชั่วโมง เท่ากันทุกคัน

3.2 นำข้อมูลและปัจจัยที่เกี่ยวข้องใส่ในโปรแกรม VRP Spreadsheet solver โดยทำการจำลองการจัดเส้นทางเดินรถรูปแบบเดิม และจำลองการจัดเส้นทางเดินรถ 2 แนวทางใหม่ที่ผ่านการวิเคราะห์โดยฟังก์ชัน VRP (Vehicle Routing Problem) เพื่อนำมาเปรียบเทียบผลก่อนและหลังปรับปรุง โดยวิเคราะห์ข้อมูลการเดินทางเฉลี่ยของรถแต่ละคัน หลังจากได้ผลลัพธ์เส้นทางเดินรถทั้ง 2 แนวทาง ได้แก่ ระยะทาง เวลา จำนวนจุดจัดเก็บขยะ และปริมาณขยะที่สามารถเก็บได้ เพื่อคำนวณหาระยะทางรวม และประโยชน์ในการใช้ยานพาหนะ

3.3 สรุปผลข้อมูลเพื่อเปรียบเทียบระยะทางรวมต่อสัปดาห์ ระหว่างเส้นทางจัดเก็บเดิม กับเส้นทางเดินรถใหม่ตามแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 และเปรียบเทียบประโยชน์จากการใช้รถจัดเก็บขยะมูลฝอยระหว่างเส้นทางจัดเก็บเดิมกับการเดินรถแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2

ผลการวิจัย

1. แนวทางการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะและลดจำนวนรอบในการวิ่งจัดเก็บขยะมูลฝอย โดยการประยุกต์ใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะด้วยวิธีปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถ (Vehicle Routing Problem: VRP) แบ่งเป็น 2 แนวทางดังนี้ แนวทางที่ 1 การใช้เส้นทางจัดเก็บเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลำดับในการจัดเก็บในแต่ละจุดและแนวทางที่ 2 การจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ตามแนวคิดของ Large Neighborhood Search (LNS) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

แนวทางที่ 1 การใช้เส้นทางจัดเก็บเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลำดับในการจัดเก็บในแต่ละจุด กำหนดให้รถเก็บขยะแต่ละคันใช้เส้นทางเดินรถเดิมที่เคยวิ่งประจำในแต่ละวัน แต่มีการสลับลำดับจุดจัดเก็บขยะ ทำให้มีผลลัพธ์ในการใช้รถเก็บขยะแต่ละคันเป็น ดังนี้

ตารางที่ 2 สรุปผลการใช้รถคันที่ 1- 3 ต่อสัปดาห์ จากการจัดเส้นทางใหม่ตามแนวทางที่ 1

แนวทางที่ 1						
	ความจุของรถต่อรอบ การขนส่ง (กิโลกรัม)	จำนวนรอบ ที่วิ่ง	ระยะทาง รวม (กิโลเมตร)	จำนวนจุด จัดเก็บขยะ	ปริมาณ บรรทุกขยะ (กิโลกรัม)	อัตราประโยชน์ ในการใช้รถเก็บ ขยะ
คันที่ 1	6,300	7	92.00	407	36,102	81.86
คันที่ 2	6,300	7	80.60	464	34,414	78.04
คันที่ 3	9,000	6	82.80	289	36,256	67.14

รถคันที่ 1 ความจุรถ 6,300 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 7 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 92 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 407 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 36,102 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 81.86 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 2)

รถคันที่ 2 ความจุรถ 6,300 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 7 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 80.6 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 464 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 34,414 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 78.04 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 2)

รถคันที่ 3 ความจุรถ 9,000 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 6 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 82.8 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 289 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 36,256 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 67.14 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 2)

การวางแผนการจัดเก็บขยะมูลฝอยโดยใช้เส้นทางจัดเก็บเดิมแต่ปรับเปลี่ยนลำดับในการจัดเก็บของรถขยะทั้ง 3 คันต่อหนึ่งสัปดาห์ สามารถทำให้ระยะทางที่ใช้ในการเก็บขยะเหลือ 255.4 กิโลเมตร จากเดิม 336.9 กิโลเมตร โดยจัดเก็บขยะได้ครบทั้ง 1,160 จุด และสามารถจัดเก็บขยะได้รวม 106,772 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์จากการใช้รถเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 75.09 ของปริมาณความจุรวม จากเดิมที่มีประโยชน์จากการใช้รถร้อยละ 70.62 ของปริมาณความจุรวม เนื่องจากจำนวนรอบจัดเก็บขยะลดลงเหลือ 20 รอบ จากเดิม 21 รอบ

แนวทางที่ 2 การจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ตามแนวคิดของ Large Neighborhood Search (LNS) เป็นการวางแผนเส้นทางจัดเก็บขยะใหม่ทั้งหมด ทำให้มีผลลัพธ์ในการใช้รถเก็บขยะแต่ละคันเป็น ดังนี้

ตารางที่ 3 สรุปผลการใช้รถคันที่ 1- 3 ต่อสัปดาห์ จากการจัดเส้นทางใหม่ตามแนวทางที่ 2

แนวทางที่ 2						
	ความจุของรถต่อรอบ การขนส่ง (กิโลกรัม)	จำนวนรอบ ที่วิ่ง	ระยะทาง รวม (กิโลเมตร)	จำนวนจุด จัดเก็บขยะ	ปริมาณ บรรทุกขยะ (กิโลกรัม)	อัตราประโยชน์ ในการใช้รถเก็บ ขยะ
คันที่ 1	6,300	7	92.30	438	40,356	91.51
คันที่ 2	6,300	5	59.90	255	28,807	91.45
คันที่ 3	9,000	6	101.40	467	37,609	69.65
รวม		18	253.60	1,160	106,772	

รถคันที่ 1 ความจุรถ 6,300 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 7 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 92.3 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 438 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 40,356 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 91.51 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 3)

รถคันที่ 2 ความจุรถ 6,300 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 5 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 59.9 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 255 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 28,807 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 91.45 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 3)

รถคันที่ 3 ความจุรถ 9,000 กิโลกรัม มีจำนวนรอบวิ่งทั้งสัปดาห์จำนวน 6 รอบ คิดเป็นระยะทางรวม 101.4 กิโลเมตร จำนวนจุดจัดเก็บขยะ 467 จุด และจัดเก็บขยะปริมาณรวม 37,609 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์ในการใช้รถบรรทุกร้อยละ 69.65 ของปริมาณความจุรวม (ตารางที่ 3)

การวางแผนการจัดเก็บขยะมูลฝอยโดยจัดเส้นทางจัดเก็บขยะใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ตามแนวคิดของ Large Neighborhood Search ของรถขยะทั้ง 3 คันต่อหนึ่งสัปดาห์ สามารถทำให้ระยะทางที่ใช้ในการเก็บขยะเหลือ 253.6 กิโลเมตร จากเดิม 336.9 กิโลเมตร โดยจัดเก็บขยะได้ครบทั้ง 1,160 จุด และสามารถจัดเก็บขยะได้รวม 106,772 กิโลกรัม คิดเป็นประโยชน์จากการใช้รถเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 82.39 ของปริมาณความจุรวม จากเดิมที่มีประโยชน์จากการใช้รถร้อยละ 70.62 ของปริมาณความจุรวม เนื่องจากจำนวนรอบจัดเก็บขยะลดลงเหลือ 18 รอบ จากเดิม 21 รอบ (ตารางที่ 3)

2. เปรียบเทียบระยะทางรวมถึงประโยชน์ในการใช้ยานพาหนะก่อนปรับปรุงและหลังปรับปรุง จากการวิเคราะห์การจัดเส้นทางเดินรถใหม่เปรียบเทียบกับเส้นทางเดิม พบว่า ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถแนวทางที่ 1 สามารถลดระยะทางจากแนวทางเดิมได้เป็นจำนวน 81.5 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงจากผลรวมระยะทางร้อยละ 24.19 และ ผลลัพธ์การจัดเส้นทางเดินรถแนวทางที่ 2 สามารถลดระยะทางจากแนวทางเดิมได้เป็นจำนวน 83.3 กิโลเมตรต่อสัปดาห์ คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงจากผลรวมระยะทางร้อยละ 24.73 จึงสรุปได้ว่าระยะทางรวมในการจัดเก็บขยะมูลฝอยต่อหนึ่งสัปดาห์ของแนวทางที่ 2 ซึ่งมีการจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ทำให้เส้นทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยมีระยะทางลดลง เป็นแนวทางที่ดีที่สุด

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบผลลัพธ์ระยะทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยระยะระหว่างเส้นทางการจัดเก็บเดิมกับเส้นทางการเดินรถแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 (กิโลเมตร)

วันที่มีการเก็บขยะ	ระยะทางของเส้นทางเดิม	ระยะทางเส้นทางใหม่ แนวทางที่ 1	ระยะทางเส้นทางใหม่ แนวทางที่ 2
จันทร์	56.40	42.40	45.40
อังคาร	49.20	39.80	42.00
พุธ	64.70	46.90	42.60
พฤหัสบดี	54.10	40.00	39.90
ศุกร์	54.20	41.60	38.90
เสาร์	58.30	44.70	44.80
รวม	336.90	255.40	253.60

แนวทางการจัดเก็บขยะแบบเดิมมีประโยชน์จากการใช้รถร้อยละ 70.62 ของปริมาณความจุรวม จากการวิเคราะห์ประโยชน์จากการใช้ยานพาหนะ พบว่า แนวทางที่ดีที่สุด คือ แนวทางที่ 2 มีประโยชน์จากการใช้รถเพิ่มขึ้นจากแนวทางเดิมร้อยละ 11.77 และ แนวทางที่ 1 มีประโยชน์จากการใช้รถเพิ่มขึ้นจากแนวทางเดิมร้อยละ 4.47

ตารางที่ 5 สรุปเปรียบเทียบประโยชน์การใช้รถจัดเก็บขยะมูลฝอย

แนวทางการเดินรถ	ประโยชน์ในการใช้รถ	ผลต่างเมื่อเปรียบเทียบกับแนวทางเดิม
แนวทางเดิม (ร้อยละ)	70.62	-
แนวทางที่ 1 (ร้อยละ)	75.09	4.47
แนวทางที่ 2 (ร้อยละ)	82.39	11.77

อภิปรายผล

การจัดเส้นทางเดินรถในการเก็บขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลท่าข้ามใหม่ ตามแนวคิดของ Large Neighborhood Search (LNS) ซึ่งมีการจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ทำให้ผลลัพธ์ด้านระยะทางการจัดเก็บขยะมูลฝอยต่อสัปดาห์ลดลง คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 24.73 จากระยะทางการเดินรถแบบเดิม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Moryadee et al. (2019) และให้ผลลัพธ์ด้านประโยชน์ในการใช้รถที่เพิ่มขึ้นร้อยละ 11.77 ได้ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Chaipanha (2017) Lateh et al. (2019) และ Srimungkul and Veruwan (2019) โดยในด้านผลลัพธ์นั้นทำให้การจัดเส้นทางที่สั้นลงและช่วยลดต้นทุนในการขนส่งสินค้าได้ ประกอบกับการประยุกต์ใช้วิธีอัลกอริทึมแบบประหยัด (Saving Algorithm) และวิธีแบบ Metaheuristics Large Neighborhood Search (LNS) เพื่อการจัดเส้นทางเดินรถที่สามารถรองรับความต้องการของผู้ใช้งานอย่างเต็มประสิทธิภาพ ทำให้จัดเส้นทางเดินรถได้อย่างเพียงพอกับปริมาณขยะและจุดจัดเก็บขยะที่เกิดขึ้นตามสภาพแวดล้อมที่เกิดขึ้น เนื่องจากเป็นพื้นที่ชุมชน ที่มีตลาดสด หมู่บ้าน และโรงงานอุตสาหกรรมที่ไม่สามารถเปลี่ยนจุดจัดเก็บขยะได้

ซึ่งผลการวิจัยเป็นไปในทิศทางเดียวกับงานวิจัยของ Kanwimol and Jansuwan (2021) ดังนั้น การนำแนวคิด Large Neighborhood Search (LNS) มาใช้ในการแก้ไขปัญหาก็เพื่อกำหนดเส้นทางยานพาหนะที่แตกต่างกัน โดยมีจุดประสงค์คือสร้างเส้นทางการวิ่งที่มีระยะทางที่น้อยที่สุด แม้จะมีเงื่อนไขของทรัพยากรจำกัด และต้องสามารถตอบสนองต่อความต้องการตามจุดขนส่งแต่ละจุดที่ต้องบริการได้ สามารถให้ผลลัพธ์เส้นทางที่สั้นที่สุด และทำให้ต้นทุนในการขนส่งสินค้าขององค์กรลดน้อยลง (Gunes, 2013) (Oudonemexay, 2021) (Tee and Cruz, 2022) (Son et al., 2024)

เส้นทางการจัดเก็บขยะแบบเดิมในพื้นที่เทศบาลตำบลท่าข้ามมีระยะทางการเดินทางที่ไกล และมีลำดับการจัดเก็บขยะที่ทำให้ปริมาณขยะที่เก็บต่อรอบไม่เต็มคันรถ และทำให้มีรอบการเดินทางหลายรอบ นอกจากนี้เมื่อจัดเก็บขยะในแต่ละจุดไม่ทันในวันที่กำหนด จึงทำให้มีปริมาณขยะคั่งค้างในพื้นที่ จากการศึกษาในงานวิจัยนี้ได้พิจารณาจัดเส้นทางการเดินทางใหม่ตามหลักการปัญหาการจัดเส้นทางเดินทาง (Vehicle Routing Problem: VRP) และใช้ระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ประกอบการวิเคราะห์ เพื่อให้ผลลัพธ์สอดคล้องกับสภาพแวดล้อมจริงมากที่สุด ซึ่งผลการจัดเส้นทางการเก็บขยะแบบใหม่ที่ดีที่สุดคือ ผลลัพธ์การจัดเส้นทางการเดินทางแนวทางที่ 2 มีการจัดเส้นทางจัดเก็บต่อวันใหม่โดยไม่คำนึงถึงเส้นทางเดิม ทำให้ระยะทางรวมในการจัดเก็บขยะมูลฝอยต่อหนึ่งสัปดาห์ เท่ากับ 253.6 กิโลเมตร ซึ่งสามารถลดระยะทางจากแนวทางเดิมได้เป็นจำนวน 83.3 กิโลเมตร และเกิดประโยชน์ในการใช้รถเก็บขยะมากขึ้น คือ ทำให้รถจัดเก็บขยะเก็บขยะต่อรอบได้มากขึ้น จากเดิมมีประโยชน์จากการใช้รถร้อยละ 70.62 เป็นร้อยละ 82.39 ซึ่งส่งผลต่อจำนวนรอบในการเก็บขยะที่ลดลงจากเดิม 21 รอบต่อสัปดาห์ เหลือ 18 รอบต่อสัปดาห์

นอกจากนี้ การจัดเส้นทางเดินทางจัดเก็บขยะมูลฝอยของเทศบาลตำบลท่าข้าม เป็นการกำหนดเส้นทางประจำวัน (วันจันทร์ถึงวันเสาร์) ดังนั้น จึงสามารถปรับปรุงเส้นทางเดินทางใหม่โดยใช้แนวทางผสมผสานระหว่างแนวทางที่ 1 และแนวทางที่ 2 เพื่อกำหนดจัดเส้นทางการจัดเก็บขยะที่ดีที่สุด ซึ่งวิเคราะห์โดยจัดเส้นทางการเดินทางใหม่โดยนำผลลัพธ์ของการปรับปรุงในแต่ละวันที่ดีที่สุดของทั้ง 2 แนวทางมาใช้ในการวางแผนการเดินทางรวมกับการพิจารณาข้อจำกัดในการปฏิบัติงานจริงของทางเทศบาล ซึ่งจากตารางที่ 6 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางการเดินทางแนวทางผสมผสานพบว่า ระยะทางรวมในการจัดเก็บขยะมูลฝอยในหนึ่งสัปดาห์ลดลง 88.6 กิโลเมตร คิดเป็นอัตราการเปลี่ยนแปลงลดลงจากผลรวมระยะทางร้อยละ 26.3 และ ทำให้จำนวนรอบในการวิ่งรถลดลง 2 รอบ

ตารางที่ 6 ผลลัพธ์การจัดเส้นทางการเดินทางแนวทางผสมผสาน

วัน	แนวทางการเดินทางที่ดีที่สุด	ผลต่างระยะทางกับเส้นทางเดิม (กิโลเมตร)	อัตราการเปลี่ยนแปลง ลดลง (%)	จำนวนรอบในการวิ่งที่เปลี่ยนแปลง
จันทร์	แนวทางที่ 1	14	24.82	ลดลง 1 รอบ
อังคาร	แนวทางที่ 1	9.4	19.11	เท่าเดิม
พุธ	แนวทางที่ 2	22.1	34.16	เท่าเดิม
พฤหัสบดี	แนวทางที่ 2	14.2	26.25	ลดลง 1 รอบ
ศุกร์	แนวทางที่ 2	15.3	28.23	เท่าเดิม
เสาร์	แนวทางที่ 1	13.6	23.33	เท่าเดิม
รวม		88.6	26.3	ลดลง 2 รอบ



ภาพที่ 3 การจัดเส้นทางรถเก็บขยะแนวทางผสมผสานของรถ 3 คัน

ทั้งนี้ทางผู้วิจัยได้ทำการสอบถามผู้มีส่วนเกี่ยวข้องในมุมผู้ปฏิบัติงานพบว่าการจัดเส้นทางรูปแบบใหม่ดังกล่าวมีแนวทางการจัดเก็บขยะที่ชัดเจน และสามารถลดระยะทางอย่างชัดเจนแต่ในทางปฏิบัติงานจริงพนักงานขับรถเก็บขยะมักมีความเคยชินในการทำงานแบบเดิมๆซึ่งหากทางเทศบาลไม่ได้มีการควบคุมโดยใช้เทคโนโลยีติดตามเส้นทางรถเก็บขยะจริงก็อาจจะเป็นไปได้ยากในการเปลี่ยนการดำเนินงานตามที่วางแผนไว้

ข้อเสนอแนะ

1. ข้อเสนอแนะในการนำผลวิจัยไปใช้

1.1 เทศบาลผลักดันให้มีการเก็บข้อมูลขยะมูลฝอยเชิงปริมาณทั้งระบบ โดยเริ่มตั้งแต่ข้อมูลต้นทางจนถึงปลายทางและควรมีตัววัดปริมาณขยะในรูปแบบดิจิทัลเพื่อให้พนักงานสามารถวางแผนการใช้นานพาหนะให้มีประสิทธิภาพทำให้สามารถนำเข้าข้อมูลเพื่อจัดทำเป็นฐานข้อมูลขยะมูลฝอยของทางเทศบาลแบบบูรณาการบนพื้นฐานดิจิทัลแพลตฟอร์มเพื่อสร้างสิ่งแวดล้อมที่ดีอย่างยั่งยืน

1.2 โปรแกรม VRP Spreadsheet Solve เป็นโปรแกรมที่ไม่มีค่าใช้จ่าย หน่วยงานอื่นจึงสามารถนำแนวทางการวิจัยไปประยุกต์ใช้ได้ โดยต้องเก็บข้อมูลเกี่ยวกับข้อจำกัดของทรัพยากร และเงื่อนไขของการความต้องการให้ครบถ้วน ทำให้หน่วยงานสามารถประหยัดงบประมาณในการวางแผนจัดเส้นทางรถขยะได้

1.3 เทศบาลมีการดำเนินงานด้านยุทธศาสตร์การพัฒนาด้านการบริหารจัดการทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมอย่างยั่งยืน โดยมีตัวชี้วัดคือ ขยะมูลฝอยในชุมชนมีปริมาณลดลง ร้อยละ 25 โดยในแต่ละปีทางเทศบาลจะจัดสรรงบประมาณโครงการพัฒนาท้องถิ่นในยุทธศาสตร์ด้านนี้ 3 ปีซ้อนหลังเฉลี่ย ร้อยละ 2.48 ของงบประมาณทั้งหมด (รายงานแผนดำเนินงานประจำปีงบประมาณ 2567 กองยุทธศาสตร์และงบประมาณ) หากมีการวางแผนการจัดเส้นทางรถโดยใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการวิเคราะห์ปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถจะทำให้สามารถวางแผนตั้งงบประมาณได้อย่างเหมาะสมและสามารถใช้งบประมาณที่มีในโครงการได้อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้น

1.4 เทศบาลจัดทำแผนเชิงนโยบายและเชิงปฏิบัติอย่างเป็นรูปธรรมโดยเน้นให้ประชาชนเข้ามามีส่วนร่วมโดยการเปิดรับฟังความคิดเห็นจากประชาชน และมีการประชาสัมพันธ์ให้ความรู้แก่ประชาชนในเรื่องการจัดการขยะ การแยกขยะที่ถูกต้อง และ หลัก 3R อันได้แก่ Reuse Reduce Recycle เพื่อสร้างจิตสำนึกและความตระหนักต่อปัญหาขยะมูลฝอยของประชาชน และสอดคล้องกับแผนยุทธศาสตร์ชาติ 20 ปี ว่าด้วยเรื่องของการจัดการขยะเพื่อให้เกิดปริมาณขยะที่เป็น ศูนย์ หรือ Zero Waste

1.5 เทศบาลมีการสร้างเครือข่ายบูรณาการร่วมกับทางเอกชนและชุมชนมีระบบการมีส่วนร่วมในการจัดการขยะในชุมชนเชิงบูรณาการเขตเทศบาลตำบลและมีการจัดตั้งโครงการที่เป็นรูปธรรมเช่น ธนาคารคัดแยกขยะรีไซเคิล โดยมีภาครัฐและเอกชนมีส่วนร่วมในการติดตั้งอุปกรณ์ในการคัดแยก เช่น เครื่องอัดขวดพลาสติก จัดตั้งสถานที่รวบรวมขยะ การวางระบบการควบคุม และมีการรายงานผลการดำเนินงาน ให้ประชาชนทราบอย่างสม่ำเสมอเพื่อนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผนและพัฒนาต่อไป

2. ข้อเสนอแนะในการวิจัยครั้งต่อไป

2.1 ศึกษาวิเคราะห์โครงข่ายด้วยระบบสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อหาแบบจำลองที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับจุดรวบรวมขยะ (Hub) ซึ่งเป็นแนวทางที่สำคัญในการเพิ่มประสิทธิภาพการจัดการขยะก่อนนำส่งไปยังบ่อกำจัดขยะ การกำหนดตำแหน่ง Hub ที่เหมาะสมสามารถช่วยลดระยะทางและเวลาการขนส่งขยะ ลดต้นทุนเชื้อเพลิง และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ทรัพยากรของหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง โดยควรนำเทคนิคด้านการวิเคราะห์เชิงพื้นที่ เช่น การวิเคราะห์ความหนาแน่นของขยะ จุดศูนย์กลางความต้องการ (Centroid Analysis) หรือแบบจำลองการจัดสรรทรัพยากรมาใช้ในการเลือกตำแหน่ง Hub เป็นต้น

2.2 ศึกษาความเป็นไปและออกแบบโครงสร้างพื้นฐานของศูนย์ต้นแบบ Smart Recycling Hub ในพื้นที่เทศบาลตำบล โดยมีการบูรณาการความร่วมมือระหว่าง นักวิจัย ผู้เชี่ยวชาญ และผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องทั้งภาคการศึกษา ภาครัฐ เอกชน อุตสาหกรรมและการบริการรวมทั้งภาคประชาสังคม เพื่อนำไปสู่การพัฒนางานวิจัย เทคโนโลยี และนวัตกรรมที่ตอบโจทย์ความต้องการของทุกภาคส่วนที่อยู่ในห่วงโซ่อุปทานได้อย่างเหมาะสม

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยกราบขอขอบพระคุณเทศบาลตำบลท่าข้าม อำเภอบางปะกง จังหวัดฉะเชิงเทรา และคณะวิทยากรจัดการ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตศรีราชา รวมถึงผู้มีส่วนเกี่ยวข้องทุกภาคส่วนที่ให้คำแนะนำและสนับสนุนข้อมูลในการทำวิจัย จนสามารถบรรลุวัตถุประสงค์ของงานวิจัยได้สำเร็จ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อหน่วยงานตลอดจนหน่วยงานที่มีส่วนเกี่ยวข้องต่อไป

เอกสารอ้างอิง

Arsanti, V., Kharisma, R. S., Ardiansyah, I., Nugroho, B., Fajruna, M. I., Deswanti, L. Z., and Qori, M. F. A. (2024). Spatial Analysis of Waste Management Facility Distribution Using GIS. *Advance Sustainable Science, Engineering and Technology (ASSET)*, 6(4), 02404013.
<https://doi.org/10.26877/asset.v6i4.996>

- Chachoengsao Provincial Agriculture and Cooperatives Office. (2021). *Smart City*. [Online]. Retrieved from: <https://www.opsmoac.go.th/chachoengsao-news-preview-431391791210>
- Chaipanha, W. (2017). The Application of Gis to Improve Goods Delivery Route for Ice Factory Business in Maha Sarakham City. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 7(2), 1-13. (in Thai).
- Chairat, K. (2015). *Infrastructure Efficiency Improvement of Garbage Collecting System by Vehicle Routing Problem Method Case Study of Luang Nuea, Doi Saket, Chiang Mai*. Thesis of the Degree of Master Program. Chiang Mai: Chiang Mai University. (in Thai).
- Chaiwongsakda, N., Ananaue, P., Jeenaboonrueang, N., Winyangkul, S., Sinnarong, K., Jakkaew, T., Jaibal, W., and Srisawang, N. (2015). Vehicle Routing by Using a Saving Algorithm and the Traveling Salesman Problem: A Case Study of a Drinking Water Factory. *Thai Journal of Operational Research*, 3(1), 51-61. (in Thai).
- Geo-InformaticS Center for Thailand (GISTHAI). (2021). *GIS THAI*. [Online]. Retrieved from: <http://www.gisthai.org/about-gis/gis.htm>
- Gunes, E. (2017). *An open source Spreadsheet Solver for Vehicle Routing Problem*. [Online]. Retrieved from: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0305054817300552>
- Kamawut, P. and Panpiphat, P. (2019). Vehicle Routing Arrangement of Heavy Trucks for Bulk and Sack Products: A Case Study of Transportation Company. *Kasem Bundit Engineering Journal*, 9(1), 137-151. (in Thai)
- Kongkaew, W., Rungrotchatjawan, N., and Srisawang, A. (2016). Application of the problem of routing for garbage collection Case study of Prince of Songkla University Hat Yai Campus. *Thai Journal of Operations Research*, 4(2), 18-31.
- Lateh, A., Suthammanon, S., Sirivongpisal, N., and Tehyo, M. (2019). Solving a Vehicle Routing Problem with Time Window for Transportation Service Planning for Elderly People: A Case Study of Hatyai District Songkhla Province. *Princess of Naradhiwas University Journal*, 11(2), 117-131. [Online]. Retrieved from: <https://li01.tci-thaijo.org/index.php/pnujr/article/view/132835>
- Ministry of Social Development and Human Security. (2020). *Masterplan_area*. [Online]. Retrieved from: <http://chachoengsao.m-society.go.th/wp-content/uploads/2021/09>
- Mondal, S., Parveen, M. T., Alam, A., Rukhsana, Islam, N., Calka, B., Bashir, B., and Zhran, M. (2024). Future Site Suitability for Urban Waste Management in English Bazar and Old Malda Municipalities, West Bengal: A Geospatial and Machine Learning Approach. *ISPRS International Journal of Geo-Information*, 13(11), 388. <https://doi.org/10.3390/ijgi13110388>

- Moryadee, C., Aunyawong, W., and Shaharudin, M. R. (2019). Congestion and pollution, vehicle routing problem of a logistics provider in Thailand. *The Open Transportation Journal*, 13(1), 203-212.
- Oudonemexay, S. (2021). *Vehicle Routing of residential rubbish collection within the municipality of KAISONE PHOMVIHAN, Savannakhet province, LAO*. Thesis of the Degree of Master Program in Logistics. Chonburi: Burapha University. (in Thai)
- Srimungkul, P., and Veruwan, P. (2019). Increasing efficiency of vehicle routing by using VRP spreadsheet Solver: A case study of distribution center in Khon Kaen. *In Proceeding of the first National and International Conference of Kalasin University 2019: Recent Innovations of Science and Social Sciences for Sustainability* (pp. 120-128). Kalasin: Kalasin University.
- Sodsoon, S., Singsangtham, A., Noitarong, C., and Junrong, Y. (2015). *Ant Colony System (ACS)*
- Son, L. H., Ha, T. N. S., Phuong, N. N., and An, P. B. (2024). Vehicle routing problem in waste collection: a case study in Son Tra, Da Nang. *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, 118–122. <https://doi.org/10.31130/ud-jst.2024.569e>
- Sumprasert, R., and Yaovasuwanchai, S. (2016). Vehicle Routing Problem with Time Dependent Travel-Times at Cross Docking Warehouse. *Kasetsart Engineering Journal*, 29(96), 53-64.
- Tee, M. L., and Cruz, D. E. (2022). A Vehicle Routing Problem in Plastic Waste Management Considering the Collection Point Location Decisions. *The Proceedings of the IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management*, 551–555. <https://doi.org/10.1109/IEEM55944.2022.9989979>
- Uppathum, P. (2014). *The study of suitable route for waste collection: a case study of thasala subdistrict administrative organization, Manchakiri district, Khon Kean province*. Thesis of the Degree of Master Program in Construction and Infrastructure Management. Nakhon Ratchasima: Suranaree University of Technology. (in Thai).