

การจัดเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย Vehicle Routing for Collection of Infectious Waste in Chiang Rai Province

นคร ไชยวงศ์ศักดิ์^{1*} และ พรพศิน ศิริสวัสดิ์²

Nakorn Chaiwongsakda^{1*} and Pornwasin Sirisawat²

¹สาขาวิชาบริหารธุรกิจ สำนักวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

²สาขาวิชาการจัดการโลจิสติกส์และโซ่อุปทาน สำนักวิชาการจัดการ มหาวิทยาลัยแม่ฟ้าหลวง

¹Business Administration Program, School of Management, Mae Fah Luang University

² Logistics and Supply Chain Management Program, School of Management, Mae Fah Luang University

*Email: nakorn.cha@crru.ac.th

Received: September 06, 2023; Revised: November 10, 2023; Accepted: November 10, 2023

บทคัดย่อ

การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย โดยให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด ซึ่งต้นทุนจะประกอบไปด้วยต้นทุนการเดินทางที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและต้นทุนการจัดเก็บในห้องเย็น ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย ได้แก่ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล เส้นทางเดินรถในปัจจุบัน ความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละจุด ข้อจำกัดด้านเวลา ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก ความเร็วของรถในแต่ละเส้นทาง ระยะเวลา ระยะทางในการเดินทาง ระยะเวลาในการทำงานในแต่ละจุด ความสามารถในการเผา และการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อของห้องเย็น ทำการจัดเส้นทางเดินรถโดยการสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุดตามข้อจำกัดต่างๆ การหาคำตอบจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ผลการศึกษาพบว่าระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าเส้นทางปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร โดยมีต้นทุนลดลงร้อยละ 8.86 และทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 20,287 บาทต่อปี เมื่อพิจารณาในสถานการณ์ในอนาคตอีก 6 เดือนข้างหน้า ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เพิ่มขึ้น เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์จะมีต้นทุนที่ลดลงร้อยละ 10.73 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,709.6 บาทต่อปี

คำสำคัญ : การจัดเส้นทางเดินรถ, มูลฝอยติดเชื้อ, วิธีเชิงพันธุกรรม

Abstract

The study aimed to optimize infectious waste collection routes in Chiang Rai Province for cost-effectiveness. The cost includes travel expenses considering pollution emissions and storage costs in refrigerated rooms. Data was gathered from infectious waste incinerators in Chiang Rai province, including the amount of infectious waste generated by each hospital, current routes for waste collection, frequency of visits at each point, time constraints, limitations in truck loading capacity, vehicle speeds on different paths, travel times, work durations at each node, incineration capabilities, and storage capacity in refrigerated rooms. The research developed a mathematical model to optimize the waste collection routes with the lowest overall cost, considering various constraints. Finding the answer involves using a genetic

algorithm with the assistance of a packaged program to solve problems. The study found that the travel distance of the waste collection vehicle based on the mathematical model was shorter than the current routes by 8.1 kilometers. This optimization resulted in a significant cost reduction of 8.86%, leading to annual savings of 20,287 Baht. When considering the future situation in the next 6 months, with an increased amount of infectious waste, the route derived from mathematical modeling will have reduced costs by 10.73%, resulting in cost savings of 32,709.6 Baht per year.

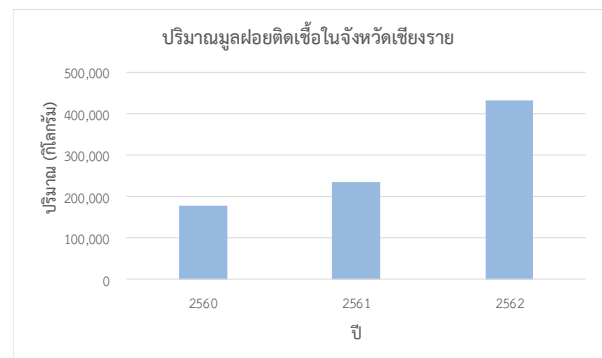
Keywords : Vehicle routing, Infectious waste, Genetic algorithm

1. บทนำ

ในปี พ.ศ. 2562 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 28.71 ล้านตัน หรือประมาณ 78,665 ตันต่อวัน โดยมีปริมาณที่เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ. 2561 ประมาณร้อยละ 3 [1] และมีการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตั้งแต่ปี พ.ศ. 2557 การเพิ่มขึ้นของขยะเป็นปัญหาที่ก่อให้เกิดความกังวลของสาธารณะอย่างกว้างขวางในปัจจุบัน ไม่เพียงแต่การเพิ่มขึ้นในเชิงของปริมาณขยะที่เกิดขึ้นเท่านั้น แต่ยังรวมถึงความซับซ้อนที่เพิ่มขึ้นของตัวขยะเองและส่วนประกอบบางอย่างด้วย [2] โดยองค์ประกอบหลักของขยะมูลฝอยจะแบ่งออกเป็น 4 ส่วน คือ (1) ขยะอินทรีย์เศษอาหาร เศษผักผลไม้ที่ย่อยสลายได้ (2) ขยะรีไซเคิล แก้ว เศษกระดาษ พลาสติก โลหะอะลูมิเนียม หรือของขายได้ (3) ขยะทั่วไป ถุงพลาสติก ของบะหมี่ โฟมฟอยด์ห่ออาหาร และ (4) ขยะอันตรายและเป็นพิษจากครัวเรือนหรือร้านค้า ในส่วนของเสียอันตราย ได้แก่ ของเสียอันตรายจากชุมชน กากของเสียอุตสาหกรรม และมูลฝอยติดเชื้อ โดยในปี พ.ศ. 2562 มีของเสียอันตรายเกิดขึ้นทั่วประเทศ จำนวน 17.50 ล้านตัน มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในปี พ.ศ. 2562 ลดลงจากปี พ.ศ. 2561 จาก 55,497 ตัน เป็น 53,173 ตัน (ลดลงร้อยละ 4.20) [1] แต่แนวโน้มปริมาณจะเพิ่มขึ้นจากการระบาดของโควิด 19 และการเข้าสู่ระบบการกำจัดที่ถูกต้องตามกฎหมายมากขึ้น

โดยจังหวัดเชียงรายในปี พ.ศ. 2560 มีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ 178,292.10 กิโลกรัม ปี 2561 มีปริมาณ 236,624.65 กิโลกรัม และในปี พ.ศ. 2562 เพิ่มขึ้นมาเป็น

432,279.50 กิโลกรัมดังรูปที่ 1 [3] การกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเกือบทั้งหมดในปัจจุบันจะส่งกำจัดในโรงงานมูลฝอยติดเชื้อ ในจังหวัดเชียงรายที่เริ่มดำเนินการเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2563 โดยมีกำลังการเผาประมาณ 4,320 กิโลกรัมต่อวัน



รูปที่ 1 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อปี พ.ศ. 2560 – 2562 ของจังหวัดเชียงราย

จากข้อมูลของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อพบว่าเดือนเมษายน พ.ศ. 2563 จังหวัดเชียงรายมีมูลฝอยติดเชื้อประมาณ 28,000 กิโลกรัมต่อสัปดาห์หรือ 4,000 กิโลกรัมต่อวัน

การจัดเส้นทางรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันทางเจ้าหน้าที่ของโรงงานเตาเผาจะช่วยกันในการจัดเส้นทางรถเพื่อไปรับมูลฝอยติดเชื้อตามโรงพยาบาลต่างๆ ซึ่งจะมีเส้นทางที่แน่นอนในแต่ละวัน โดยจะจัดเก็บวันจันทร์ถึงวันเสาร์ การจัดเส้นทางอาศัยจากประสบการณ์ ซึ่งอาจได้เส้นทางที่ยังไม่เหมาะสม บางเส้นทางมีการขับรถผ่านโรงพยาบาลแต่ก็ไม่ได้ทำการจัดเก็บเพราะไม่อยู่ในเส้นทางที่กำหนด นอกจากนี้ยังไม่ได้คำนึงถึงต้นทุนในการจัดเก็บใน

ห้องเย็น ในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางที่มีข้อจำกัดหลายด้านทั้งระยะเวลาในการเดินทาง ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก และความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละสถานที่ การจัดเส้นทางจะมีผลต่อปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เข้ามายังโรงงานเตาเผาในแต่ละวัน ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อกำลังความสามารถในการเผาของเตาขยะ และความสามารถในการจัดเก็บของห้องเย็น นอกจากนี้ในการดำเนินการขนส่งในปัจจุบันนี้ต้องมีการคำนึงถึงสิ่งแวดล้อมคือการปล่อยมลพิษด้วย จากปัญหาในการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่กล่าวมานี้ และที่ผ่านมายังไม่มีงานวิจัยที่ทำการศึกษการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและต้นทุนในการจัดเก็บในห้องเย็น

ดังนั้นการศึกษาในครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาแนวทางในการจัดการเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย โดยให้มีต้นทุนรวมในการขนส่งที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและการจัดเก็บในห้องเย็นมีค่าน้อยที่สุดและเป็นไปตามข้อจำกัดด้านต่างๆ ซึ่งจะส่งผลกระทบต่อผลการดำเนินงานที่มีประสิทธิภาพ สามารถให้บริการลูกค้าได้อย่างครบถ้วน และช่วยลดต้นทุนในการดำเนินงานได้

2. วรรณกรรมที่เกี่ยวข้อง

การจัดเส้นทางรถเดินรถ (Vehicle Routing) เป็นปัญหาที่ต้องหาว่าจะใช้รถขนส่งกี่คัน ควรจะจัดลำดับการเดินทางอย่างไร รถคันไหนควรไปหาลูกค้ารายใดบ้าง ในทางคณิตศาสตร์แล้วถือว่าปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถเป็นปัญหาที่ซับซ้อนและยากมากๆ ในการที่จะวิเคราะห์หาแผนการเดินทางที่ดีที่สุดในบรรดาแผนที่เป็นไปได้จำนวนมาก โดยเฉพาะอย่างยิ่งหากจำนวนลูกค้าและรถส่งสินค้ามีจำนวนมาก และมีเวลาอย่างจำกัดในการแก้ปัญหา ซึ่งมีโอกาสน้อยมากที่จะได้คำตอบที่มีต้นทุนที่ต่ำที่สุด

การจัดกลุ่มของปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถ สามารถจัดได้ตามลักษณะของความต้องการของลูกค้า การจัดกลุ่มตามข้อจำกัดด้านเวลา การจัดกลุ่มตามเวลาในการวางแผนการเดินทาง การจัดกลุ่มตามจำนวนของจุดเริ่มต้น ลักษณะของการส่ง จำนวนพาหนะที่ใช้ ข้อจำกัดด้านระยะทางสูงสุด หรือจำนวนลูกค้าสูงสุดที่เดินทางไปได้ เป็นต้น

ปัญหาการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ (Waste Collection Vehicle Routing Problem) จะมีการรวบรวมขยะที่เป็นส่วนหนึ่งของกระบวนการที่รับผิดชอบการนำของเสียกลับ (ขยะมูลฝอยและวัสดุรีไซเคิล) จากจุดรวบรวมไปยังสถานที่กำจัด (อาจเป็นโรงงานรีไซเคิล นำไปเป็นพลังงานหรือฝังกลบ) โดยปกติระบบการรวบรวมของเสีย (การรวบรวมและการขนส่ง) มีต้นทุนการดำเนินงานที่สูงมาก นักวิจัยจึงพยายามลดระยะทางในการกำหนดเส้นทางให้สั้นลง การค้นหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับถังขยะและภาชนะกำจัด รวมถึงจำนวนรถรวบรวมที่จำเป็นสำหรับระบบนำกลับ ในปัญหาการรวบรวมของเสียองค์การต่างๆ จำเป็นต้องนำของเสียกลับจากจุดรวบรวมและส่งไปยังสถานที่บำบัด ในปัญหานี้โดยทั่วไปแล้วจะต้องรวบรวมจุดรับสินค้าจำนวนมากเพื่อส่งไปยังสถานที่ที่เหมาะสม (โดยทั่วไปจะมีเพียงปลายทางเดียว) นี่คือการหาโลจิสติกส์ย้อนกลับซึ่งต้องรวบรวมหลายจุดโดยมีจุดส่งมอบเพียงจุดเดียว เทียบกับการส่งมอบจากจุดหนึ่งไปยังปลายทางหลายแห่งในปัญหาการขนส่งล่วงหน้า โดยทั่วไปแล้วปัญหาการกำหนดเส้นทางรถเก็บขยะประกอบด้วยกองยานพาหนะ จุดจอดรถ สิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัด โรงเก็บและถังเก็บขยะหรือจุดรวบรวมจำนวนหนึ่ง รถเริ่มต้นและสิ้นสุดที่คลังเดียวกัน ความซับซ้อนของปัญหานี้ขึ้นอยู่กับลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น ยานพาหนะประเภทต่างๆ จำนวนสิ่งอำนวยความสะดวกในการกำจัด (ที่เดียวหรือหลายแห่ง) ข้อจำกัดประเภทต่างๆ ฯลฯ เช่น ช่วงเวลาหรือความจุของรถ ข้อกำหนดของลูกค้า [2]

จากการทบทวนงานวิจัยที่เกี่ยวข้องพบว่าในช่วงแรกในการแก้ปัญหาการจัดเส้นทางรถเดินรถจะใช้วิธีสถิติแบบดั้งเดิม แต่ในช่วง 10 ปีที่ผ่านมา คือช่วงปี พ.ศ. 2553 – 2563 จะใช้วิธีเมตาฮิวริสติกส์เป็นหลัก เนื่องจากมีความยืดหยุ่น สามารถหาคำตอบจากปัญหาที่มีความซับซ้อนได้ และสามารถหาคำตอบได้ในเวลาที่รวดเร็ว โดยเครื่องมือที่นิยมมาใช้ในการจัดเส้นทางรถเก็บขยะ คือ การค้นหาคำตอบแบบทาบ การค้นหาเฉพาะที่ วิธีการค้นหาคำตอบแบบอาณานิคม และวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งวิธีเหล่านี้ช่วยปรับปรุงประสิทธิภาพในการจัดเส้นทางได้ดีกว่าการดำเนินการเดิมของแต่ละงานวิจัย

จากการศึกษาที่ประยุกต์ใช้วิธีเชิงพันธุกรรมกับปัญหาการจัดเส้นทางยานพาหนะพื้นฐาน ซึ่งทราบความต้องการของลูกค้าและได้รับการจัดหาจากคลังเดียว ยานพาหนะอาจมีการจำกัดน้ำหนัก และในบางกรณีอาจมีการจำกัดระยะทางที่เดินทาง และกรอบเวลา กำหนดให้มีรถเพียงคันเดียวเท่านั้นในการจัดหาลูกค้าแต่ละราย ผลลัพธ์ที่ดีที่สุดที่ทราบค่าที่ใช้ในการเปรียบเทียบได้มาจากการค้นหาแบบทาคูหรือการจำลองการอบเหนียว งานวิจัยได้ให้ผลการคำนวณสำหรับวิธีเชิงพันธุกรรม และผลลัพธ์เพิ่มเติมที่จะได้โดยใช้วิธีเชิงพันธุกรรมแบบผสม กับวิธีการค้นหาพื้นที่ใกล้เคียง ซึ่งแสดงให้เห็นว่าวิธีการนี้สามารถแข่งขันกับการค้นหาคำตอบแบบทาคู และการจำลองการอบเหนียวในแง่ของเวลาและคุณภาพในการแก้ปัญหา [4]

นอกจากงานวิจัยที่เป็นการจัดเส้นทางแล้ว ยังมีการศึกษาปัญหาการจัดเส้นทางร่วมกับการบริหารสินค้าคงคลัง [5,6] และ การศึกษาการจัดเส้นทางร่วมกับการบริหารการผลิต [7] โดยการกำหนดระดับของสินค้าคงคลัง และปริมาณการผลิตและการขนส่งอย่างเหมาะสมที่สุดในระบบกระจายการผลิต และสินค้าคงคลังแบบบูรณาการ โดยแต่ละงานวิจัยจะมีลักษณะปัญหาที่แตกต่างกัน โดยใช้อัลกอริทึมทางพันธุกรรมในการหาคำตอบ จากวิธีเชิงพันธุกรรมที่มีความยืดหยุ่นสูง สามารถแก้ไขปัญหามีขนาดใหญ่ได้ ปัญหาที่มีข้อจำกัดมากๆ ซึ่งทำให้ได้คำตอบที่ดีในระยะเวลาที่จำกัด งานวิจัยนี้จึงจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาในครั้งนี้

3. วิธีการวิจัย

การวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณในการสร้างรูปแบบปัญหาทางคณิตศาสตร์ในการจัดเส้นทางเดินรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่คำนึงถึงต้นทุนในการเดินทาง การปล่อยมลพิษและการเก็บมูลฝอยในห้องเย็น โดยมีขั้นตอนในการวิจัย ดังนี้

ขั้นตอนที่ 1 การทบทวนทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง เพื่อที่จะศึกษาถึงรูปแบบของปัญหาการจัดเส้นทางเดินรถเก็บขยะ และวิธีในการแก้ปัญหาโดยเฉพาะวิธีฮิวริสติกส์ รวมทั้งปัจจัยที่มีผลต่อการจัดเส้นทางเดินรถ รวมทั้งการจัดตารางการเผาขยะ ปัจจัยและต้นทุนในการดำเนินงานเตาเผาขยะ

ขั้นตอนที่ 2 ทำการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงราย ได้แก่ เส้นทางเดินรถในปัจจุบัน ความถี่ในการจัดเก็บของแต่ละจุด ข้อจำกัดด้านเวลา ข้อจำกัดในการบรรทุกของรถบรรทุก ความเร็วระยะเวลา ระยะทางในการเดินทาง ระยะเวลาในการทำงานในแต่ละจุด และปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละจุด ซึ่งจะใช้อ้างอิงข้อมูลตั้งแต่วันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2563 – เดือนเมษายน พ.ศ. 2565 มาพยากรณ์ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันและอนาคตอีก 6 เดือนข้างหน้า โดยข้อมูลของการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อจะได้จากข้อมูล GPS ของรถบรรทุกและ Google Map รวมทั้งการสัมภาษณ์เจ้าหน้าที่ระดับหัวหน้างานของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดเชียงรายที่ทำหน้าที่ดูแลโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อถึงการดำเนินงานในปัจจุบัน ได้แก่ ต้นทุนเชื้อเพลิงในการขนส่ง

ขั้นตอนที่ 3 การวิเคราะห์ข้อมูล จากข้อมูลที่ได้จะทำการคำนวณหาต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อในห้องเย็นต่อหน่วย ต้นทุนในการใช้เชื้อเพลิงและต้นทุนการปล่อยมลพิษของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อ มาสร้างโมเดลทางคณิตศาสตร์เพื่อให้มีต้นทุนรวมต่ำที่สุด ตามข้อจำกัดต่างๆ โดยมีรายละเอียดดังนี้

ปัญหานี้สามารถจำลองเป็นโปรแกรมจำนวนเต็มได้ โดยมีการกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้ : [8-10]

ดัชนี

- i, j ลำดับของโรงงานเตาเผาและโรงพยาบาล โดยที่ $i, j = 0, 1, 2, \dots, n$ จุดที่ 0 คือโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ เมื่อ $N = \{0, 1, 2, 3, \dots, n\}$, $N_0 = N \setminus \{0\}$

- k วันที่มีการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อในวันที่ k โดยที่ $K = \{1, 2, 3, \dots, k\}$

- $\mathcal{A}$ คือเซตของเส้นทาง $(i, j) \in \mathcal{A}$

ตัวแปรในการตัดสินใจ (Decision Variables)

- X_{ijk} ตัวแปรไบนารี (Binary Variable) ที่มีค่าเป็น 0 หรือ 1 โดยจะมีค่าเท่ากับ 1 ถ้าหากรถขนส่งมูลฝอยติดเชื้อเดินทางจากโหนด i ไปยังโหนด j ในวันที่ k

- I_k ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในวันที่ k

- f_{ijk} ปริมาณการไหลของมูลฝอยติดเชื้อจาก i ไป j ในวันที่ k

ตัวแปรที่ทราบค่า (Parameter)

- $\bar{v}_{ij}$ รถวิ่งที่ระดับความเร็วเฉลี่ยบนถนน i ไป j

- d_{ij} ระยะทางจาก i ไป j
- t_{ij} ระยะเวลาในการเดินทางจาก i ไป j
- s_i เวลาในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่จุด i
- เตาเผามูลฝอยติดเชื้อมีรถคันเดียว โดยมี

ความสามารถในการบรรทุกเท่ากับ Q

- ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในจุดที่ i เท่ากับ q_i

กำหนดให้

$$N^* = N_0 \setminus \{3, 4, 5\}$$

$$N^\Delta = N_0 \setminus N^*$$

$$N^{**} = N^\Delta \setminus \{3\}$$

$$N^{***} = N^\Delta \setminus \{4, 5\}$$

$$K^* = K \setminus E$$

$$K^{**} = K \setminus O$$

$$K' = \{3k + 1 \mid k = 0, 1\}$$

$$K'' = \{3k + 2 \mid k = 0, 1\}$$

$$K''' = \{3k + 3 \mid k = 0, 1\}$$

โดย $O =$ เซตของจำนวนเต็มคี่ เมื่อ $O \in K$

$E =$ เซตของจำนวนเต็มคู่ เมื่อ $O \in K$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์

$$\text{Min} \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) \alpha_{ij} d_{ij} w X_{ijk}$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) \alpha_{ij} f_{ijk} d_{ij}$$

$$+ \sum_{k \in K} \sum_{(i,j) \in A} (c_f + e) d_{ij} \beta (\bar{v}_{ij})^2 X_{ijk}$$

$$+ \sum_{k \in K} h I_k \quad (1)$$

ข้อจำกัด

$$\sum_{i \in N_0} X_{i0k} = 1 \quad \forall k \in K \quad (2)$$

$$\sum_{j \in N_0} X_{0jk} = 1 \quad \forall k \in K \quad (3)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall j \in N^* \quad (4)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 1 \quad \forall i \in N^* \quad (5)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^*, \forall k \in K \quad (6)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 2 \quad \forall j \in N^{**} \quad (7)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**} \quad (8)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^{**}, \forall k \in K \quad (9)$$

$$\sum_{i \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 3 \quad \forall j \in N^{***} \quad (10)$$

$$\sum_{j \in N} \sum_{k \in K} X_{ijk} = 3 \quad \forall i \in N^{***} \quad (11)$$

$$\sum_{i \in N} X_{irk} - \sum_{j \in N} X_{rjk} = 0; \quad \forall r \in N^{***}, \forall k \in K \quad (12)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**}, \forall k \in K' \quad \forall k \in K'' \text{ and } \forall k \in K''' \quad (13)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = 2 \quad \forall i \in N^{**}, \forall k \in K', \quad \forall k \in K'' \text{ and } \forall k \in K''' \quad (14)$$

$$\sum_{i \in N} X_{ijk} = 3 \quad \forall j \in N^{***}, \quad \forall k \in K^* \text{ and } \forall k \in K^{**} \quad (15)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk} = 3 \quad \forall i \in N^{***}, \quad \forall k \in K^* \text{ and } \forall k \in K^{**} \quad (16)$$

$$\sum_{i \in N_0} (q_i \sum_{j \in N} X_{ijk}) \leq Q \quad \forall k \in K \quad (17)$$

$$\sum_{j \in N} f_{ijk} - \sum_{j \in N} f_{jik} = q_i \quad \forall i \in N_0 \quad (18)$$

$$X_{ijk} \leq f_{ijk} \leq (Q)X_{ijk} \quad \forall (i, j) \in A, \quad \forall k \in K \quad (19)$$

$$\sum_{j \in N} X_{ijk}(s_j + t_{ij}) \leq T \quad \forall i \in N, \forall k \in K \quad (20)$$

$$I_{k-1} + \sum_{k \in K} q_i X_{ijk} - I_k \leq b_k \quad \forall i, j \in N \quad (21)$$

$$X_{ijk} \in \{0, 1\} \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (22)$$

$$f_{ijk} \geq 0 \quad \forall (i, j) \in A, \forall k \in K \quad (23)$$

$$f_{0jk} = 0 \quad j \in N_0, \forall k \in K \quad (24)$$

$$I_k \geq 0 \quad \forall k \in K \quad (25)$$

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (1) โดยมีเป้าหมายคือต้นทุนต่ำที่สุด ประกอบด้วยต้นทุนในการขนส่งที่คำนึงถึงต้นทุนของเชื้อเพลิงและการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ ซึ่งจะอยู่ใน 3 ส่วนแรก และต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อ

ในส่วนข้อจำกัดประกอบไปด้วยข้อจำกัดที่ (2-3) คือจุดเริ่มต้นและสิ้นสุดในแต่ละวันจะอยู่ที่โรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (4-6) คือแต่ละจุดจะถูกจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อเพียงครั้งเดียว ข้อจำกัดที่ (7-9) โรงพยาบาลที่ 4 และ 5 ต้องการให้ทำการเก็บ 2 ครั้งต่อสัปดาห์ ข้อจำกัดที่ (10-12) โรงพยาบาลที่ 3 ต้องการให้เก็บ 3 ครั้งต่อสัปดาห์ ข้อจำกัดที่ (13-16) การกำหนดวันที่จะทำการจัดเก็บของโรงพยาบาลที่ 3 4 และ 5 โดยโรงพยาบาลที่ 3 จะทำการเก็บวันจันทร์ พุธ ศุกร์ หรือ อังคาร พฤหัสบดี เสาร์ ส่วนโรงพยาบาลที่ 4 และ 5 จะทำการเก็บวันจันทร์ พฤหัสบดี หรือ อังคาร ศุกร์ หรือ พุธ เสาร์ ข้อจำกัดที่ (17) แสดงความสามารถในการบรรทุกของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (18) แสดงสมมูลของการไหลของตัวมูลฝอยติดเชื้อ ข้อจำกัดที่ (19) แสดงการไหลมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละเส้นทางต้องไม่เกินความสามารถในการบรรทุก ข้อจำกัด (20) แสดงเวลาในการทำงานไม่เกินเวลาในการทำงานที่กำหนด (T) ข้อจำกัดที่ (21) แสดงปริมาณของมูลฝอยติดเชื้อคงคลัง เมื่อมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อมากกว่า

ความสามารถในการเผา (b_k) และข้อจำกัดที่ (22-25) เป็นข้อจำกัดของตัวแปร

จากโมเดลทางคณิตศาสตร์จะทำการวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อหาคำตอบจะใช้วิธีเชิงพันธุกรรมในการแก้ปัญหาโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป ซึ่งจะทำการแก้ปัญหาในพื้นที่จังหวัดเชียงรายในปัจจุบัน และอนาคตในอีก 6 เดือนข้างหน้า

ขั้นตอนที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนในการดำเนินการของโรงงานเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันกับคำตอบที่ได้จากการแก้ปัญหาโมเดลทางคณิตศาสตร์

4. ผลการวิจัย

การศึกษานี้เพื่อให้ได้แนวทางในการจัดเส้นทางเดินรถที่คำนึงถึงการปล่อยมลพิษและการจัดเก็บในท้องถิ่น การหาคำตอบโดยใช้โปรแกรมสำเร็จรูป วิธีที่ใช้ในการหาคำตอบคือวิธีเชิงพันธุกรรม ซึ่งจะกำหนดขนาดของประชากรที่ 500 กำหนดประชากรให้อยู่ในรูปแบบเลขฐานสอง (Binary code) ซึ่งมีจำนวน 15 บิต การเปลี่ยนยีนข้ามโครโมโซม (Crossover) 0.8 และการปรับเปลี่ยนยีนภายในโครโมโซม (Mutant) 0.2 โดยจะทำการกำหนดจำนวนรอบไว้ที่ 1,000 รอบ โดยมีขั้นตอนตามรูปที่ 2 และผลการวิเคราะห์จากโปรแกรมได้ผลที่ดีที่สุดดังตารางที่ 1

ขั้นตอนในการหาคำตอบ

ข้อมูลนำเข้า: ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (fun), จำนวนรุ่น (N_G), ขนาดประชากร (N_P), ความน่าจะเป็นแบบครอสโอเวอร์ (p_c), ความน่าจะเป็นการกลายพันธุ์ (p_m)

ผลลัพธ์: f^{best}, x^{best}

การเริ่มต้น:

- 0: สร้างประชากรเริ่มต้น $N_P \{x_{int}^i\}$ ($i = 1, \dots, N_P$), และประเมินฟังก์ชัน $\{f_{int}^i\}$ for $i=1, \dots, N_P$
- ขั้นตอนหลัก GA (สร้างรุ่นใหม่ x_{new}^{best})
 1. สุ่มเลือก 2 โครโมโซม x_p และ x_q จาก x^{best-1}
 2. สร้าง 2 โครโมโซมใหม่ x_p^{new} และ x_q^{new} โดยครอสโอเวอร์ x_p และ x_q ที่มีความน่าจะเป็นไขว้กัน p_c
 3. ดำเนินการกลายพันธุ์ใน x_p^{new} และ x_q^{new} โดยมีความน่าจะเป็นในการกลายพันธุ์ p_m
 4. คำนวณ $\{x_p^{new}\}$ และ $\{x_q^{new}\}$ เพื่อประเมินฟังก์ชัน (f)
 5. ใส่ x_p^{new} และ x_q^{new} ลงใน x^{new}

6. เลือกโครโมโซมที่ดีที่สุด N_p จาก x^{best-1} และ x^{new} เพื่อสร้าง x^{best}

7. x^{best} = โครโมโซมที่ดีที่สุดที่ใน $\{x^i\}$

8. ในขณะที่จำนวนรุ่นน้อยกว่าค่าที่ระบุ

9. กลับไปที่ขั้นตอน (1)

10. จบ

จากการเก็บข้อมูล นำมาคำนวณหาค่าต่างๆ ที่ใช้ในโมเดลคณิตศาสตร์ ดังนี้ ต้นทุนเชื้อเพลิง (c_f) 11.64 บาท/kWh ต้นทุนการปล่อยคาร์บอน (e) 0.0264 บาท/kWh α_{ij} คือ ค่าคงที่ของเส้นทาง กำหนดไว้ที่ 0.0981 เมตร/วินาที² β คือ ค่าคงที่เฉพาะของรถ เท่ากับ 2.107 กิโลกรัม/เมตร และรถมีน้ำหนัก (w) เท่ากับ 3,000 กิโลกรัม โดยรถบรรทุกเป็นรถ 6 ล้อและใช้น้ำมันดีเซล

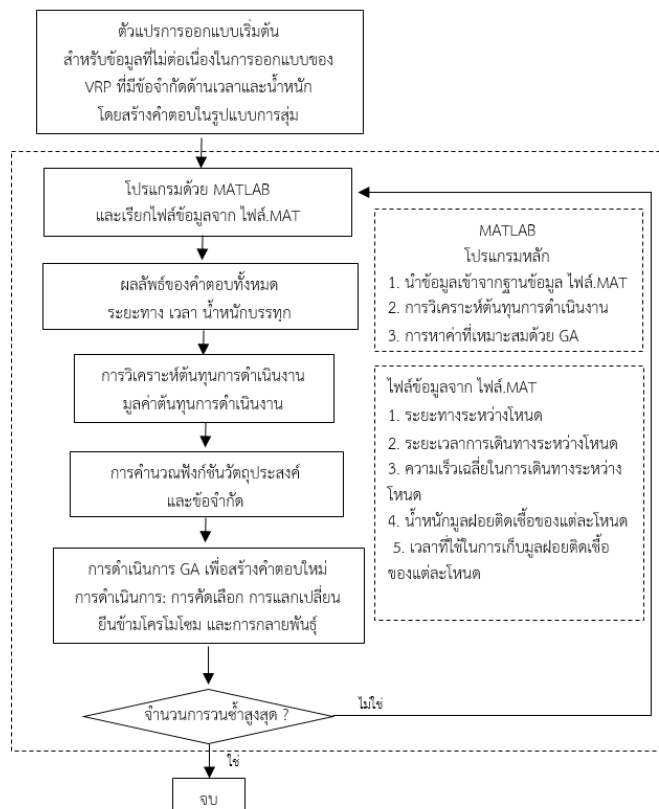
โดยต้นทุนพลังงาน (c_p) จะคำนวณมาจาก (พลังงานที่ใช้/ประสิทธิภาพเครื่องยนต์) (kWh) $\times$ ปริมาณพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหน่วย (L/8.8 kWh) $\times$ ต้นทุนน้ำมันเชื้อเพลิงต่อหน่วย (Baht)

$$\frac{1}{0.35} \text{ kWh} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times 35.74 \frac{\text{บาท}}{\text{ลิตร}} = 11.64 \text{ บาท/kWh}$$

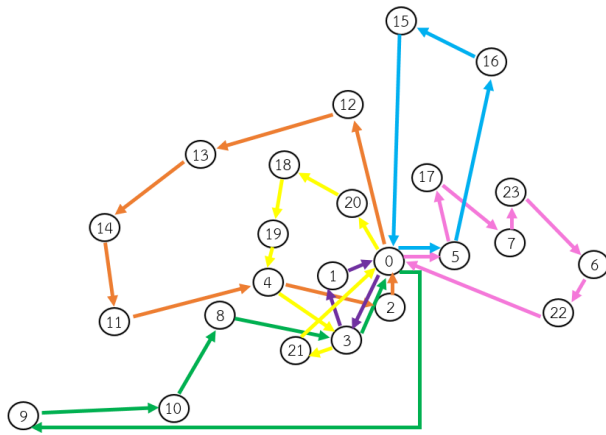
ต้นทุนการปล่อยคาร์บอน (e) จะคำนวณจาก ปริมาณเชื้อเพลิง (ลิตร) $\times$ ปริมาณคาร์บอนต่อหน่วย (ตัน/ลิตร) $\times$ ต้นทุนคาร์บอนต่อหน่วย (บาท/ตัน)

หรือ (พลังงานที่ใช้ / ประสิทธิภาพเครื่องยนต์) (kWh) $\times$ ปริมาณพลังงานที่ได้จากเชื้อเพลิงต่อหน่วย (ลิตร/8.8 kWh) $\times$ ปริมาณคาร์บอนต่อหน่วย (ตัน/ลิตร) $\times$ ต้นทุนคาร์บอนต่อหน่วย (บาท/ตัน)

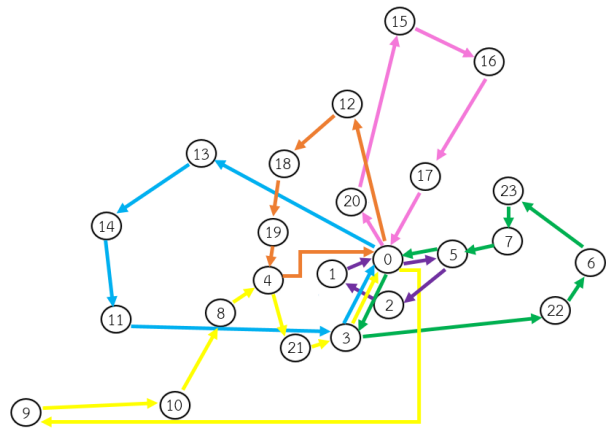
$$\frac{1}{0.35} \text{ kWh} \times \frac{1 \text{ ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times \frac{(2.32/1,000) \text{ ตัน/ลิตร}}{8.8 \text{ kWh}} \times \frac{35 \text{ บาท}}{\text{ตัน}} = 0.0264 \text{ บาท/kWh}$$



รูปที่ 2 ขั้นตอนในการหาคำตอบ



รูปที่ 3 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบัน



รูปที่ 4 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์

จากการศึกษาเส้นทางของการเดินทางในปัจจุบันดังรูปที่ 3 และที่ได้จากการวิเคราะห์จากโมเดลคณิตศาสตร์ ดังรูปที่ 4 โดยมีจุดเก็บมูลฝอยติดเชื้อทั้งหมด 23 จุด ซึ่งจะมีเส้นทางทั้งหมด 6 วัน โดยวันจันทร์จะเป็นเส้นทางสีเหลือง วันอังคารจะเป็นเส้นทางสีชมพู วันพุธจะเป็นเส้นทางสีเขียว วันพฤหัสบดีจะเป็นเส้นทางสีส้ม วันศุกร์จะเป็นเส้นทางสีฟ้า และวันเสาร์จะเป็นเส้นทางสีม่วง

ตารางที่ 1 เส้นทางในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อในปัจจุบันและที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์

วัน	เส้นทางเดินทาง ปัจจุบัน	เส้นทางเดินทาง จากโมเดล คณิตศาสตร์
จันทร์	0 - 20 - 18 - 19 - 4 - 3 - 21 - 0	0 - 9 - 10 - 8 - 4 - 21 - 3 - 0
อังคาร	0 - 5 - 17 - 7 - 23 - 6 - 22 - 0	0 - 20 - 15 - 16 - 17 - 0
พุธ	0 - 9 - 10 - 8 - 3 - 0	0 - 3 - 22 - 6 - 23 - 7 - 5 - 0
พฤหัสบดี	0 - 12 - 13 - 14 - 11 - 4 - 2 - 0	0 - 12 - 18 - 19 - 4 - 0
ศุกร์	0 - 5 - 16 - 15 - 0	0 - 13 - 14 - 11 - 3 - 0
เสาร์	0 - 3 - 1 - 0	0 - 5 - 2 - 1 - 0

ตารางที่ 2 เปรียบเทียบระยะทาง เวลา และต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

แบบ	ระยะทาง (กิโลเมตร)	เวลา (ชั่วโมง)	ต้นทุน (บาท)
ปัจจุบัน	1,109.2	34.65	4,403.75
โมเดล คณิตศาสตร์	1,101.1	35.23	4,013.61

จากตารางที่ 2 ระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร แต่ใช้เวลามากกว่า 0.6 ชั่วโมง โดยมีต้นทุนลดลง 390.1 บาทต่อสัปดาห์ หรือลดลงร้อยละ 8.86

ตารางที่ 3 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ประเภทของต้นทุน	เส้นทาง ปัจจุบัน	เส้นทางจาก โมเดล คณิตศาสตร์	
ต้นทุน	น้ำหนักกรร	2,161.59	2,145.81
	น้ำหนักมูล		
การ	ฝอยติดเชื้อ	482.15	408.13
ขนส่ง	ต้นทุนจาก		
	ความเร็ว	1,366.59	1,261.69
ต้นทุนในการเก็บมูล			
ฝอยติดเชื้อ	393.42	197.98	

จากตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทพบว่า ต้นทุนลดลงกว่าแบบปัจจุบันในทุกประเภท โดยต้นทุนในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อลดลงมากที่สุด 195.43 บาท คิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนในการขนส่งจากความเร็ว ลดลง 104.91 บาท คิดเป็นร้อยละ 26.89 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด ต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักมูลฝอยติดเชื้อลดลง 74.01 บาท คิดเป็นร้อยละ 18.97 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด และต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักรถ ลดลง 15.79 บาท คิดเป็นร้อยละ 4.05 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมดตามลำดับ

ตารางที่ 4 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทของต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์ปัจจุบัน

ประเภทของต้นทุน	ต้นทุนของแต่ละแบบ (บาท)	
ต้นทุน	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
ต้นทุนเชื้อเพลิง	4,001.26	3,806.99
ต้นทุนปล่อยคาร์บอน	9.08	8.63
ต้นทุนการเก็บ	393.42	197.98

จากตารางที่ 4 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทพบว่า ต้นทุนลดลงกว่าแบบปัจจุบันในทุกประเภท แต่ต้นทุนการปล่อย

คาร์บอนลดลงเพียง 0.44 บาทเนื่องจากปัจจุบันมีค่าน้อยมากเพียง 9.08 บาท โดยต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อในห้องเย็นลดลงมากที่สุด ลดลง 195.43 บาท คิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนเชื้อเพลิงลดลง 194.26 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 49.79 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด

และเมื่อใช้ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในแต่ละจุดที่ได้จากการพยากรณ์ ซึ่งมีค่าที่เพิ่มขึ้น ผลการศึกษาที่มีสมมติฐานว่าการจัดเส้นทางยังอยู่ภายใต้ข้อจำกัดต่างๆ จะได้ต้นทุนในแต่ละส่วน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า

ประเภทของต้นทุน	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์	
ต้นทุน	น้ำหนักรถ	2,161.59	2,145.81
	น้ำหนักมูล		
การ	ฝอยติดเชื้อ	690.82	497.59
ขนส่ง	ต้นทุนจาก		
	ความเร็ว	1,366.59	1,261.69
ต้นทุนในการเก็บมูล			
ฝอยติดเชื้อ	1,643.64	1,328.53	

จากตารางที่ 5 ต้นทุนในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้าจะมีต้นทุนรวมของเส้นทางปัจจุบันเท่ากับ 5,862.64 บาท ต้นทุนรวมของเส้นทางที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์เท่ากับ 5,233.61 บาท โดยต้นทุนรวมลดลง 629.09 บาท คิดเป็นร้อยละ 10.73 โดยต้นทุนในการเก็บมูลฝอยติดเชื้อลดลงมากที่สุด 315.11 บาท ซึ่งคิดเป็นร้อยละ 50.09 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด รองลงมาคือต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักมูลฝอยติดเชื้อ ลดลง 193.23 บาท คิดเป็นร้อยละ 30.72 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด ต้นทุนการขนส่งจากความเร็ว ลดลง 104.91 บาท คิดเป็นร้อยละ 16.68 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมด และต้นทุนการขนส่งจากน้ำหนักรถ ลดลง 15.79 บาท คิดเป็นร้อยละ 2.51 ของต้นทุนที่ลดลงทั้งหมดตามลำดับ จากการมีต้นทุนลดลง 629.09 บาทต่อสัปดาห์ เมื่อคิดเป็นต่อปีจะช่วยให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,710 บาทต่อปี

ตารางที่ 6 เปรียบเทียบต้นทุนในแต่ละประเภทของต้นทุนที่ได้จากแบบปัจจุบัน และโมเดลคณิตศาสตร์ในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า

ประเภทของ ต้นทุน	ต้นทุนของแต่ละแบบ (บาท)	
	เส้นทางปัจจุบัน	เส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์
ต้นทุนเชื้อเพลิง	4,209.45	3,896.24
ต้นทุนปล่อยคาร์บอน	9.55	8.84
ต้นทุนการเก็บ	1,643.64	1,328.53

จากตารางที่ 6 เมื่อพิจารณาต้นทุนในแต่ละประเภทในสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้าพบว่าต้นทุนที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์ลดลงกว่าเส้นทางในปัจจุบันในทุกประเภท แต่ต้นทุนการปล่อยคาร์บอนลดลงเพียง 0.44 บาท เนื่องจากเส้นทางปัจจุบันก็มีค่าน้อยมากเพียง 9.55 บาท โดยต้นทุนในการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อในห้องเย็นลดลงมากที่สุด ลดลง 315.11 บาท รองลงมาคือต้นทุนเชื้อเพลิงลดลง 313.21 บาท

5. สรุปผลและอภิปรายผล

จากการศึกษาสรุปผลได้ว่าระยะทางในการเดินทางของรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อที่ได้จากโมเดลคณิตศาสตร์มีค่าน้อยกว่าเส้นทางปัจจุบัน 8.1 กิโลเมตร โดยมีต้นทุนลดลง 390.1 บาทต่อสัปดาห์ ลดลงร้อยละ 8.86 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 20,287 บาทต่อปี และเมื่อพิจารณาสถานการณ์อีก 6 เดือนข้างหน้า ซึ่งมีต้นทุนลดลง 629.1 บาทต่อสัปดาห์ ลดลงร้อยละ 10.73 ทำให้ประหยัดต้นทุนได้ 32,709.6 บาทต่อปี การใช้โมเดลทางคณิตศาสตร์ในการหาการจัดเส้นทางที่เหมาะสมที่คำนึงถึงการปล่อยก๊าซคาร์บอน ร่วมกับการบริหารจัดการการจัดเก็บมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งผลที่ได้จากการศึกษาการจัดเส้นทางที่ได้จากโมเดลทางคณิตศาสตร์จะมีเส้นทางใกล้เคียงกับเส้นทางในปัจจุบัน เนื่องจากแต่ละจุดที่ไปเก็บเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอ ระยะทางแต่ละอำเภอมิระยะทางห่างกันมาก การจัดเส้นทางในแต่ละวันจึงเป็นกลุ่มของโรงพยาบาลที่อยู่ใกล้กัน ซึ่งการจัดเส้นทางจากโมเดลคณิตศาสตร์นั้นจะมีการปรับเปลี่ยนบางเส้นทาง โดยจะมีจุดในการไปเก็บมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มหรือลดลง การจัดจุดที่มีความถี่ใน

การจัดเก็บมากให้กับวันที่มีการเดินทางไปใกล้กับจุดนั้น และจากผลการศึกษาที่อาจจะลดระยะทางได้น้อย แต่สามารถลดต้นทุนในสัดส่วนที่มากกว่า สาเหตุมาจากต้นทุนในการเดินทางจะมีในส่วนของค่าบรรทุกน้ำหนักของมูลฝอยติดเชื้อด้วย นอกจากนี้จากการศึกษาที่มีต้นทุนในการปล่อยก๊าซคาร์บอนที่น้อยมาก สาเหตุมาจากประเทศไทยเพิ่งเริ่มพิจารณาการจัดเก็บต้นทุนในส่วนนี้ และมีการกำหนดราคาที่ไม่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับประเทศที่พัฒนาแล้ว ซึ่งเมื่อเปรียบเทียบกับการศึกษาของ Bektaş & Laporte (2011) ที่ใช้ราคาน้ำมันลิตรละ 1 ปอนด์ และราคาคาร์บอนเฉลี่ยต่อตันอยู่ที่ 27 ปอนด์ต่อตัน ซึ่งคิดเป็น 27 เท่าของราคาน้ำมัน [5] ในขณะที่ในการศึกษาในครั้งนี้ประเทศไทยในช่วงการศึกษามีน้ำมันราคา 35.74 บาทต่อลิตร และราคาคาร์บอนเฉลี่ยต่อตันอยู่ที่ 35 บาทต่อตัน ซึ่งมีค่าเพียง 0.98 เท่าของราคาน้ำมัน โดยอนาคตราคาคาร์บอนนี้น่าจะค่าที่สูงขึ้นจากความต้องการคาร์บอนเครดิตเพื่อชดเชยการปล่อยก๊าซเรือนกระจกที่เพิ่มขึ้น นอกจากนี้สอดคล้องกับการศึกษาการประยุกต์ใช้ปัญหาการจัดเส้นทางในการเดินทางสำหรับการเก็บขยะมูลฝอย กรณีศึกษามหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์ วิทยาเขตหาดใหญ่ที่ใช้วิธีฮิวริสติกส์ คือวิธีการแบบประหยัด (Savings algorithm) และฟังก์ชันวิวัฒนาการเชิงวิวัฒนาการ (Evolutionary method) ซึ่งทำให้ระยะทางที่ลดลงกว่าเส้นทางเดิม [11]

ในส่วนของการข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป ควรศึกษาในส่วนของการเพิ่มเติมข้อจำกัดอื่นๆ ในโมเดลคณิตศาสตร์ นอกจากข้อจำกัดด้านเวลาในการจัดเก็บ น้ำหนักบรรทุกของรถ ความสามารถในการเผาของโรงงาน และความสามารถในการจัดเก็บของห้องเย็น เช่น ข้อจำกัดของความสามารถในการจัดเก็บของโรงพยาบาลแต่ละแห่ง ซึ่งจะมีผลต่อความถี่ในการขนมูลฝอยติดเชื้อ รวมถึงการใช้วิธีฮิวริสติกส์อื่นๆ ในการหาคำตอบ

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความวิจัยนี้เป็นส่วนหนึ่งของดุชนิพนธ์เรื่อง “การพัฒนาการบริหารจัดการเตาเผาขยะมูลฝอยติดเชื้อในเขตภาคเหนือตอนบน” ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงรายที่ได้ให้ทุนสนับสนุนในการศึกษาต่อในครั้งนี้

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Pollution Control Apartment. Information on the solid waste situation of the country. [Online]. (2021). [Cited April 1, 2021]. Available: <https://thaimsw.pcd.go.th/report1.php?year=2562>
- [2] H. Han and E. Ponce Cueto, "Waste collection vehicle routing problem: literature review," *PROMET-Traffic&Transportation*, vol. 27, pp. 345-358, 2015.
- [3] Department of Health. Amount of solid waste classified by province of Region 1. [Online]. (2021). [Cited April 1, 2021]. Available: <https://envmanifest.anamai.moph.go.th/?wasteProvince&id=1>
- [4] B. M. Baker and M. Ayechev, "A genetic algorithm for the vehicle routing problem," *Computers & Operations Research*, vol. 30, pp. 787-800, 2003.
- [5] A. Hiasat, A. Diabat, and I. Rahwan, "A genetic algorithm approach for location-inventory-routing problem with perishable products," *Journal of manufacturing systems*, vol. 42, pp. 93-103, 2017.
- [6] N. Shukla, M. Tiwari, and D. Ceglarek, "Genetic - algorithms - based algorithm portfolio for inventory routing problem with stochastic demand," *International Journal of Production Research*, vol. 51, pp. 118-137, 2013.
- [7] K. Mak and Y. Wong, "Design of integrated production-inventory-distribution systems using genetic algorithm," in *First International Conference on Genetic Algorithms in Engineering Systems: Innovations and Applications*, 1995, pp. 454-460.
- [8] M. Boudia, M. A. O. Louly, and C. Prins, "Fast heuristics for a combined production planning and vehicle routing problem," *Production Planning and Control*, vol. 19, pp. 85-96, 2008.
- [9] T. Bektaş and G. Laporte, "The pollution-routing problem," *Transportation Research Part B: Methodological*, vol. 45, pp. 1232-1250, 2011.
- [10] P. Kabcome, "Vehicle routing problem with soft time windows and time uncertainty, and some generalized results on symmetric cones," Ph.D. dissertation, Graduate School, Chiang Mai University, Chiang Mai, 2016.
- [11] N. Rungrodchatchaval, I. Sriswang and W. 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*, vol. 4, no. 2, pp. 18-31, Jul.-Dec. 2008 (in Thai).