

การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกลุ่มโรงพยาบาล ในจังหวัดกาฬสินธุ์

อนุชา ศรีบุญรัมย์^{1,*} วราภรณ์ วโรส¹, ชนภรณ์ ณ กาฬสินธุ์¹, วรณรพ ชันธิรัตน์¹ และ ประสิทธิ์ ไกรลสมสม²

¹สาขาวิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์

²สาขาวิชาการจัดการอุตสาหกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี

*ผู้ประสานงานบทความต้นฉบับ: anucha.sr@ksu.ac.th โทรศัพท์: 083-4194954

(รับบทความ: 3 เมษายน 2566; แก้ไขบทความ: 19 เมษายน 2566; ตอรับบทความ: 28 เมษายน 2566)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพิจารณาโครงข่ายของสถานที่ตั้งที่ให้ต้นทุนรวมต่ำสุด โดยต้นทุนรวมคือต้นทุนดำเนินการและต้นทุนการขนส่ง เริ่มจากการสร้างแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ หลังจากนั้นทำการเขียนโค้ดตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ลำดับต่อมาทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอด้วยกรณีศึกษาโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 18 แห่ง ผลการทดลองพบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำสุดมีจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ติดตั้งเตาเผาขนาด 1,200 กิโลกรัมต่อวัน และโรงพยาบาลห้วยผึ้งติดตั้งเตาขนาด 400 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ โดยมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน ลดลงจากการใช้บริการกำจัดของเอกชน (14,707.40 บาทต่อวัน) เป็น 2,206.9 บาทต่อวัน คิดเป็น 15%

คำสำคัญ: โปรแกรมเชิงเส้น การเลือกตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

การอ้างอิงบทความ: อนุชา ศรีบุญรัมย์ และคณะ, "การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกลุ่มโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์," วารสารวิศวกรรมและเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 18-30, 2566.

บทความวิจัย (Research Article)

Suitable Location Selection of Infectious Waste Incinerators for a Group of Hospitals in Kalasin Province

Anucha Sriburum^{1*}, Waraporn Warorot¹, Chanaphon Na Kalasin¹, Wanrop Khandhirat¹ and Prasit Kailomsom²

¹Department of Industrial Engineering, Faculty of Engineering and Industrial Technology, Kalasin University

²Department of Industrial Management, Faculty of Industrial Technology, Thepsatri Rajabhat University

* Corresponding Author: anucha.sr@ksu.ac.th, Tel: 083-4194954

(Received: April 3, 2023; Revised: April 19, 2023; Accepted: April 28, 2023)

Abstract

The purpose of this research was to select a suitable infectious waste incinerator location for hospital services in Kalasin Province by considering the network of locations that provided the lowest total cost. The total cost is made up of operating costs and transportation costs. Starting from a linear program model for the problem of site selection of infectious waste incinerators. After that, the proposed linear program model was coded using the LINGO software. Later, the proposed linear program model was woven with a case study of 18 hospitals in Kalasin Province. The location and size of incinerators for infectious waste that resulted in the lowest total cost were in two places: Kalasin hospital installed an incinerator of 1,200 kg per day, and Huai Phueng hospital installed an incinerator of 400 kg per day. has the lowest total cost of 12,500.50 baht per day, decreased from using private disposal services (14,707.40 baht per day) to 2,206.9 baht per day, representing 15%.

Keywords: Linear Programming, Location Selection, Infectious Waste Incinerators

Please cite this article as: A. Sriburum, et al., "Suitable Location Selection of Infectious Waste Incinerators for a Group of Hospitals in Kalasin Province," *The Journal of Engineering and Industrial Technology, KSU*, vol. 1, no. 2, pp. 18-30, 2023.

บทความวิจัย (Research Article)

1. บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง และประกอบกับสถานการณ์การแพร่ระบาดของเชื้อไวรัสโควิด-19 (Coronavirus Disease 2019) ที่ยืดเยื้อยาวนานมากกว่า 3 ปีนั้น ส่งผลให้ประเทศไทยมีอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาณมูลฝอยติดเชื้อสูง โดยกระทรวงสาธารณสุขได้ให้นิยาม “มูลฝอยติดเชื้อ” หมายถึง ขยะที่เกิดจากการตรวจวินิจฉัย รักษาคนไข้หรือการใช้สัตว์ทดลอง เป็นสารหรือวัตถุใดที่ไม่ใช้หรือใช้ไม่ได้ ซึ่งมีส่วนประกอบหรือเจือปนด้วยสิ่งทีก่อให้เกิดโรค ทำให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพอนามัยและชีวิตมนุษย์ ได้แก่ เนื้อเยื่อ ชิ้นส่วนอวัยวะ หรือสิ่งขับถ่าย ของเหลวจากร่างกายของผู้ป่วย เลือด และผลิตภัณฑ์จากเลือด รวมทั้งสิ่งของเครื่องใช้สำหรับผู้ป่วย หรืออุปกรณ์ที่เกี่ยวข้องกับสัตว์ทดลองที่ถูกทิ้งจากสถานพยาบาลและสถานที่ประกอบการอื่นๆ [1, 2]

อย่างไรก็ตามทางด้านกรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข โดยคณะทำงานกำหนดแนวทางการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ รวมถึงได้ให้ความหมายของมูลฝอยติดเชื้อ หมายถึง ขยะที่เป็นผลมาจากการกระบวนการที่มีความเกี่ยวข้องกับการรักษาพยาบาล การตรวจวินิจฉัย การให้ภูมิคุ้มกันการศึกษาวิจัยที่ดำเนินการทั้งในมนุษย์และสัตว์ ซึ่งมีเหตุผลอันควรสงสัยว่ามีหรืออาจจะมีเชื้อโรค ซึ่งสามารถแบ่งจำแนกได้เป็นกลุ่มต่างๆ ดังนี้ (1) วัสดุ ชาก หรือชิ้นส่วนของมนุษย์และสัตว์ที่ได้และมีผลจากการผ่าตัด การตรวจชิ้นสูตรศพ การใช้สัตว์ทดลองเกี่ยวกับโรคติดต่อ รวมถึงวัสดุที่สัมผัสในการดำเนินการนั้นๆ (2) วัสดุที่ใช้ในการให้บริการทางการแพทย์ เช่น สำลี ผ้าก๊อช ผ้าต่างๆ เป็นต้น ซึ่งสัมผัสหรือสงสัยว่าจะสัมผัสกับเลือด ส่วนประกอบของเลือด เช่น น้ำเหลือง เม็ดเลือดต่างๆ และผลิตภัณฑ์ต่างๆ ที่ได้จากเลือดสารน้ำจากร่างกาย เช่น ปัสสาวะ เสมหะ น้ำเหลือง หนอง เป็นต้น (3) ของมีคมที่ใช้ในกิจกรรมดังกล่าว เช่น เข็ม ใบมีด กระบอก

ฉีดยา หลอดแก้ว ภาชนะที่ทำด้วยแก้ว สไลด์ แผ่นกระจกปิดสไลด์ทั้งที่ใช้ในการบริการการวิจัยและในห้องปฏิบัติการ (4) เชื้อในอาหารเลี้ยงเชื้อ วัสดุที่ใช้ในห้องปฏิบัติการในการวิจัยที่สัมผัสเชื้อทั้งทางตรงและทางอ้อม ได้แก่ เชื้อโรคและชีววัตถุต่างๆ อาหารเลี้ยงเชื้อ จานเลี้ยงเชื้อที่ใช้แล้ว ตลอดจนเครื่องมือที่ใช้ในการถ่ายเชื้อหรือกวนเชื้อ (5) วัคซีนที่ทำจากเชื้อโรคที่มีชีวิตและภาชนะบรรจุ ได้แก่ วัคซีนป้องกันวัณโรค โปลิโอ หัด หัดเยอรมัน โรคคางทูมและวัคซีนโรคไขกระดูกสันหลังอักเสบเฉียบพลัน เป็นต้น (6) ขยะทุกประเภทที่มาจากห้องติดเชื้อร้ายแรง เช่น ห้องแยกผู้ป่วยติดเชื้อร้ายแรงและห้องปฏิบัติการเชื้ออันตรายสูง โดยส่วนใหญ่แหล่งกำเนิดของมูลฝอยติดเชื้อเหล่านี้มาจากสถานพยาบาล เช่น โรงพยาบาลจังหวัด โรงพยาบาลชุมชน โรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพตำบล ห้องปฏิบัติการด้านสัตวแพทย์ [3]

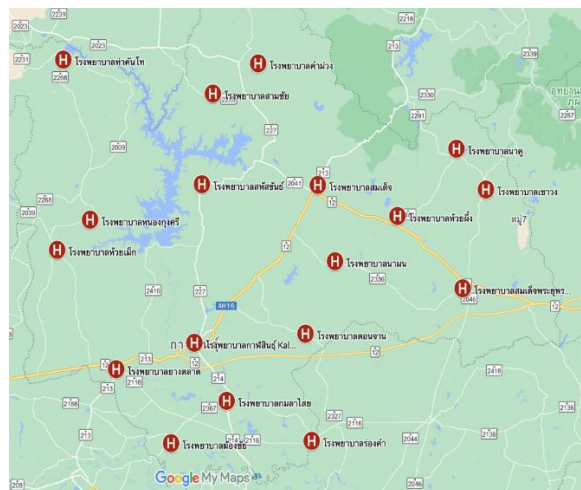
จากข้อมูลของกรมควบคุมมลพิษ พบว่าปริมาณมูลฝอยติดเชื้อปี พ.ศ. 2564 เกิดขึ้น 90,009.23 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 87 นอกจากนี้มูลฝอยชนิดอื่นๆ ในปี 2564 เกิดขึ้นประมาณ 669,518 ตัน เพิ่มขึ้นจากปี พ.ศ.2563 ร้อยละ 1.6 โดยส่วนใหญ่เป็นผลิตภัณฑ์เครื่องใช้ไฟฟ้าและอิเล็กทรอนิกส์ 435,187 ตัน (ร้อยละ 65) และของเสียอันตรายประเภทอื่นๆ เช่น แบตเตอรี่ ถ่านไฟฉาย ภาชนะบรรจุสารเคมี กระป๋องสเปรย์ ประมาณ 234,331 ตัน (ร้อยละ 35) และในปีที่ผ่านมาได้เกิดสถานการณ์การแพร่ระบาดเข้าสู่ภาวะวิกฤต มีจำนวนผู้ติดเชื้อเพิ่มขึ้นถึงหลักหมื่นคน จึงต้องสร้างโรงพยาบาลสนามเพื่อรองรับผู้ป่วยที่มากเกินความสามารถของโรงพยาบาล ต้องจัดทำสถานพยาบาลผู้ป่วยเฉพาะกิจ (Hospital) สร้างศูนย์พักคอยผู้ป่วย (Community Isolation) และการรักษาตัวของผู้ป่วยอยู่ที่บ้าน (Home Isolation) ทำให้ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเพิ่มขึ้นและการจัดการมูลฝอยติดเชื้อก็เข้าสู่ภาวะวิกฤตด้วยเช่นกัน [4]

บทความวิจัย (Research Article)

ในส่วนของจังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีการเก็บและขนส่งขยะมูลฝอยขององค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นในจังหวัด เพียง 99 แห่ง ที่เป็นการเก็บรวบรวมขยะมูลฝอยไปกำจัด ซึ่งส่วนใหญ่เป็นองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นระดับเทศบาล ปริมาณขยะมูลฝอยที่เก็บขนไปกำจัด วันละ 202.84 ตัน สำหรับสถานที่กำจัดขยะในพื้นที่จังหวัดกาฬสินธุ์ องค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มีสถานที่กำจัดขยะเพียง 48 แห่ง แต่มีสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยของเทศบาลเมืองกาฬสินธุ์แค่แห่งเดียวเท่านั้น ที่มีการจำกัดด้วยวิธีฝังกลบถูกหลักสุขาภิบาล (Sanitary Landfill) และรูปแบบศูนย์รวม (Cluster) โดยปัจจุบันมีองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่น นำขยะมาทิ้ง จำนวน 34 แห่งมีขยะมูลฝอยเข้าสู่ระบบประมาณ 99.29 ตันต่อวัน เป็นขยะเทศบาลเมืองกาฬสินธุ์ จำนวน 34.42 ตัน/วัน และขยะองค์กรปกครองส่วนท้องถิ่นที่มารวมทิ้งอีก 33 แห่ง จำนวน 64.68 ตันต่อวัน สำหรับสถานที่กำจัดขยะมูลฝอยในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 47 แห่ง เป็นการกำจัดขยะที่ไม่ถูกต้อง โดนเป็นวิธีการเทกอง/เผากลางแจ้ง และการฝังกลบโดยใช้ดินกลบเป็นครั้งคราว จากข้อมูลข้างต้นทำให้มีขยะที่ไม่ถูกกำจัดโดยองค์กรปกครองและไม่เป็นระเบียบเรียบร้อย จังหวัดกาฬสินธุ์ มีโรงพยาบาลทั้งสิ้น 18 แห่ง โรงพยาบาลจะมีระบบการจัดการมูลฝอยติดเชื้อประเมินผลการดำเนินงานการจัดการมูลฝอยติดเชื้อตามมาตรฐานกฎกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2545 โดยในปี พ.ศ.2564 มีการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการขนส่งและกำจัด จำนวน 227,805.96 กิโลกรัม คิดเป็นวงเงิน 2,278,059.60 บาท

โรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ในปัจจุบันได้ทำสัญญาการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยใช้หน่วยงานเอกชนแทนการกำจัดด้วยตนเองของโรงพยาบาล ทำให้เกิดงบประมาณในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อสูง และเอกชนมีการลักลอบทิ้งมูลฝอยติดเชื้อทำให้อาจเกิดการแพร่กระจายเชื้อโรคต่อสิ่งแวดล้อมและชุมชนได้ รวมถึงนโยบายของรัฐที่ต้องการให้หน่วยงานภาครัฐ

จัดตั้งสถานที่กำจัดมูลฝอยติดเชื้อแบบรวมศูนย์ในการให้บริการโรงพยาบาลใกล้เคียงได้ ดังนั้นทางผู้วิจัยได้เสนอวิธีการใช้การสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดต้นทุนโดยรวมต่ำสุด ด้วยวิธีการประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นในการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ เพื่อเลือกคำตอบที่ดีที่สุดจากผลเฉลยที่เหมาะสมจากโปรแกรมเชิงเส้นตรงที่สร้างขึ้น



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาล

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การเลือกสถานที่ติดตั้งเตาเผาสำหรับกำจัดมูลฝอยติดเชื้อเป็นปัญหาที่สำคัญอย่างมากเพราะต้องคำนึงถึงปัจจัยหลายอย่าง เนื่องจากหากเลือกสถานที่ตั้งไม่เหมาะสมอาจทำให้มูลฝอยติดเชื้อไม่ถูกกำจัดอย่างถูกสุขอนามัย อาจทำให้เกิดการแพร่กระจายของเชื้อโรคสู่สิ่งแวดล้อมและอาจก่อให้เกิดอันตรายต่อสุขภาพของมนุษย์ได้ จากการสำรวจวรรณกรรมพบว่า มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับการเลือกสถานที่ติดตั้งสำหรับกำจัดมูลฝอยติดเชื้อมีหลายงานวิจัย อย่างไรก็ตามมีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งและขนาด

บทความวิจัย (Research Article)

ของเตาเผาที่เหมาะสมที่ประยุกต์ใช้โปรแกรมเชิงเส้นที่พิจารณาเกี่ยวข้องกับต้นทุนรวมต่ำสุด ดังนี้

Wichapa and Khokhajaikiat [5] นำเสนอการหาตำแหน่งของเตาเผาขยะติดเชื้อของเทศบาลโดยพิจารณาทั้งเกณฑ์ด้านต้นทุนโดยรวม และเกณฑ์ด้านความพึงพอใจของสถานที่ตั้ง ภายใต้ทรัพยากรที่จำกัดโดยใช้การโปรแกรมเชิงเป้าหมายและกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์ (Analytical Hierarchy Process: AHP) ซึ่งกระบวนการลำดับชั้นเชิงวิเคราะห์เป็นวิธีการที่ใช้สำหรับการวินิจฉัยเพื่อช่วยในการตัดสินใจประเด็นปัญหาที่มีความซับซ้อนให้ดำเนินการง่ายขึ้น ผลการทดลองที่ได้สามารถนำมาใช้เป็นแนวทางในการเลือกสถานที่ตั้งสำหรับกำจัดเตาเผาขยะติดเชื้อได้

อนุชา ศรีบุรัมย์ และสมบัติ สิ้นธุเชาวน์ [6] นำเสนอการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนประกอบไปด้วยจังหวัดขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และ เลย จำนวนทั้งหมด 107 แห่ง มาสร้างเป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดยมีฟังก์ชันวัตถุประสงค์เพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อโดยให้มีต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งประกอบไปด้วยต้นทุนการขนส่ง และค่าดำเนินการวิธีการที่นำเสนอสามารถเป็นแนวทางหนึ่งในการกำหนดที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อภายในโรงพยาบาลชุมชนในภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนได้

บุษบา สมี่แจ่ม และคณะ [7] นำเสนอวิธีหาดำเนินการที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม โดยมีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม จำนวน 13 แห่ง ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด วิเคราะห์

ข้อมูลและประมวลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยซอฟต์แวร์ LINGO ผลการวิจัยพบว่าโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามควรเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดความจุ 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน บนตำแหน่งตั้ง ทั้งหมด 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาइन ตามลำดับ โดยมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 16,108 บาท/วัน และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเขียงยืน โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลกุตุรง และโรงพยาบาลชื่นชม โดยมีปริมาณขยะติด เชื้อรวม 1,030.11 กิโลกรัม/วัน โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลนาइन ได้แก่ โรงพยาบาลนาइन โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาลยางสีสุราช มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 180.17 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวของตัวแบบโดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติด เชื้อเฉลี่ยต่อวัน พบว่าตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการไม่เปลี่ยนแปลงมาก และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะ ติดเชื้อสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาให้บริษัทเอกชนดำเนินการเผากำจัด

Srisuwandee et al. [8] ได้นำเสนอการประยุกต์ใช้อัลกอริธึม Differential Evolution (DE) สำหรับแก้ปัญหาการเลือกขนาดและตำแหน่งที่เหมาะสมของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยอัลกอริธึม DE เป็นเมตาฮิวริสติกส์หนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการแก้ปัญหาการหาค่าเหมาะสมที่สุดแบบ Np-hard งานวิจัยนี้กำหนดสมการวัตถุประสงค์ค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำสุดและผลกระทบสิ่งแวดล้อมต่ำสุด โดยอัลกอริธึม DE จะใช้เพื่อค้นหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดที่ตอบสนองวัตถุประสงค์ทั้งสอง ผู้เขียนประเมินประสิทธิภาพของวิธีที่นำเสนอโดยเปรียบเทียบกับเมตาฮิวริสติก ได้แก่ Genetic

บทความวิจัย (Research Article)

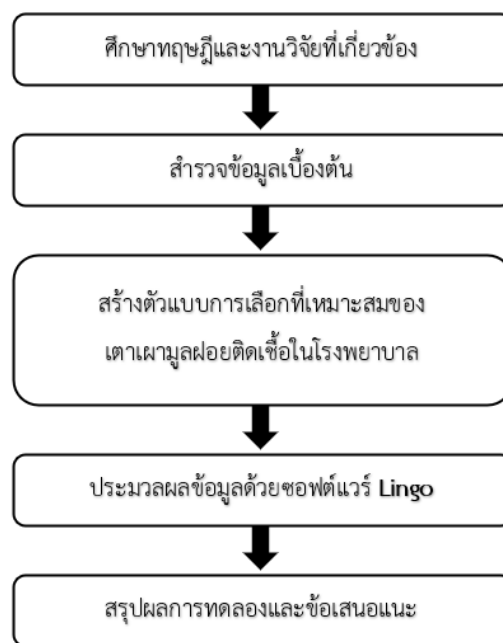
Algorithms และ Simulated Annealing โดยผลลัพธ์จากการเปรียบเทียบแสดงว่าอัลกอริทึม DE มีประสิทธิภาพดีกว่าเทคนิคอื่น ๆ ในแง่ของคุณภาพของคำตอบและเวลาในการประมวลผลเร็วสุด

Suksee et al. [9] ได้นำเสนองานวิจัยที่ประยุกต์ใช้ฮิวริสติกเพื่อแก้ปัญหาการเลือกที่ตั้งเตาเผาขยะและเส้นทางรถเก็บมูลฝอยติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ฮิวริสติกที่พัฒนาขึ้นเรียกว่า Greedy Randomized Adaptive Large Neighborhood Search Procedure (GRALNSP) และ Adaptive Large Neighborhood Search (ALNS) ซึ่งผลเฉลยที่ได้จาก GRALNSP จะถูกนำไปเปรียบเทียบกับผลลัพธ์การประมวลผลด้วยโปรแกรม A Mathematical Programming Language (AMPL) สำหรับปัญหาขนาดเล็ก ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าทั้งสองวิธีให้ผลลัพธ์ที่ไม่แตกต่างกัน แต่ GRALNSP ใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า อย่างไรก็ตามเมื่อปัญหามีขนาดใหญ่ขึ้นและซับซ้อนมากขึ้น AMPL ไม่สามารถหาผลเฉลยที่เหมาะสมที่สุดได้ภายในระยะเวลาจำกัดของเวลาในการคำนวณ ขณะที่ GRALNSP ให้ผลลัพธ์ที่ดีกว่าและใช้เวลาคำนวณน้อยกว่า ดังนั้นวิธีที่นำเสนอนี้เป็นประโยชน์ต่อการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุดได้

แม้ว่าจะมีหลายวิธีในการแก้ปัญหาการหาตำแหน่งที่เหมาะสมที่สุด อย่างไรก็ตามวิธีการแบบแมนูตรงที่ประยุกต์ใช้คอมพิวเตอร์ในการคำนวณยังเป็นที่นิยมทั้งในอดีตและในปัจจุบัน ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงนำเสนอวิธีการเลือกขนาดความจุของเตาเผา และตำแหน่งของสถานที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสม โดยการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบโปรแกรมเชิงเส้น และประมวลผลโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ในการศึกษาครั้งนี้

3. วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินโครงการและขั้นตอนการดำเนินงานของโครงการ “การเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์” ซึ่งมีขั้นตอนการดำเนินงานดังนี้



รูปที่ 2 กรอบการดำเนินงานวิจัยนี้

3.1 สำรวจข้อมูลที่เกี่ยวข้อง

สำรวจข้อมูลเกี่ยวกับปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดกาฬสินธุ์ สำรวจปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ และรูปแบบการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อในพื้นที่กรณีศึกษาสำรวจระยะทางของโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ สำรวจระยะทางระหว่างโรงพยาบาลเพื่อนำมาสร้างเป็นเมทริกซ์ระยะทางเพื่อใช้ในการคำนวณและวิเคราะห์ผลการวิจัยต่อไป

3.2 ตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งมูลฝอยติดเชื้อ

สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับปัญหาการเลือกที่ตั้งสำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ดังนี้

บทความวิจัย (Research Article)

ดัชนี:

i คือ ดัชนีของโรงพยาบาลต้นทางที่ได้รับการบริการ, $i = 1, 2, \dots, I$; $I=18$

j คือ ดัชนีของโรงพยาบาลปลายทางที่ให้บริการ, $j = 1, 2, \dots, J$; $J=18$

k คือ ดัชนีของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ, $k=1, 2, 3, \dots, K$; K คือจำนวนของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ ($K=3$)

โดยที่ $K=1$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 400 กิโลกรัมต่อวัน

$K=2$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 800 กิโลกรัมต่อวัน

$K=3$ หมายถึง ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อขนาด 1,200 กิโลกรัมต่อวัน

พารามิเตอร์:

o_k คือ ต้นทุนดำเนินการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อโดยเฉลี่ย (บาท/วัน)

u คือ ต้นทุนการขนส่งต่อหน่วย (บาท/กิโลเมตร) โดยกำหนดสมมุติฐานว่าใช้รถลักษณะเดียวกันอัตราการเปลืองน้ำมันต่อระยะทางมีค่าเท่ากันคือ $u = 4.5$ บาท/กิโลเมตร

dt_{ij} คือ เมตริกซ์ระยะทางจริงจาก Google map ระหว่างโรงพยาบาล i และ โรงพยาบาล j

s_k คือ ขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อดัชนี k

d_i คือ ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล i (กิโลกรัม/วัน)

ตัวแปรตัดสินใจ:

X_{ij} คือ ตัวแปรแบบไบนารี เมื่อ $X_{ij} = 1$ หมายถึง โรงพยาบาล i ได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j เท่านั้น เมื่อ $X_{ij} = 0$ หมายถึง ไม่เกิดการขนส่งโรงพยาบาล i และ โรงพยาบาล j

Y_{jk} เป็น ตัวแปรตัดสินใจแบบไบนารี เมื่อ $Y_{jk} = 1$ หมายถึง โรงพยาบาล j ถูกติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

k เมื่อ $Y_{jk} = 0$ หมายถึง โรงพยาบาล j ไม่ถูกติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k

สมการเป้าหมาย:

$Min Z =$

$$\sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K o_k Y_{jk} + \sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J u \cdot dt_{ij} \cdot X_{ij} \quad (1)$$

สมการที่ (1) เป็นสมการเป้าหมายต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งต้นทุนรวมประกอบด้วย ต้นทุนดำเนินการสร้างเตาเผาติดเชื้อ และต้นทุนการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ [14]

ข้อจำกัด :

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J X_{ij} = 1, \forall i \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K Y_{jk} \leq 1, \forall j \quad (3)$$

$$X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K Y_{jk}, \forall i, j \quad (4)$$

$$\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J d_i X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K s_k Y_{jk}, \forall j \quad (5)$$

$$X_{ij} \in \{0,1\} \quad (6)$$

$$Y_{jk} \in \{0,1\} \quad (7)$$

สมการที่ (2) ยืนยันว่ามูลฝอยติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล i จะได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j เพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการที่ (3) ยืนยันว่าโรงพยาบาล j สามารถติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k ได้เพียงหนึ่งขนาดเท่านั้น สมการที่ (4) แสดงว่าโรงพยาบาล i จะได้รับการบริการจากโรงพยาบาล j ที่ติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k แล้วเท่านั้น สมการที่ (5) แสดงว่าการให้บริการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาล j ที่ติดตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k ต้องไม่เกินความจุของ

บทความวิจัย (Research Article)

เตาเผามูลฝอยติดเชื้อ k สมการที่ (6) และสมการที่ (7) แสดงตัวแปรการตัดสินใจเป็นแบบไบนารี (Binary)

3.3 แปลงตัวแบบทางคณิตศาสตร์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO

การประมวลผลข้อมูลเพื่อทำการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งที่เหมาะสมของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลจังหวัดกาฬสินธุ์ จะเริ่มต้นจากนำสมการที่ (1) ถึง (7) มาเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ลิงโก ผลการคำนวณจะแสดงในหัวข้อที่ 4 ต่อไป

4. ผลการวิจัย

ในหัวข้อนี้จะนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาประมวลโดยใช้วิธีที่นำเสนอ ดังนี้

4.1 การสร้างเมตริกซ์ระยะทางและการคำนวณต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

เมตริกซ์ระยะทางประกอบด้วยระยะทางระหว่างโรงพยาบาลโดยใช้การวัดระยะทางโดยใช้ Google map และปริมาณมูลฝอยติดเชื้อต่อวัน และต้นทุนต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อแต่ละชนิด มีรายละเอียดต่อไปนี้

ตารางที่ 1 ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ ปี 2564

ID	รายชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)
H1	โรงพยาบาลกาฬสินธุ์	626.71
H2	โรงพยาบาลกมลาไสย	80.61
H3	โรงพยาบาลเขาวง	57.05
H4	โรงพยาบาลคำม่วง	39.18

ID	รายชื่อโรงพยาบาล	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)
H5	โรงพยาบาลฆ้องชัย	19.61
H6	โรงพยาบาลดอนจาน	11.37
H7	โรงพยาบาลท่าคันโท	29.93
H8	โรงพยาบาลนาคู	26.01
H9	โรงพยาบาลนามน	15.26
H10	โรงพยาบาลยางตลาด	130.74
H11	โรงพยาบาลร่องคำ	8.22
H12	พระยุพราชกุฉินารายณ์	161.35
H13	โรงพยาบาลสมเด็จ	72.89
H14	โรงพยาบาลสหัสขันธ์	52.42
H15	โรงพยาบาลสามชัย	14.31
H16	โรงพยาบาลหนองกุงศรี	70.04
H17	โรงพยาบาลห้วยผึ้ง	15.86
H18	โรงพยาบาลห้วยเม็ก	39.18
รวมทั้งสิ้น		1,470.74

ตารางที่ 2 เมตริกซ์ระยะทางประกอบด้วยระยะทางระหว่างโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์

ID	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H1	0	14.8	89	77	30	29
H2	14.8	0	91.6	87	15.5	26.9
H3	89	91.6	0	82.1	107	66.4
H4	77	87	82.1	0	102	79.2
H5	30	15.5	107	102	0	42.2
H6	29	26.9	66.4	79.2	42.2	0
H7	83	100	135	58.7	104	97.7
H8	81	94.6	11.8	76.8	110	67.2
H9	43	45.7	53.2	57.1	71.5	20.8

บทความวิจัย (Research Article)

ID	H1	H2	H3	H4	H5	H6
H10	19	27.9	105	96.8	24.6	47.1
H11	38	24.7	74.8	114	33.7	32.7
H12	68	73.3	22.2	75.2	90.6	44.6
H13	42	55.4	47.4	38	70.7	48.6
H16	62	64.2	104	69.5	68.5	73.9
H14	34	47.6	74.9	40	60.7	48.7
H15	75	88.9	84	16.7	104	85.2
H17	61	74.2	25.5	56.9	89.6	46.8
H18	50	58.9	117	81.6	55.6	69.4

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ID	H7	H8	H9	H10	H11	H12
H1	83	81	43	19	38	68
H2	100	94.6	45.7	27.9	24.7	73.3
H3	135	11.8	53.2	105	74.8	22.2
H4	58.7	76.8	57.1	96.8	114	75.2
H5	104	110	71.5	24.6	33.7	90.6
H6	97.7	67.2	20.8	47.1	32.7	44.6
H7	0	120	95	80	126	118
H8	120	0	49	101	86	34
H9	95	49	0	63	50	32
H10	80	101	63	0	46	84
H11	126	86	50	46	0	56
H12	118	34	32	84	56	0
H13	81	43	22	62	79	41

ID	H7	H8	H9	H10	H11	H12
H16	37	100	67	44	90	98
H14	50	70	37	53	71	68
H15	51	79	59	98	115	77
H17	100	21	28	80	77	22
H18	49	112	79	31	77	117

ตารางที่ 2 (ต่อ)

ID	H13	H14	H15	H16	H17	H18
H1	42	62	34	75	61	50
H2	55.4	64.2	47.6	88.9	74.2	58.9
H3	47.4	104	74.9	84	25.5	117
H4	38	69.5	40	16.7	56.9	81.6
H5	70.7	68.5	60.7	104	89.6	55.6
H6	48.6	73.9	48.7	85.2	46.8	69.4
H7	81	37	50	51	100	49
H8	43	100	70	79	21	112
H9	22	67	37	59	28	79
H10	62	44	53	98	80	31
H11	79	90	71	115	77	77
H12	41	98	68	77	22	117
H13	0	60	31	40	22	73
H16	60	0	30.2	71.5	95.1	12.5
H14	31	30.2	0	41.9	49.8	42.3
H15	40	71.5	41.9	0	58.8	81.2
H17	22	95.1	49.8	58.8	0	91.3

บทความวิจัย (Research Article)

ID	H13	H14	H15	H16	H17	H18
H18	73	12.5	42.3	81.2	91.3	0

4.2 ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ

ความจุเตาเผามูลฝอยติดเชื้อมีจำนวน 3 แบบ ดังนี้ แบบที่ 1 ความจุเตาเผา 400 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 1.2 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี แบบที่ 2 ความจุเตาเผา 800 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 1.8 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี และแบบที่ 3 ความจุเตาเผา 1,200 กิโลกรัมต่อวัน มูลค่าราคา 2.2 ล้านบาท และมีอายุการใช้งาน 10 ปี โดยการนำข้อมูลที่เกี่ยวข้องมาคำนวณต้นทุนต่อวัน ดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อแต่ละชนิด

รายการต้นทุน/ ค่าใช้จ่าย	ต้นทุนเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ (บาท/วัน)		
	แบบที่ 1	แบบที่ 2	แบบที่ 3
1. ค่าเสื่อมราคา	329	439	603
2. ค่าดำเนินการเผา	800	860	920
3. ค่าบำรุงรักษา	280	350	420
4. ค่าสาธารณูปโภค	660	730	800
5. ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง	800	1,500	2,100
6. ค่าจ้างวิศวกร	650	650	650
7. ค่าจ้างนักวิชาการ	600	600	600
รวมทั้งสิ้น	4,119	5,129	6,093

4.3 การเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์

ขั้นตอนการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จะมีสองขั้นตอนย่อย ดังนี้

4.3.1 เขียนโปรแกรมสำหรับแก้ปัญหาการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์โดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO

จากหัวข้อที่ 3.2 ซึ่งเป็นตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อในโรงพยาบาลจังหวัดกาฬสินธุ์ เริ่มจากหาผลเฉลยของสมการที่ (1) ถึง (7) โดยการเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ลิงโก ดังนี้

MODEL:

SETS:

```
HOSPITAL_i/1..18/;
HOSPITAL_j/1..18/d;
INCINERATOR_k/1..3/:s,o
IJ(HOSPITAL_i,
HOSPITAL_j):dt,X;
IK(HOSPITAL_i,INCINERATOR_
k);;
JK(HOSPITAL_j,
INCINERATOR_k):Y;
```

ENDSETS

DATA:

```
dt,d,s,o =@OLE('C:\Users\Data-
project.xlsx','dt','d','s','o');
```

u= 4.5;

ENDDATA

บทความวิจัย (Research Article)

```

MIN
=@SUM(IJ(i,j):u*dt(i,j)*X(i,j))+@SUM(J
K(j,k):o(k)*Y(j,k));
@FOR(HOSPITAL_i(i):@SUM(HOSP
ITAL_j(j):X(i,j))=1);
@FOR(HOSPITAL_j(j):@SUM(INCI
NERATOR_k(k):Y(j,k))<=1);
@FOR(IJ(i,j):X(i,j)<=
@SUM(INCINERATOR_k(k):Y(j,k)));
@FOR(HOSPITAL_j(j):@SUM(HOSP
ITAL_i(i):d(i)*X(i,j))
<=@SUM(INCINERATOR_k(k):s(k)*Y
(j,k)));
@FOR(IJ(i,j):@BIN(X(i,j)));
@FOR(JK(j,k):@BIN(Y(j,k)));
END

```

4.3.2 ผลการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสม

หลังจากการเขียนโปรแกรมด้วยซอฟต์แวร์ LINGO โดยการป้อนข้อมูลที่เกี่ยวข้องในข้างต้นลงไป ในโปรแกรมที่เขียนขึ้น จากนั้นทำการรันเพื่อหาผลเฉลย โดยมีรายละเอียดดังนี้

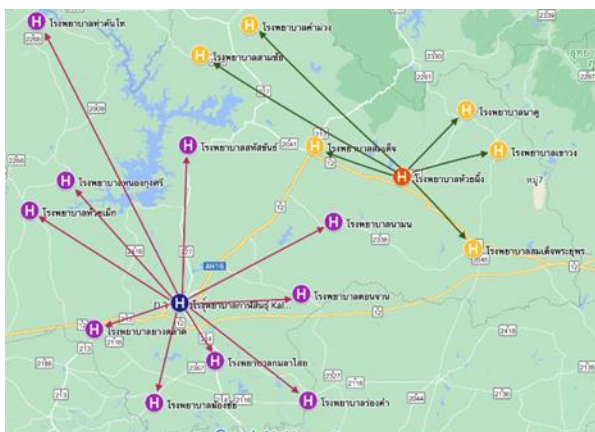
ตารางที่ 4 แสดงผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาต้นทุนรวมต่ำสุด สรุปได้ดังนี้ ต้นทุนรวมจากการใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกวิเคราะห์ เท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน (โดยต้นทุนรวมจะพิจารณาจากต้นทุนดำเนินการสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อ และ ต้นทุนการขนส่งมูลฝอยติดเชื้อ) ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา มูลฝอยติดเชื้อจุดที่ 1 คือ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ (H1*) มีขนาดเตาเผา 1,200 กิโลกรัมต่อวัน (K=3) โดยมีโรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ (H1), โรงพยาบาลกมลาไสย (H2), โรงพยาบาลฆ้องชัย (H5), โรงพยาบาลดอนจาน (H6), โรงพยาบาลท่าคันโท (H7), โรงพยาบาลนามน (H9), โรงพยาบาลยางตลาด (H10), โรงพยาบาลร่องคำ (H11), โรงพยาบาลสหัสขันธ์ (H14), โรงพยาบาลหนองกุงศรี (H16) และโรงพยาบาลห้วยเม็ก (H18)

ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขน 1,084.09 กิโลกรัมต่อวัน ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยติดเชื้อจุดที่ 2 คือ โรงพยาบาลห้วยผึ้ง (H17*) มีขนาดเตาเผา 400 กิโลกรัมต่อวัน (K=1) โดยมีโรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ ได้แก่ โรงพยาบาลเขาวง (H3), โรงพยาบาลคำม่วง (H4), โรงพยาบาลนาคู (H8), โรงพยาบาลสมเด็จพระยุพราชกุฉินารายณ์ (H12), โรงพยาบาลสมเด็จ (H13), โรงพยาบาลสามชัย (H15) และ โรงพยาบาลห้วยผึ้ง (H17) ซึ่งมีปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขน 386.65 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งรวมปริมาณมูลฝอยติดเชื้อที่เก็บขนต่อวันรวมทั้ง 18 โรงพยาบาล เท่ากับ 1470.74 กิโลกรัมต่อวัน รูปที่ 3 แสดงผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น สำหรับการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสม

ตารางที่ 4 ผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พิจารณาต้นทุนอย่างเดียว

H1*	K=3	H1, H2, H5, H6, H7, H9, H10, H11, H14, H16, H18	1,084.09
H17*	K=1	H3, H4, H8, H12, H13, H15, H17	386.65
ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผา	ขนาดเตาเผา (กิโลกรัมต่อวัน)	โรงพยาบาลที่ได้รับการบริการ	ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อ (กิโลกรัมต่อวัน)

บทความวิจัย (Research Article)



รูปที่ 3 ผลเฉลยจากตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้นำเสนอตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการเลือกเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่เหมาะสมสำหรับการให้บริการโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ โดยพิจารณาโครงข่ายของสถานที่ตั้งที่ให้ต้นทุนรวมต่ำสุด ซึ่งต้นทุนรวมประกอบด้วยต้นทุนดำเนินการและต้นทุนการขนส่ง เริ่มจากการสร้างโปรแกรมเชิงเส้นสำหรับปัญหาการเลือกสถานที่ตั้งของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อสำหรับกรณีศึกษา หลังจากนั้นทำการเขียนโค้ดตัวแบบโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอโดยใช้ซอฟต์แวร์ LINGO ลำดับต่อมาทดสอบแบบจำลองโปรแกรมเชิงเส้นที่นำเสนอด้วยกรณีศึกษาโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ จำนวน 18 แห่ง ผลการวิจัยพบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผามูลฝอยติดเชื้อที่ทำให้ต้นทุนรวมต่ำสุดมีจำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกาฬสินธุ์ติดตั้งเตาเผาขนาด 1,200 กก.ต่อวัน และโรงพยาบาลห้วยผึ้งติดตั้งเตาเผาขนาด 400 กก.ต่อวัน ตามลำดับ โดยมีต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 12,500.50 บาทต่อวัน ลดลงจากการใช้บริการกำจัดของเอกชน (14,707.40 บาทต่อวัน) เป็น 2,206.9 บาทต่อวัน คิดเป็น 15% สำหรับงานวิจัยในอนาคตผู้วิจัยเสนอแนะดังนี้

(1) งานวิจัยนี้เป็นการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผามูลฝอยที่พิจารณาที่ต้นทุนอย่างเดียว อย่างไรก็ตามในทางปฏิบัติอาจจำเป็นต้องพิจารณาปัจจัยที่เกี่ยวข้องกับสังคมและสิ่งแวดล้อมด้วย เช่น ระเบียบข้อบังคับ กฎหมายที่เกี่ยวข้อง เพื่อให้ครอบคลุมทุกมุมมองที่เกี่ยวข้อง (2) งานวิจัยนี้มีจำนวนโรงพยาบาลที่ถูกนำมาประมวลผลจำนวน 18 โรงพยาบาลซึ่งสามารถใช้ซอฟต์แวร์ลิงโกนำมาประมวลผลได้เนื่องจากปัญหามีขนาดเล็ก อย่างไรก็ตามหากปัญหามีที่ขนาดใหญ่ขึ้น หรือปัญหา Np-hard การแก้ปัญหาลักษณะนี้อาจจะหาคำตอบไม่ได้จากซอฟต์แวร์ลิงโกสำหรับปัญหาดังกล่าวจึงเสนอแนะให้พัฒนาฮิวริสติก (Heuristics) หรือเมตาฮิวริสติกส์ (Metaheuristics) เพื่อหาคำตอบที่เหมาะสมที่สุดต่อไป (3) วิธีการที่นำเสนอการเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาที่เหมาะสมสำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดกาฬสินธุ์ ซึ่งงานวิจัยนี้สามารถใช้เป็นแนวทางในงานวิจัย หรือพื้นที่อื่นได้ และ (4) ปริมาณมูลฝอยติดเชื้อในงานวิจัยนี้เป็นแบบค่าที่แน่นอน อย่างไรก็ตามในความเป็นจริงปริมาณมูลฝอยติดเชื้อเป็นแบบไม่แน่นอน ควรพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์แบบคลุมเครือสำหรับการแก้ไขปัญหาดังกล่าว

6. กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณ มหาวิทยาลัยราชภัฏเทพสตรี และ มหาวิทยาลัยกาฬสินธุ์ ที่สนับสนุนบทความวิจัยฉบับนี้ และผู้แต่งขอขอบคุณผู้ทรงคุณวุฒิที่พิจารณาบทความและให้ข้อเสนอแนะที่เป็นประโยชน์ เพื่อให้คุณภาพของบทความวิจัยนี้ดียิ่งขึ้นให้อยู่หลังเนื้อหาหลักของบทความและก่อนเอกสารอ้างอิง

บทความวิจัย (Research Article)

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Singh, O. A. Ogunseitan, and Y. Tang, "Medical waste: Current challenges and future opportunities for sustainable management," *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, vol. 52, no. 11, pp. 2000-2022, 2022.
- [2] C.-W. Yoon, et al., "A review of medical waste management systems in the Republic of Korea for hospital and medical waste generated from the COVID-19 pandemic," *Sustainability*, vol. 14, no. 6, p. 3678, 2022.
- [3] กองอนามัยสิ่งแวดล้อมกระทรวงสาธารณสุข, "แนวทางการจัดการขยะติดเชื้อ," [ออนไลน์]. 2539. Available: https://env.anamai.moph.go.th/webupload/migrated/files/env/n722_d50370459_253e3fd1ef8d6f0a817cf76_f011.pdf. [เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566].
- [4] อรรถพล เจริญชันษา, "ขยะมูลฝอยลดลง ขยะติดเชื้อและขยะอันตรายเพิ่มขึ้นบริหารจัดการอย่างถูกวิธี," [ออนไลน์]. 2565. Available: https://www.pcd.go.th/pcd_news/20802/. [เข้าถึงเมื่อ: 10 มกราคม 2566].
- [5] N. Wichapa and P. Khokhajaikiat, "Solving multi-objective facility location problem using the fuzzy analytical hierarchy process and goal programming: a case study on infectious waste disposal centers," *Operations Research Perspectives*, vol. 4, pp. 39-48, 2017.
- [6] อนุชา ศรีบุรัมย์ และ สมบัติ สิ้นธุเชาวน์, "วิธีแก้ปัญหาการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1, ฉบับที่ 2, หน้า 51-59, 2556.
- [7] บุชบา สมิแจ่ม, พิชรี แก้วทอง และ โรจน์ หอมขาลี, "การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 7, ฉบับที่ 2, 2562.
- [8] T. Srisuwandee and S. Sindhuchao, "The Differential Evolution Algorithm for Solving the Problem of Size Selection and Location of Infectious Waste Incinerator," *Computation*, vol. 11, no. 1, p. 10, 2023.
- [9] S. Suksee and S. Sindhuchao, "GRASP with ALNS for solving the location routing problem of infectious waste collection in the Northeast of Thailand," *International Journal of Industrial Engineering Computations*, 2021.