

การหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม

บุษบา สมีแจ่ม¹ พชร แก้วทอง² และ โรจน์ หอมชาลี³

ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อ.กันทรวิชัย จ.มหาสารคาม 44150

Received: 17 July 2019; Revised: 4 December 2019; Accepted: 16 December 2019

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ สำหรับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม จำนวน 13 แห่ง ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นเป็นแบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม โดยมีเป้าหมายเพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นด้วยโปรแกรม LINGO ผลการวิจัยพบว่า โรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามควรเลือกใช้เตาเผาขยะติดเชื้อขนาดความจุ 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน บนตำแหน่งที่ตั้งทั้งหมด 2 แห่ง คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาคัน ตามลำดับ โดยมีค่าใช้จ่ายโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 16,108 บาท/วัน และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลแกลง โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลกุตุรง และโรงพยาบาลชื่นชม โดยมีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 1,030.11 กิโลกรัม/วัน โรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมากำจัดที่โรงพยาบาลนาคัน ได้แก่ โรงพยาบาลนาคัน โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาลยางสีสุราช มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 180.17 กิโลกรัม/วัน นอกจากนี้เมื่อวิเคราะห์ความไวของตัวแบบโดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน พบว่า ตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการไม่เปลี่ยนแปลงมาก และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะติดเชื้อสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาให้บริการเอกชนดำเนินการเผากำจัด

คำสำคัญ: การหาตำแหน่งที่ตั้ง เตาเผาขยะติดเชื้อ ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ การโปรแกรมจำนวนเต็ม

* Corresponding author. E-mail: rojane.h@msu.ac.th

^{1,2} นิสิตหลักสูตร วท.บ. (สถิติ) ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

³ อาจารย์ ภาควิชาคณิตศาสตร์ คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม

Location of Infectious Waste Incinerator of the Hospital in Maha Sarakham Province

Budsaba Sameejam¹ Patcharee Kaewthong² and Rojanee Homchalee^{*3}

Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University
Kantarawichai, Maha Sarakham 44150

Received: 17 July 2019; Revised: 4 December 2019; Accepted: 16 December 2019

Abstract

This research aims to develop mathematical model for locating the infectious waste incinerator for 13 hospitals in Maha Sarakham province. The mathematical model was developed as an Integer Programming with minimizing the total cost. This mathematical model was solved by LINGO. The result showed that there should be two locations of infectious waste incinerators in Mahasarakham hospital and Nadun hospital with a capacity of 1,200 and 400 kg/day, respectively. The total cost is minimized to 16,108 baht/day. The hospitals that should transport the infectious waste to the incinerator located in Mahasarakham hospital are Mahasarakham hospital, Borabue hospital, Kosum Phisai hospital, Chiang Yuen hospital, Kae Dam hospital, Kantharawichai hospital, Kut Rang hospital, and Chuenchom hospital, with the total amount of 1,030.11 kg/day. Moreover, the hospitals that should transport the infectious waste to the incinerator located in Nadun hospital are Nadun hospital, Phayakkhaphum Phisai hospital, Wapi Pathum hospital, Na Chueak hospital, and Yang Si Surat hospital, with the total amount of 180.17 kg/day. Additionally, when analyzing the sensitivity of the model by varying the average amount of infectious waste per day, it is found that the location and the size of incinerator are not much changed. Although the hospital has a 30% increasing amount of infectious waste, it still has a lower total cost than hiring a private company to handle.

Keywords: Location, Infectious waste incinerator, Mathematical model, Integer Programming.

* Corresponding author. E-mail: rojanee.h@msu.ac.th

^{1,2} Undergraduate students in B.Sc. (Statistics), Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

³ Lecturer in Department of Mathematics, Faculty of Science, Mahasarakham University

1. บทนำ

ประเทศไทยมีประชากรเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องทุกปี มีสถานพยาบาล ได้แก่ โรงพยาบาล ศูนย์บริการสาธารณสุข สถานีอนามัย คลินิก ทั้งที่เป็นของรัฐและเอกชนจำนวนมาก กว่า 37,000 แห่ง ซึ่งมีจำนวนเตียงประมาณ 140,000 เตียง แม้ว่าความเจริญก้าวหน้าทางการแพทย์จะมีมากขึ้น แต่ผู้ป่วยที่เข้ารับการรักษาตัวในโรงพยาบาลกลับมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามปริมาณของประชากร เจ้าหน้าที่และแพทย์ในโรงพยาบาลต้องใช้เวลาสำหรับการรักษาผู้ป่วย ส่งผลให้มีขยะของเสียเกิดขึ้นจากโรงพยาบาลที่เรียกว่า ขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาล (Hospital Waste) ขยะติดเชื้อเหล่านี้จัดเป็นขยะอันตราย (Hazardous Waste) เนื่องจากมีทั้งขยะติดเชื้อที่สามารถแพร่เชื้อโรคได้ รวมทั้งของเสียที่ปนเปื้อนสารกัมมันตรังสี ยาเสื่อมสภาพ สารเคมีอันตราย ของมีคม ซากสัตว์ทดลอง ฯลฯ ทั้งนี้สถานพยาบาลส่วนใหญ่ยังไม่มีการจัดการเก็บรวบรวมและกำจัดให้ถูกต้อง ขยะติดเชื้อจากสถานพยาบาลจึงได้ถูกทิ้งออกสู่สิ่งแวดล้อมปะปนกับขยะชุมชนเพิ่มมากขึ้น ทำให้เพิ่มความเสี่ยงในการแพร่กระจายเชื้อโรคซึ่งมีผลต่อสุขภาพอนามัยของประชาชน โดยเฉพาะสุขภาพอนามัยของเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงานเก็บขนหรือพนักงานในสถานที่เผากำจัด ซึ่งได้เกิดการเจ็บป่วยด้วยโรคต่างๆ เช่น โรคตับอักเสบ โรคระบบทางเดินหายใจ โรคพยาธิ หรือแม้แต่การติดเชื้อโรคเอดส์ นอกจากนี้ยังเกิดความเสี่ยงของการแพร่กระจายเชื้อโรค ทำให้มีผลกระทบต่อสุขภาพของประชาชนและสิ่งแวดล้อมในเขตเมืองทั่วไป [1]

สำหรับจังหวัดมหาสารคาม พบว่า มีโรงพยาบาลประจำอำเภอ จำนวน 13 แห่ง มีปริมาณขยะติดเชื้อรวม 1,210.28 กิโลกรัม/วัน ทุกโรงพยาบาลมีระบบการจัดการขยะติดเชื้อ และจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการขนส่งและกำจัด โดยประเมินผลการดำเนินงานการจัดการขยะติดเชื้อตามมาตรฐานกฎกระทรวงสาธารณสุข พ.ศ. 2545 [2]

การขนส่งขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลส่งเสริมสุขภาพประจำตำบล (รพ.สต.) มากำจัดยังโรงพยาบาลแม่ข่ายซึ่งเป็นโรงพยาบาลประจำอำเภอ พบว่า จังหวัดมหาสารคามมีการขนส่งขยะติดเชื้อ 2 รูปแบบ ดังนี้ 1) โรงพยาบาลแม่ข่าย จำนวน 11 แห่ง ไปให้บริการรับขยะติดเชื้อที่ รพ.สต. ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลนาเชือก โรงพยาบาล

นาตูน โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลแกดำ โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลโกสุมพิสัย และโรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลยางสีสุราช โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย 2) รพ.สต. นำขยะติดเชื้อส่งไปที่โรงพยาบาลแม่ข่าย จำนวน 2 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลกุดรัง และโรงพยาบาลชื่นชม นอกจากนี้ยังพบว่า ที่พักขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลได้มาตรฐานทุกแห่ง และในส่วนของ รพ.สต. ทุกอำเภอ ก็ได้ดำเนินการปรับปรุงให้ได้มาตรฐานครบทุกแห่งเช่นเดียวกัน โดยใช้งบประมาณดำเนินการเอง และบางแห่งได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโรงพยาบาลประจำอำเภอ เช่น รพ.สต. ในพื้นที่อำเภอนาเชือก ซึ่งได้รับงบประมาณสนับสนุนจากโรงพยาบาลในการจัดสร้างที่พักขยะจำนวน 1 แห่ง ด้วยงบประมาณ 50,000 บาท แต่สำหรับการเผากำจัดขยะติดเชื้อนั้น ทุกโรงพยาบาลใช้วิธีจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการดำเนินการ [3]

จากปัญหาที่โรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคามได้ส่งขยะติดเชื้อให้หน่วยงานเอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองภายในโรงพยาบาล ซึ่งมีงบประมาณในการกำจัดค่อนข้างสูง ผู้วิจัยจึงได้สร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์สำหรับการตัดสินใจเลือกตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ และการจัดสรรที่เหมาะสมสำหรับขนส่งและกำจัดขยะติดเชื้อ เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการจ้างเหมาให้บริษัทเอกชนนำไปกำจัด รวมถึงค่าใช้จ่ายในการขนส่งและการบริหารจัดการ เพื่อให้เกิดการประหยัดสูงสุดกับโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

มีงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ (Facility Location) ซึ่งใช้วิธีการดำเนินงานวิจัยที่ทั้งคล้ายคลึงและแตกต่างกันไป เช่น การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาว กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี พบว่า ในภาคตะวันตกเป็นภูมิภาคที่มีอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาวอยู่มาก โดยจังหวัดที่มีอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาวมาก คือ กาญจนบุรี และราชบุรี การที่จังหวัดกาญจนบุรีมีอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาวอยู่มากที่สุด เนื่องจากเป็นพื้นที่แหล่งวัตถุดิบของอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาว คือ กากน้ำตาล ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากการผลิตน้ำตาลจากโรงงานน้ำตาลที่มีมากถึง 7

โรงงาน การหาที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมนมกลั่นสุราขาวในพื้นที่ดังกล่าวพิจารณาจากระยะทาง จะทำให้ประหยัดค่าขนส่งวัตถุดิบและสะดวกต่อการจัดการวัตถุดิบ เพราะหากนำตาลเป็นวัตถุดิบที่สูญเสียน้ำหนักได้ [4] อีกงานวิจัยหนึ่งได้ประยุกต์ใช้วิธี Center of Gravity ในการศึกษาความเหมาะสมของที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าในเขตภูมิภาค กรณีศึกษาบริษัท ABC ซึ่งทำให้ได้ตำแหน่งในเบื้องต้น แต่เนื่องจากตำแหน่งที่ระบุด้วยวิธีดังกล่าวอยู่ในพื้นที่ที่ไม่มีระบบโครงสร้างพื้นฐานที่เหมาะสม จึงได้ทำการพิจารณาหาตำแหน่งที่เหมาะสม ภายในรัศมี 50 กิโลเมตร โดยใช้ลักษณะของสินค้าที่เป็น Fast Move และความเร็วของการใช้งานรถบรรทุกเป็นข้อกำหนดขนาดของรัศมี ซึ่งสามารถระบุตำแหน่งที่เหมาะสมได้ 3 ตำแหน่งคือ RDC1 RDC2 และ RDC3 [5]

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ได้นำหลักการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ (Mathematical Model) มาประยุกต์ใช้ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวก เช่น การหาทำเลที่ตั้งและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัท ยัม เรสเทอรองต์ส อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด ซึ่งเป็นผู้ให้บริการ ผู้บริหาร และผู้ให้สิทธิแฟรนไชส์ ร้าน KFC และ Pizza Hut ในประเทศไทย โดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์เพื่อหาวิธีจัดการที่ดีที่สุดในการลดต้นทุนเพื่อปรับปรุงและออกแบบระบบการกระจายสินค้า เพื่อแก้ปัญหากระบวนการขนส่งของจังหวัดต่างๆ และเพื่อให้สามารถตอบสนองความต้องการของลูกค้าได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยผู้วิจัยได้ทำการจัดเก็บข้อมูลต่างๆ เช่น ปริมาณการขนส่งสินค้าแต่ละชนิด ข้อมูลค่าบริหารคลังสินค้า ปริมาณการเก็บสินค้าคงคลัง และต้นทุนการกระจายสินค้าของแต่ละช่องทาง เป็นต้น จากนั้นจึงนำข้อมูลที่ได้นำวิเคราะห์ถึงปัญหา และนำเสนอตัวแบบการโปรแกรมเชิงเส้น (Linear Programming) ในการปรับปรุงประสิทธิภาพของระบบการกระจายสินค้า เพื่อหาจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสมและมีต้นทุนต่ำที่สุด [6] มีงานวิจัยที่วิเคราะห์ด้วยวิธีฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์ โดยพิจารณาทั้งปัจจัยเชิงปริมาณและปัจจัยเชิงคุณภาพ และมีการให้น้ำหนักความสำคัญของฟังก์ชันแต่ละวัตถุประสงค์ที่แตกต่างกัน เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้า

ภูมิภาคในประเทศไทย พบว่า ควรเลือกพื้นที่จังหวัดชลบุรี นครราชสีมา สุราษฎร์ธานี และลำปาง เพื่อเป็นที่ตั้งของศูนย์กระจายสินค้าส่วนภูมิภาค [7]

สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งคลังสำหรับการจัดการวัสดุอันตราย ซึ่งเป็นการตัดสินใจเชิงกลยุทธ์และการดำเนินงานที่มีผลกระทบระยะกลางและระยะยาว โดยพิจารณาว่าคลังจัดเก็บมีความเสี่ยงซึ่งอาจเกิดจากปัจจัยหลายประการรวมถึงอุบัติเหตุ การซ่อมบำรุง อุปกรณ์ และไฟฟ้าดับ เป็นต้น จึงมีการศึกษาเพื่อลดความเสี่ยงของระบบในการจัดเก็บและการขนส่งภายใต้ข้อจำกัดด้านงบประมาณ ปัญหาได้ถูกกำหนดเป็นรูปแบบการเขียนโปรแกรมเชิงเส้นจำนวนเต็มเพื่อกำหนดที่ตั้งคลังเก็บที่ดีที่สุดในปริมาณของวัสดุอันตรายที่จัดเก็บในแต่ละคลังเก็บ แผนการขนส่งที่เหมาะสมที่สุด และแผนฉุกเฉินสำหรับรองรับการหยุดชะงักในการดำเนินงานของคลัง ผลเฉลยแสดงให้เห็นว่าสามารถลดความเสี่ยงได้ 8.33% และการประหยัดต้นทุน 1.92% เมื่อเทียบกับการจัดสรรแบบเดิมซึ่งไม่คำนึงถึงการหยุดชะงักในการดำเนินงานของคลัง [8]

กรณีการจัดการขยะของเสียทางการแพทย์นั้น จะมี การออกกฎหมายและวิธีการกำจัดการเป็นกรณีเฉพาะ ประเทศที่พัฒนาแล้วหลายแห่งมีกฎหมายด้านการแพทย์ แต่ยังมี การละเลยการดำเนินการตามกฎหมาย ทำให้การคัดแยกขยะทางการแพทย์ไม่มีประสิทธิภาพเท่าที่ควร โดยเฉพาะขยะติดเชื้อซึ่งต้องถูกกำจัดด้วยการเผา ทำให้ต้นทุนการกำจัดสูงและส่งผลกระทบที่ไม่พึงประสงค์ต่อสิ่งแวดล้อม จากการศึกษา ทบทวน พบว่า การดำเนินงานที่เป็นมาตรฐานของพนักงานสถานพยาบาลในการคัดแยกขยะนั้นเป็นสิ่งสำคัญที่ส่งผลต่อประสิทธิภาพการจัดการขยะทางการแพทย์ [9] นอกจากนี้ยังพบว่า บางประเทศยังจัดการขยะของเสียทางการแพทย์ไม่เหมาะสม ปริมาณขยะทางการแพทย์บางส่วนถูกกำจัดด้วยวิธีเช่นเดียวกับขยะในครัวเรือน จึงต้องสร้างความเข้าใจและความร่วมมือระหว่างหน่วยงานในทุกระดับตั้งแต่รัฐบาลระดับชาติและท้องถิ่น ไปจนถึงพนักงานในสถานพยาบาลทั้งของรัฐและเอกชน [10]

จากการทบทวนวรรณกรรมยังพบอีกว่า มีงานวิจัยเกี่ยวกับการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย ใน

พื้นที่สาธารณสุข เขต 6 ซึ่งประกอบด้วย 8 จังหวัด คือ ขอนแก่น กาฬสินธุ์ มหาสารคาม สกลนคร อุดรธานี หนองคาย หนองบัวลำภู และเลย มีจำนวนโรงพยาบาลชุมชนทั้งสิ้น 107 แห่ง โรงพยาบาลทุกแห่งจะมีการกำจัดขยะติดเชื้อด้วยการเผาในเตาเผา พบว่าโรงพยาบาลมีเตาเผาหลากหลายขนาด ทั้งสภาพดีและชำรุด โดยขั้นตอนการกำจัดขยะติดเชื้อเริ่มจากการคัดแยกขยะติดเชื้อออกจากขยะทั่วไปก่อน จากนั้นจึงนำไปทำลายต่อไป โดยโรงพยาบาลชุมชนมีปริมาณขยะติดเชื้อ 10–20 กิโลกรัม/วัน ได้ส่งขยะติดเชื้อให้เอกชนนำไปกำจัดแทนการกำจัดเองภายในโรงพยาบาล เนื่องจากเตาเผาชำรุดและขาดงบประมาณในการซ่อมแซมอุปกรณ์ต่างๆ งานวิจัยจึงได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกขนาดและตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยมีวัตถุประสงค์ให้ต้นทุนรวมต่ำที่สุด จากการหาคำตอบด้วยโปรแกรม LINGO พบว่า มีการเลือกที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อ 3 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 อยู่ที่โรงพยาบาลเชียงยืนเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อที่มีความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน ตำแหน่งที่สอง คือโรงพยาบาลสว่างแดนดิน โดยมีเตาเผาขนาดความจุ 800 กิโลกรัม/เตา/วัน และตำแหน่งสุดท้ายที่โรงพยาบาลเอราวัณ เลือกเตาเผาขนาดความจุ 400 กิโลกรัม/เตา/วัน ผลเฉลี่ยที่ได้ให้ต้นทุนรวมต่ำสุดเท่ากับ 29,821 บาท/วัน [11]

ทั้งนี้การเลือกที่ตั้งที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อเป็นกระบวนการที่ยุ่งยากและซับซ้อน เนื่องจากต้องรวมปัจจัยทางสังคมและสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวกับการตีความและปัจจัยด้านต้นทุนที่ต้องมีการจัดสรรทรัพยากร อีกทั้งยังขึ้นอยู่กับกฎระเบียบหลายประการ จึงมีงานวิจัยที่พิจารณาปัจจัยหลายอย่าง เช่น โครงสร้างพื้นฐาน ปัจจัยทางธรณีวิทยาและสิ่งแวดล้อม ในการเลือกที่ตั้งสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของไทยโดยวิธีกระบวนการลำดับขั้นเชิงวิเคราะห์แบบคลุมเครือ (Fuzzy Analytical Hierarchy Process: FAHP) หลังจากนั้นได้รวมกับตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมเป้าหมาย (Goal Programming: GP) เป็นแบบจำลอง FAHP-GP ซึ่งสามารถนำไปสู่การเลือกสถานที่ใหม่ที่เหมาะสมสำหรับการกำจัดขยะมูลฝอยติดเชื้อ ซึ่งพิจารณาทั้งการรวมกันของ

ปัจจัยที่เกี่ยวข้องซึ่งยากต่อการตีความและปัจจัยด้านต้นทุนซึ่งจำเป็นต้องมีการจัดสรรทรัพยากร [12]

จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังกล่าวจะเห็นว่าได้มีการประยุกต์ใช้ตัวแบบทางคณิตศาสตร์ในการหาตำแหน่งที่ตั้งของสิ่งอำนวยความสะดวกต่างๆ ในงานวิจัยนี้ได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) [13] สำหรับหาตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อของโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งมีการบริหารจัดการขยะที่ยังไม่ได้ประสิทธิภาพเท่าที่ควรและมีต้นทุนสูงจากการดำเนินการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการกำจัดขยะติดเชื้อ

3. วิธีดำเนินการวิจัย

ผู้วิจัยได้ดำเนินการวิจัยตามขั้นตอน ดังต่อไปนี้

3.1 การวิเคราะห์ปัญหา

พื้นที่จังหวัดมหาสารคาม ประกอบไปด้วย 13 อำเภอ ได้แก่ อำเภอเมืองมหาสารคาม อำเภอโกสุมพิสัย อำเภอกันทรวิชัย อำเภอบรบือ อำเภอแกดำ อำเภอเชียงยืน อำเภอนาคู อำเภอนาเชือก อำเภอพยัคฆภูมิพิสัย อำเภอนาป่า อำเภอวาปีปทุม อำเภอสามชัย อำเภอภูพาน อำเภอเมือง และอำเภอชื่นชม โดยมีโรงพยาบาลประจำอำเภอจำนวน 13 แห่ง ตามลำดับ จากการสำรวจปริมาณขยะติดเชื้อที่เกิดขึ้นในแต่ละโรงพยาบาลพบว่า มีปริมาณเพิ่มขึ้นตามจำนวนผู้ป่วยที่เข้ามารับการรักษาพยาบาล ซึ่งในแต่ละโรงพยาบาลมีข้อจำกัดในเรื่องของสถานที่กำจัดขยะติดเชื้อที่ไม่เพียงพอ มีต้นทุนในการบริหารจัดการขยะติดเชื้อที่เพิ่มขึ้น

จากการสัมภาษณ์ข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัด (สสจ.) พบว่า การจัดการขยะติดเชื้อควรดำเนินการอย่างมีประสิทธิภาพและครอบคลุมปริมาณขยะติดเชื้อที่กระจายอยู่ตามโรงพยาบาลต่างๆ ซึ่งห่างไกลออกไป และหากจะตัดสินใจให้โรงพยาบาลกลับมาจัดการขยะติดเชื้อเองตามแนวทางเดิมแทนการจ้างเหมาบริษัทเอกชนดังเช่นปัจจุบัน การวิจัยนี้จึงเสนอว่า ไม่จำเป็นต้องดำเนินการทุกโรงพยาบาล สามารถใช้หลักการรวบรวมขยะติดเชื้อมาจัดการร่วมกัน โดย สสจ. ได้ให้ข้อมูลเพิ่มเติมว่า อย่างน้อยหนึ่งในแหล่งกำจัด/เผาขยะติดเชื้อ ควรเป็นโรงพยาบาล

มหาสารคาม ซึ่งเป็นศูนย์รวมและมีปริมาณขยะติดเชื้อมากที่สุด และเพื่อให้เกิดความสะดวกสำหรับโรงพยาบาลที่อยู่ห่างไกล จึงอาจกำหนดโรงพยาบาลที่เป็นแหล่งกำจัด/เผาขยะติดเชื้อเพิ่มเติมได้อีก 1-2 แห่ง เนื่องจากมีข้อจำกัดในด้านการขาดแคลนบุคลากรที่เป็นวิศวกรควบคุมเตาเผา

ดังนั้นเพื่อแก้ไขปัญหาดังกล่าวผู้วิจัยจึงเสนอแนวทางในการแก้ปัญหาโดยการสร้างตัวแบบทางคณิตศาสตร์ เพื่อเลือกตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ รวมทั้งปริมาณการจัดสรรขยะติดเชื้อเพื่อการกำจัด

3.2 การออกแบบวิธีการดำเนินงาน

1. ศึกษาค้นคว้าและเก็บรวบรวมข้อมูลของทฤษฎีและแนวความคิดพื้นฐานที่เกี่ยวข้องกับการหาตำแหน่งที่ตั้งจากเอกสาร หนังสือ และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2. ศึกษาและรวบรวมข้อมูลเกี่ยวกับระบบการจัดการขยะติดเชื้อจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและโรงพยาบาล

3. พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งและขนาดเตาเผาขยะติดเชื้อ

4. เก็บรวบรวมข้อมูลและวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น ได้แก่

4.1 เก็บรวบรวมข้อมูลและสัมภาษณ์ข้อมูลจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดและโรงพยาบาล เกี่ยวกับลักษณะและขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อ ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการ ความจุหรือความสามารถในการเผาขยะ ปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาล เป็นต้น

4.2 วิเคราะห์หาค่าต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ โดยพิจารณาจากขนาดของรถบรรทุก อัตราการเผาผลาญน้ำมันเชื้อเพลิง ราคาน้ำมันเชื้อเพลิง และอื่นๆ

4.3 วิเคราะห์หาค่าต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อ โดยพิจารณาจากมูลค่าเตาเผาตามขนาด ความจุ ค่าน้ำมันเชื้อเพลิง ค่าสาธารณูปโภค ค่าบำรุงรักษา ค่าจ้างบุคลากร เป็นต้น

4.4 ทหาระยะทางจริงระหว่างโรงพยาบาลแต่ละแห่งจาก Google Map โดยเป็นระยะทางตามเส้นทางหลัก

5. วิเคราะห์ข้อมูลและประมวลผลตัวแบบทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นด้วยโปรแกรม Microsoft Excel และโปรแกรม LINGO

6. วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อที่คาดว่าจะเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ และพิจารณาผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโดยรวมรวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการ

4. ตัวแบบทางคณิตศาสตร์

ผู้วิจัยได้พัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) สำหรับการหาคำตอบของปัญหา โดยกำหนดวัตถุประสงค์เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด ซึ่งประกอบด้วยต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อและต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อ ดังนี้

เซต (Sets)

- I แทน เซตของโรงพยาบาล
- J แทน เซตของตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อ
- K แทน เซตขนาดของเตาเผาขยะติดเชื้อ

ตัวแปรกำหนดค่า (Parameters)

- F_k แทน ต้นทุนการดำเนินการของเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k
- S_k แทน ความจุ/ความสามารถในการเผาขยะของเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k (กิโลกรัม/วัน)
- D_i แทน ปริมาณขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i (กิโลกรัม/วัน)
- C แทน ต้นทุนค่าขนส่งขยะติดเชื้อ (บาท/กิโลเมตร)
- d_{ij} แทน ระยะทางระหว่างโรงพยาบาล i กับที่ตั้งเตาเผาขยะตำแหน่งที่ j (กิโลเมตร)

ตัวแปรตัดสินใจ (Decision Variables)

- X_{ij} เท่ากับ 1 ถ้าขยะติดเชื้อของโรงพยาบาล i ถูกส่งไปยังเตาเผาที่ตั้งตำแหน่งที่ j และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น
- Y_j เท่ากับ 1 ถ้าเตาเผาขยะติดเชื้อตำแหน่งที่ j เปิดให้บริการ และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

Z_{kj} เท่ากับ 1 ถ้าเตาเผาขยะติดเชื้อขนาดที่ k เปิดให้บริการ ในตำแหน่งที่ j และเท่ากับ 0 ในกรณีอื่น

ฟังก์ชันวัตถุประสงค์ (Objective Function)

$$\text{Min} \left(\sum_{i=1}^I \sum_{j=1}^J C d_{ij} X_{ij} + \sum_{j=1}^J \sum_{k=1}^K F_k Z_{kj} \right) \quad (1)$$

เงื่อนไข (Constraints)

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

$$\sum_{k=1}^K Z_{kj} = Y_j \quad ; \forall j \quad (3)$$

$$\sum_{i=1}^I D_i X_{ij} \leq \sum_{k=1}^K S_k Z_{kj} \quad ; \forall j \quad (4)$$

$$X_{ij} \leq Y_j \quad ; \forall i, j \quad (5)$$

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

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

$$Z_{kj} \in \{0,1\} \quad (8)$$

สมการเงื่อนไขของตัวแบบ ประกอบด้วย สมการ (2) แสดงเงื่อนไขกำหนดให้โรงพยาบาลแต่ละแห่งสามารถส่งขยะติดเชื้อไปยังเตาเผาตำแหน่งใดตำแหน่งหนึ่งเพียงแห่งเดียวเท่านั้น สมการ (3) เป็นการกำหนดให้โรงพยาบาลที่ได้รับเลือกเปิดเตาเผาจะต้องใช้เตาเผาแบบใดแบบหนึ่งเท่านั้น สมการ (4) เป็นการระบุว่าปริมาณขยะติดเชื้อจากทุกโรงพยาบาลที่ได้รับบริการจากเตาเผาตำแหน่งใดๆ จะต้องมีความรวมไม่เกินกำลังการเผาของเตานั้นๆ และสมการ (5) เป็นการกำหนดให้โรงพยาบาลแต่ละแห่งไม่สามารถนำขยะติดเชื้อไปเผาที่เตาที่ยังไม่เปิดให้บริการ ส่วนสมการ (6)-(8) เป็นสมการกำหนดค่าตัวแปรตัดสินใจแบบ Binary

5. ผลการวิจัย

งานวิจัยนี้นำเสนอผลการวิจัยแบ่งออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

5.1 ค่าพารามิเตอร์ของตัวแบบ

ในปี พ.ศ. 2561 จังหวัดมหาสารคามมีขยะติดเชื้อจากโรงพยาบาลชุมชน รวมทั้ง 13 แห่ง เฉลี่ยเท่ากับ 1,210.28

กิโลกรัม/วัน โดยโรงพยาบาลที่มีขยะติดเชื้อมากที่สุด คือ โรงพยาบาลมหาสารคาม 694.23 กิโลกรัม/วัน รองลงมาคือ โรงพยาบาลบรบือ 121.28 กิโลกรัม/วัน ส่วนโรงพยาบาลที่มีขยะติดเชื้อน้อยที่สุด คือ โรงพยาบาลกุตุรงและโรงพยาบาลชื่นชม เท่ากับ 6.35 และ 3.39 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ปริมาณขยะติดเชื้อของแต่ละโรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ปี 2561

ที่	โรงพยาบาล	ปริมาณขยะติดเชื้อ (กิโลกรัม/วัน)
1	โรงพยาบาลมหาสารคาม	694.23
2	โรงพยาบาลบรบือ	121.28
3	โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย	52.86
4	โรงพยาบาลโกสุมพิสัย	104.83
5	โรงพยาบาลวาปีปทุม	55.95
6	โรงพยาบาลเขียงยืน	52.86
7	โรงพยาบาลแกดำ	12.43
8	โรงพยาบาลกันทรวิชัย	31.74
9	โรงพยาบาลนาเชือก	31.28
10	โรงพยาบาลนาคัน	21.48
11	โรงพยาบาลยางสีสุราช	18.60
12	โรงพยาบาลกุตุรง	6.35
13	โรงพยาบาลชื่นชม	6.39
	รวม	1,210.28

ที่มา: สำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคาม

งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดให้มีการรวมขยะติดเชื้อจากแต่ละโรงพยาบาลประจำอำเภอ เพื่อนำมาเผายังเตาเผาที่ตั้งอยู่ในโรงงานพยาบาลเช่นเดียวกับการดำเนินการในช่วงก่อนหน้านี้ที่ยังไม่มีการจ้างเหมาบริษัทเอกชน ทั้งนี้แนวคิดดังกล่าวจะต้องมีการหาตำแหน่งที่ตั้งของโรงพยาบาลที่เปิดให้บริการเตาเผา และหาคำตอบว่าโรงพยาบาลใดควรส่งขยะติดเชื้อมาเผายังเตาเผาที่ตั้งอยู่ในโรงพยาบาลใด โดยพิจารณาทั้งระยะทางระหว่างโรงพยาบาล ดังตารางที่ 2 และต้นทุนที่เกี่ยวข้องทั้งต้นทุนการขนส่งและต้นทุนการดำเนินงานเตาเผา

ตารางที่ 2 ระยะทางระหว่างโรงพยาบาลประจำอำเภอใน
จังหวัดมหาสารคาม (กิโลเมตร)

โรง พยาบาล	มหา สารคาม	บรบือ	...	ชื่นชม
มหา สารคาม	0	28.7	...	55.4
บรบือ	28.7	0	...	81.9
⋮	⋮	⋮	0	⋮
ชื่นชม	55.4	81.9	...	0

ตารางที่ 3 โครงสร้างต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ

โครงสร้างต้นทุน	คิดเป็นมูลค่า (บาท/วัน)
1. ต้นทุนคงที่ (Fixed Costs)	
1.1 มูลค่ารถบรรทุกรวมตู้	1,095.51
1.2 ค่าตรวจสภาพและต่อทะเบียน	0.68
1.3 ค่าภาษีประจำปี	6.16
1.4 ค่าธรรมเนียมตาม พ.ร.บ.	5.01
1.5 ค่าประกันภัยรถยนต์	32.21
1.6 ค่าเช่าอุปกรณ์ GPS	16.67
1.7 ถังดับเพลิง	0.38
1.8 เงินเดือนพนักงานขับรถ	300.00
รวมต้นทุนคงที่ (Fixed Costs)	1,456.62
2. ต้นทุนผันแปร (Variable Costs)	
2.1 ค่าบำรุงรักษายานพาหนะ	13.70
2.2 ค่าบำรุงรักษาตู้บรรจุขยะติดเชื้อ	27.40
2.3 เบี้ยเลี้ยงพนักงานขับรถ	66.67
2.4 เชื้อเพลิงขนส่ง	545.80
รวมต้นทุนผันแปร (Variable Costs)	653.57
รวมต้นทุนการขนส่งขยะติดเชื้อ	2,110.19

รถบรรทุกขยะติดเชื้อ เป็นรถบรรทุกขนาด 6 ล้อ ตอน
หน้าเป็นหัวเก๋ง ชนิดหน้าสั้น มีประตูเปิด-ปิด 2 บาน ล้อคได้
ทั้งสองข้าง สามารถนั่งปฏิบัติงานได้ ไม่น้อยกว่า 3 ที่นั่ง
รวมทั้งพนักงานขับรถ มีอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการ
ปฏิบัติงานครบชุด ตอนหลังเป็นตู้บรรจุขยะมูลฝอยติดเชื้อ
ขนาดความจุไม่น้อยกว่า 6 ลูกบาศก์เมตร พร้อมระบบทำ

ความเย็น และอุปกรณ์อำนวยความสะดวกในการยกภาชนะ
รองรับขยะมูลฝอยติดเชื้อใส่ตู้บรรทุก

ผู้วิจัยได้สัมภาษณ์และรวบรวมข้อมูลต้นทุนการขนส่ง
ขยะติดเชื้อจากสำนักงานสาธารณสุขจังหวัดมหาสารคามโดย
ครอบคลุมตามโครงสร้างต้นทุน ดังตารางที่ 3 และคำนวณ
ออกมาเป็นมูลค่าต่อวัน ตามหลักการที่ว่าทางโรงพยาบาลมี
การรวบรวมและขนส่งขยะติดเชื้อทุกวัน พบว่า ต้นทุนคงที่ใน
การขนส่ง คิดเป็นมูลค่า 1,456.62 บาท/วัน ต้นทุนผันแปรใน
การขนส่ง คิดเป็นมูลค่า 653.57 บาท/วัน รวมต้นทุนในการ
ขนส่งขยะติดเชื้อ คิดเป็นมูลค่า 2,110.19 บาท/วัน

จากนั้นได้พิจารณามูลค่าเชื้อเพลิงขนส่ง โดยคิดจาก
ระยะทางไป-กลับโดยเฉลี่ยในการขนส่งขยะติดเชื้อของ
โรงพยาบาลในจังหวัดมหาสารคาม ซึ่งเท่ากับ 120 กิโลเมตร
อัตราการสิ้นเปลืองน้ำมันของพาหนะขนส่ง 6 กิโลเมตร/ลิตร
และราคาน้ำมันดีเซล 27.29 บาท/ลิตร [14] แล้วคิดออกมา
เป็นต้นทุนต่อหน่วยในการขนส่งขยะติดเชื้อ เท่ากับ 17.58
บาท/กิโลเมตร

สำหรับเตาเผาขยะติดเชื้อที่พิจารณาในการวิจัยครั้งนี้มี
3 ขนาด คือ ความจุหรือกำลังการเผา 400 800 และ 1,200
กิโลกรัม/วัน มูลค่าเตาเผาเท่ากับ 1.2 1.8 และ 2.2 ล้านบาท
ตามลำดับ โดยเตาเผาแต่ละแบบมีอายุการใช้งาน 10 ปี
เท่ากัน ดังตารางที่ 4 และประเมินค่าใช้จ่ายต่างๆ ในการ
ดำเนินงานเตาเผาตามโครงสร้างต้นทุน ดังตารางที่ 5

ตารางที่ 4 ขนาดและรายละเอียดของเตาเผาขยะติดเชื้อ

รายละเอียด	เตาเผา แบบที่ 1	เตาเผา แบบที่ 2	เตาเผา แบบที่ 3
ความจุ (กก./วัน)	400	800	1,200
ราคา (ล้านบาท)	1.2	1.8	2.2
อายุการใช้งาน (ปี)	10	10	10

ที่มา: [11]

ตารางที่ 5 โครงสร้างต้นทุนการดำเนินงานเตาเผาขยะติดเชื้อ

ค่าใช้จ่าย (บาท/วัน)	เตาเผา แบบที่ 1	เตาเผา แบบที่ 2	เตาเผา 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
รวม	3,893	4,903	5,867

ที่มา: (1)-(4) อ้างอิงจาก [11]

(5) อ้างอิงจาก [14]

(6)-(7) อ้างอิงจาก [15]

เนื่องจากการดำเนินงานเตาเผาจะต้องมีวิศวกรผู้ควบคุม และมีเจ้าหน้าที่ในตำแหน่งนักวิชาการสาธารณสุขในการกำกับดูแล ต้นทุนการดำเนินการจึงต้องมีค่าใช้จ่ายในส่วนนี้ ซึ่งคิดจากค่าจ้างรายเดือนวิศวกรและนักวิชาการสาธารณสุข เท่ากับ 19,500 และ 18,000 บาท/เดือน ตามลำดับ เมื่อรวมค่าใช้จ่ายทุกส่วนและคิดเป็นต้นทุนการดำเนินการเตาเผาขยะติดเชื้อแบบที่ 1 2 และ 3 เท่ากับ 3,893 4,903 และ 5,867 บาทต่อวัน ตามลำดับ

5.2 ผลเฉลยของตัวแบบ

จากค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่รวบรวมได้ ผู้วิจัยได้นำมาประมวลผลตัวแบบจำนวนเต็มดังกล่าวด้วยโปรแกรม LINGO ผลจากการวิเคราะห์ พบว่า จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เปิดบริการมี 2 แห่ง คือที่ โรงพยาบาลมหาสารคาม และโรงพยาบาลนาตูน ดังตารางที่ 6 และรูปที่ 1 ทั้งนี้ผลเฉลยดังกล่าวทำให้มีต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด เท่ากับ 16,108 บาท/วัน

ตำแหน่งที่ 1 เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ด้วยขนาดความจุ 1,200 กิโลกรัม/วัน โดยมีโรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผาจำนวน 8 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลมหาสารคาม โรงพยาบาลบรบือ โรงพยาบาลโกสุมพิสัย โรงพยาบาลเชียงยืน โรงพยาบาลกันทรวิชัย โรงพยาบาลแกลง โรงพยาบาลกุตรัง และโรงพยาบาลชื่นชม รวมปริมาณขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 1,030.11 กิโลกรัม/วัน

ตำแหน่งที่ 2 เปิดเตาเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลนาตูน ด้วยขนาดความจุ 400 กิโลกรัม/วัน มีโรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผาจำนวน 5 แห่ง ได้แก่ โรงพยาบาลนาตูน โรงพยาบาลพยัคฆภูมิพิสัย โรงพยาบาลวาปีปทุม โรงพยาบาลนาเชือก และโรงพยาบาลยางสีสุราช รวมปริมาณขยะติดเชื้อทั้งสิ้น 180.17 กิโลกรัม/วัน

ตารางที่ 6 ตำแหน่ง ขนาดเตาเผา และโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัด

ตำแหน่ง โรงพยาบาล ที่เปิดเตาเผา	ขนาด เตาเผา ที่เปิด (กก./วัน)	โรงพยาบาล ที่ส่งขยะติดเชื้อ มาเผากำจัด	ปริมาณ ขยะติด เชื้อรวม (กก./วัน)
รพ.มหาสารคาม	1,200	รพ.มหาสารคาม รพ.บรบือ รพ.โกสุมพิสัย รพ.เชียงยืน รพ.แกลง รพ.กันทรวิชัย รพ.กุตรัง รพ.ชื่นชม	1,030.11
รพ.นาตูน	400	รพ.นาตูน รพ.พยัคฆภูมิพิสัย รพ.วาปีปทุม รพ.นาเชือก รพ.ยางสีสุราช	180.17



รูปที่ 1 ตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อและโรงพยาบาลที่ส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัด

5.3 ผลการวิเคราะห์ความไว

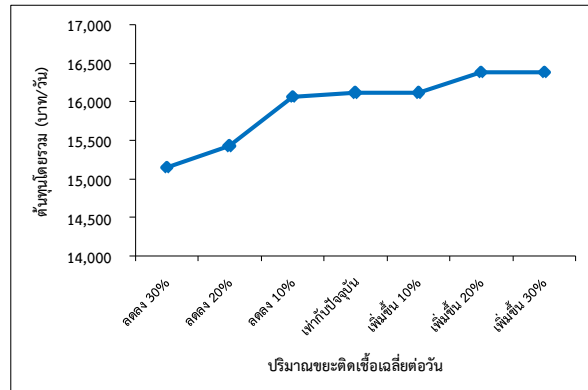
จากผลเฉลยของตัวแบบ พบว่า จำนวนตำแหน่งที่ตั้งเตาเผาขยะติดเชื้อที่เปิดให้บริการ 2 แห่ง ด้วยขนาด 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน ทำให้มีความจุหรือกำลังการเผารวมถึง 1,600 กิโลกรัม/วัน ซึ่งสามารถรองรับปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันในปัจจุบันที่มีเพียง 1,210.28 กิโลกรัม/วัน ได้ แต่เนื่องด้วยปริมาณขยะติดเชื้อจะขึ้นอยู่กับปริมาณผู้ป่วย ซึ่งอาจมีเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้ ผู้วิจัยจึงได้วิเคราะห์ความไว (Sensitivity Analysis) โดยการผันแปรค่าปริมาณขยะติด

เชื้อเฉลี่ยต่อวัน เพื่อพิจารณาผลกระทบที่มีต่อต้นทุนโดยรวม รวมทั้งตำแหน่งที่ตั้งและขนาดของเตาเผาที่เปิดบริการ

ตารางที่ 7 ตำแหน่ง ขนาดเตาเผา และปริมาณขยะติดเชื้อที่ส่งมาเผากำจัด เมื่อผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน

ปริมาณ ขยะติด เชื้อเฉลี่ย ต่อวัน	ตำแหน่ง โรงพยาบาล ที่เปิดเตาเผา	ขนาด เตาเผา ที่เปิด (กก./วัน)	จำนวนโรงพยาบาล และปริมาณขยะที่ ส่งมาเผากำจัด (กก.)
เท่ากับ ปัจจุบัน	รพ.มหาสารคาม	1200	8 (1,030.11)
	รพ.นาดูน	400	5 (180.17)
เพิ่มขึ้น 10%	รพ.มหาสารคาม	1200	8 (1,098.21)
	รพ.นาดูน	400	5 (198.19)
เพิ่มขึ้น 20%	รพ.มหาสารคาม	1200	7 (1,090.60)
	รพ.นาดูน	400	6 (361.74)
เพิ่มขึ้น 30%	รพ.มหาสารคาม	1200	7 (1,181.48)
	รพ.นาดูน	400	6 (391.89)
ลดลง 10%	รพ.มหาสารคาม	1200	13 (1,089.25)
ลดลง 20%	รพ.มหาสารคาม	800	7 (727.06)
	รพ.นาดูน	400	6 (241.16)
ลดลง 30%	รพ.มหาสารคาม	800	8 (721.08)
	รพ.นาดูน	400	5 (126.12)

ผลจากการวิเคราะห์ความไว ดังตารางที่ 7 พบว่า เมื่อปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 10% 20% และ 30% เตาเผาที่ควรเปิดให้บริการยังคงมี 2 แห่ง คือที่โรงพยาบาลมหาสารคามและโรงพยาบาลนาดูน ด้วยขนาดเตาเผา 1,200 และ 400 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ แต่โรงพยาบาลที่ขนส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัดและปริมาณขยะรวมจะเปลี่ยนแปลงเล็กน้อย กรณีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 10% ควรเปิดเตาเผาเพียงแห่งเดียว คือที่โรงพยาบาลมหาสารคาม ด้วยขนาดเตาเผา 1,200 กิโลกรัม/วัน เนื่องจากปริมาณขยะรวมมีเพียง 1,089.25 กิโลกรัม/วัน แต่หากปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 20% และ 30% เตาเผาที่ควรเปิดให้บริการยังคงมี 2 แห่ง คือที่โรงพยาบาลมหาสารคามและโรงพยาบาลนาดูน แต่ด้วยขนาดเตาเผา 800 และ 400 กิโลกรัม/วัน ตามลำดับ



รูปที่ 2 ต้นทุนโดยรวมเมื่อผันแปรค่าปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวัน

เมื่อพิจารณาค่าต้นทุนโดยรวม ดังรูปที่ 2 พบว่า เมื่อปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 10% จะไม่ทำให้ต้นทุนโดยรวมเปลี่ยนแปลงไปจากเดิมซึ่งเท่ากับ 16,108 บาท/วัน เนื่องจากการเปิดเตาเผาและการขนส่งขยะติดเชื้อไปเผากำจัดของแต่ละโรงพยาบาลให้ผลเฉลี่ยเหมือนกับกรณีปัจจุบัน แต่หากปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันเพิ่มขึ้น 20% และ 30% ต้นทุนโดยรวมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยเป็น 16,386 บาท/วัน เท่ากัน ส่วนกรณีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันลดลง 10% 20% และ 30% จะทำให้ต้นทุนโดยรวมลดลงเรื่อยๆ เท่ากับ 16,063 15,422 และ 15,144 บาท/วัน ตามลำดับ เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงทั้งขนาดเตาเผาและการขนส่งขยะติดเชื้อไปเผากำจัด

6. สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาตำแหน่งที่ตั้งของเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนในจังหวัดมหาสารคาม โดยการพัฒนาตัวแบบทางคณิตศาสตร์แบบการโปรแกรมจำนวนเต็ม (Integer Programming) เพื่อให้ต้นทุนโดยรวมต่ำที่สุด แต่ยังสามารถให้บริการเผาขยะติดเชื้อได้ครอบคลุมปริมาณขยะที่มีอยู่ในแต่ละวัน โดยประมวลผลด้วยโปรแกรม LINGO

จากผลการวิจัยที่ได้ หากทางโรงพยาบาลมีบุคลากรในการควบคุมเตาเผาขยะติดเชื้อ สามารถที่จะจัดการเผาขยะติดเชื้อที่โรงพยาบาลได้ และ รพ.สต.ในพื้นที่ สามารถส่งขยะติดเชื้อมาเผากำจัดที่เตาเผาที่เปิดให้บริการตามผลการตัดสินใจของตัวแบบ ด้วยต้นทุนโดยรวมเท่ากับ 16,108 บาท/วัน

ทั้งนี้หากเปรียบเทียบกับต้นทุนในการจ้างเหมาบริษัทเอกชนเพื่อรับไปกำจัด เมื่อพิจารณาจากอัตราค่าบริการต่ำที่สุดที่ต้องจ่ายให้บริษัทเอกชน เท่ากับ 8.9 บาท/กิโลกรัม คิดเป็นต้นทุนรวม 10,771.49 บาท/วัน ซึ่งน้อยกว่าต้นทุนในการกำจัดเอง แต่หากบริษัทเอกชนคิดอัตราค่าบริการสูงที่สุด ซึ่งเท่ากับ 15 บาท/กิโลกรัม จะคิดเป็นต้นทุนรวมสูงถึง 18,154.2 บาท/วัน ซึ่งสูงกว่าการกำจัดเองด้วยเตาเผาของโรงพยาบาล และแม้โรงพยาบาลจะมีปริมาณขยะติดเชื้อเฉลี่ยต่อวันสูงขึ้นถึง 30% ก็ยังคงมีต้นทุนโดยรวมต่ำกว่าการจ้างเหมาบริษัทเอกชนดำเนินการเผากำจัด

อีกทั้งการจ้างเหมาบริษัทเอกชนในการดำเนินการเผากำจัดขยะติดเชื้อนั้น บริษัทเอกชนผู้รับจ้างจะต้องดำเนินการอย่างมีมาตรฐานตามกฎหมายกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545 ซึ่งระบุว่าในการเก็บและหรือขนมูลฝอยติดเชื้อ ต้องจัดให้มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบในการเก็บและหรือขนมูลฝอยติดเชื้อ อย่างน้อยหนึ่งคน โดยเจ้าหน้าที่ดังกล่าวจะต้องมีคุณสมบัติสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีหรือเทียบเท่าในสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ ในด้านสาธารณสุข สุขาภิบาล ชีววิทยาและวิทยาศาสตร์การแพทย์ ด้านใดด้านหนึ่ง ส่วนการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ ต้องจัดให้มีเจ้าหน้าที่รับผิดชอบในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ อย่างน้อยสองคน โดยคนหนึ่งต้องมีคุณสมบัติตามที่กำหนดข้างต้น ส่วนอีกคนหนึ่งต้องมีคุณสมบัติสำเร็จการศึกษาไม่ต่ำกว่าปริญญาตรีหรือเทียบเท่าในสาขาวิชาวิศวกรรมศาสตร์ในด้านสุขาภิบาล วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม และวิศวกรรมเครื่องกล ด้านใดด้านหนึ่ง หากบริษัทเอกชนผู้รับจ้างไม่มีพนักงานที่คุณสมบัติตรงตามข้อกำหนด อาจทำให้การดำเนินการไม่เป็นไปตามมาตรฐาน แม้ว่าจะมีสถานที่ วัสดุอุปกรณ์ ยานพาหนะขนส่ง และเตาเผาที่ได้มาตรฐานแล้วก็ตาม อีกทั้งในระหว่างขนส่งผู้ขับขี่ยานพาหนะขนมูลฝอยติดเชื้อและผู้ปฏิบัติงานประจำยานพาหนะขนมูลฝอยติดเชื้อ ต้องระมัดระวังมิให้มูลฝอยติดเชื้อและภาชนะสำหรับบรรจุมูลฝอยติดเชื้อตกหล่นในระหว่างการขนส่ง [16] ซึ่งส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมและสุขภาพอนามัยของประชาชนในพื้นที่

ทั้งนี้ หากไม่สามารถควบคุมมาตรฐานการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อของบริษัทเอกชนผู้รับจ้างได้ โรงพยาบาลสามารถดำเนินการคัดแยก จัดเก็บ และเผากำจัดขยะติดเชื้อเอง หรือ

ขนส่งไปเผากำจัดยังโรงพยาบาลที่มีและเปิดดำเนินการเตาเผา ซึ่งสอดคล้องกับนโยบายและกลยุทธ์ในการจัดการมลพิษจากมูลฝอยติดเชื้อที่ระบุว่า กระทรวงสาธารณสุขควรทบทวนนโยบายในการก่อสร้างเตาเผามูลฝอยติดเชื้อประจำสถานพยาบาลของรัฐในสังกัดให้ครบทุกแห่งทั่วประเทศ โดยควรปรับเปลี่ยนเป็นการดำเนินงานก่อสร้างที่พักรวมซึ่งสามารถควบคุมอุณหภูมิเพื่อรวบรวมมูลฝอยติดเชื้อก่อนขนส่งไปกำจัด ณ ศูนย์กำจัดรวม รวมทั้งเร่งรัดในการออกกฎกระทรวงฉบับใหม่ และกำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการมาตรฐาน ในการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ เพื่อให้ท้องถิ่นและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติในอนาคต รวมทั้งการเพิ่มขีดความสามารถของบุคลากรในการควบคุมดูแลการดำเนินงานระบบเก็บขนและกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ [17]

ผลการวิจัยที่ได้นี้จึงเป็นประโยชน์สำหรับผู้บริหารที่เกี่ยวข้องเพื่อสามารถนำไปเปรียบเทียบประกอบการตัดสินใจในการบริหารจัดการขยะที่เหมาะสม สำหรับรองรับการขยายตัวและปริมาณขยะติดเชื้อที่อาจเพิ่มขึ้นในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณกลุ่มวิจัยระบบโซ่อุปทานและโลจิสติกส์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้โปรแกรม LINGO ในการประมวลผลข้อมูล

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (19 ตุลาคม 2561). *เตาเผามูลฝอยติดเชื้อในไทย*. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/envi_incinerate.html
- [2] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, "คู่มือแนวทางการพัฒนาสถานบริการสาธารณสุขให้ได้มาตรฐานด้านการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ ฉบับปรับปรุง 2/02/60," กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, กรุงเทพฯ, 2545.
- [3] สำนักอนามัยสิ่งแวดล้อม, "ขยะมูลฝอยติดเชื้อในจังหวัดมหาสารคาม," กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข, 2560.

- [4] พรเพ็ญ แซ่โจ้ว, "การวิเคราะห์ที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าของอุตสาหกรรมต้มกลั่นสุราขาว กรณีศึกษาจังหวัดราชบุรี," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยศิลปากร, 2553.
- [5] ปรีชา ประเสริฐสกุลไชย, "การศึกษาความเหมาะสมของศูนย์กระจายสินค้าในเขตภูมิภาค กรณีศึกษาบริษัท ABC," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2553.
- [6] จินตนา แซ่ฉั่ว, "การศึกษาหาทำเลที่ตั้งและจำนวนศูนย์กระจายสินค้าที่เหมาะสม กรณีศึกษา บริษัท ยัมเรสเทอรองต์ อินเตอร์เนชั่นแนล (ประเทศไทย) จำกัด," วิทยานิพนธ์ปริญญาโทบริหารธุรกิจ, มหาวิทยาลัยหอการค้าไทย, 2557.
- [7] ปราณี ประเสริฐ น้อยสังข์ และ ชุมพล มณฑาทิพย์กุล, "การเลือกทำเลที่ตั้งศูนย์กระจายสินค้าภูมิภาคในประเทศไทยโดยการวิเคราะห์ปัจจัยเชิงปริมาณร่วมกับปัจจัยเชิงคุณภาพด้วยฟังก์ชันหลายวัตถุประสงค์," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 5 (ฉบับที่ 1), หน้า 60-70, 2560.
- [8] J. Fan, et al., "Reliable location allocation for hazardous materials," *Information Sciences*, vol. 501, pp. 688-707, 2019.
- [9] E. S. Windfeld and M. S-L. Brooks, "Medical waste management-A review," *Journal of Environmental Management*, vol. 163, pp. 98-108, 2015.
- [10] M. M. A. El-Salam, "Hospital waste management in El-Beheira Governorate, Egypt," *Journal of Environmental Management*, vol. 91, pp. 618-629, 2010.
- [11] อนุชา ศรีบุญมัย, "วิธีแก้ปัญหาการเลือกเตาเผาขยะติดเชื้อสำหรับโรงพยาบาลชุมชนภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนบนของประเทศไทย," *วารสารไทยการวิจัยดำเนินงาน*, ปีที่ 1 (ฉบับที่ 2), หน้า 51-59, 2556.
- [12] 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.
- [13] B. Render, et al., *Quantitative Analysis for Management*, 11 ed. New Jersey: Prentice Hall, 2012.
- [14] สำนักงานนโยบายและแผนพลังงาน. (12 เมษายน 2562). *ราคาน้ำมัน*. Available: <http://27.254.37.81/epposite/index.php/th/petroleum/price/oil-price?>
- [15] สำนักงานปลัดกระทรวงสาธารณสุข. (12 เมษายน 2562). *ประกาศเปิดสอบบรรจุเข้ารับราชการ*. Available: https://www.jobthaiweb.com/showgov_ID.php?govID=26891
- [16] กระทรวงสาธารณสุข. (2 ธันวาคม 2562). *กฎกระทรวงว่าด้วยการกำจัดมูลฝอยติดเชื้อ พ.ศ. 2545*. Available: <https://www.moph.go.th/>
- [17] กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม. (2 ธันวาคม 2562). *ข้อมูลการจัดการมูลฝอยติดเชื้อ*. Available: http://www.pcd.go.th/info_serv/waste_infectious.htm